

**ACME DE *PEDIASTRUM* SPP. E IMPLICACIONES PALEOECOLÓGICAS
DESPUÉS DEL LÍMITE CRETÁCICO-PALEOGENO EN EL NORTE DE
SURAMÉRICA**

DIEGO ALBERTO PINZÓN ACEROS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2011

**ACME DE *PEDIASTRUM* SPP. E IMPLICACIONES PALEOECOLÓGICAS
DESPUÉS DEL LÍMITE CRETÁCICO-PALEOGENO EN EL NORTE DE
SURAMÉRICA**

DIEGO ALBERTO PINZÓN ACEROS

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Biólogo

DIRECTOR:

GERMÁN FELIPE DE LA PARRA, GEÓLOGO, M.Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi madre, por su inmenso amor y por enseñarme a ser noble y paciente.

A mi padre, por su constante sacrificio.

A Andrea Florez, por su compañía y apoyo.

Al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por el patrocinio de este proyecto

A Felipe De La Parra, por permitirme conocer el fascinante mundo de la palinología, por la dirección de este trabajo y por su constante asesoría, paciencia y valiosas enseñanzas.

Al grupo de bioestratigrafía del ICP, por todo el conocimiento transmitido y por hacer de mi estancia allí, un momento muy grato para recordar.

A Giovanni Bedoya, Jorge Mercado, Carlos Santos, Carolina Vargas, Guillermo Rodriguez, Fernando Mantilla, Miller Franco, Olga Lucia y Edith Rodriguez, por sus valiosos aportes académicos.

*A Vlasta Jankovská y Jirí Komárek por la revisión morfológica de *Pediastrum*.*

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Biología, por su labor.

A la Familia Flórez Arce, por ser un soporte en mi carrera y proporcionar esos momentos de alegría en este proceso.

A todas las personas que colaboraron y participaron en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	18
2.2 PALINOLOGÍA EN EL NORTE DE SUR AMÉRICA DURANTE EL PALEOCENO.	19
2.3 SIGNIFICANCIA DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	21
2.4 ANÁLISIS DE PALINOFACIES.	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES	25
3.2 BIOESTRATIGRAFÍA	28
3.3 SIGNIFICANICA TEMPORAL DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	28
3.4 SIGNIFICADO AMBIENTAL DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	29
3.5 ANÁLISIS DE DATOS	31
4. RESULTADOS	32
4.1 ANÁLIS PALINOLÓGICO DEL CORAZÓN DIABLITO.	32
4.2 BIOESTRATIGRAFÍA	34
4.2.1 Corazón Diablito	34
4.2.2 Gonzales-1.	35
4.2.3 Cerro Gordo-3	38

4.2.4 Rio Loro-2.	38
4.3 SIGNIFICANCIA TEMPORAL DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	39
4.4 SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	40
4.4.1 Análisis palinofacial.	40
4.4.1.1 Diablito	40
4.4.1.3 Cerro Gordo-3	42
4.4.2 Diferenciación taxonómica de <i>Pediastrum</i> spp.	43
4.4.3 Implicaciones paleoecológicas a partir de la palinoflora.	47
4.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO.	48
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
5.1 BIOESTRATIGRAFÍA.	54
5.2 SIGNIFICANCIA TEMPORAL DE <i>PEDIASTRUM</i> SPP.	55
5.3 SIGNIFICANCIA PALEOAMBIENTAL.	58
5.3.1 Palinofacies	58
5.3.2 Taxonomía <i>Pediastrum</i> spp.	60
5.3.3 Palinología	61
5.4 ANÁLISIS DE DATOS	66
6. CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de los sitios analizados	27
Figura 2. Eventos palinoestratigráficos empleados para enmarcar temporalmente el acme de <i>Pediastrum</i> spp. en las zonas de estudio	29
Figura 3: A,B,C,D. Posición de los eventos bioestratigráficos empleados para ubicar el límite K-T y el tope de la zona T-01 (61.9 Ma) en las 4 localidades analizadas, basado en Jaramillo et al., (2010a).	37
Figura 4: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Corazón Diablito.	41
Figura 5: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Pozo Gonzales-1.	42
Figura 6: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Pozo Cerro Gordo-3.	43
Figura 7. Análisis de agrupamiento Corazón Diablito	52
Figura 8. Análisis de agrupamiento Pozo Cerro Gordo-3.	52
Figura 9. Análisis de agrupamiento Pozo Gonzales-1.	53
Figura 10: Posición temporal del acme de <i>Pediastrum</i> spp. y relación con el límite K-T en las 4 localidades de estudio.	56

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Conteo total microalgas de agua dulce, Diablito.	44
Tabla 2. Conteo total microalgas de agua dulce, Cerro Gordo-3.	45
Tabla 3. Conteo total microalgas Gonzales-1.	45
Tabla 4. Conteo total microalgas Rio Loro-2.	45
Tabla 5. Afinidad botánica de los principales palinomorfos con una representatividad > 1% en cada sitio estudiado.	50
Tabla 6. Datos palinoestratigráficos empleados para calcular las tasas de acumulación aproximadas durante el Paleoceno Temprano.	57

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Descripción litológica intervalo analizado, Corazón Diablito.	84
Anexo 2: Descripción Litológica Intervalo Analizado, Pozo Gonzales-1.	85
Anexo 3: Descripción litológica intervalo analizado, Pozo Cerro Gordo-3.	86
Anexo 4: Descripción litológica intervalo analizado, Sección Rio Loro-2.	87
Anexo 5: Carta de distribución palinológica Corazón Diablito	88
Anexo 6: Carta de distribución palinológica Pozo Gonzales-1	89
Anexo 7: Carta de distribución palinológica Pozo Cerro Gordo-3	90
Anexo 8: Carta de distribución palinológica Sección Rio Loro-2.	91
Anexo 9: Significancia temporal de <i>Pediastrum</i> spp., Corazón Diablito.	92
Anexo 10: Significancia temporal de <i>Pediastrum</i> spp., Pozo Gonzales-1	93
Anexo 11: Significancia temporal de <i>Pediastrum</i> spp., Pozo Cerro Gordo-3	94
Anexo 12: Significancia temporal de <i>Pediastrum</i> spp., Sección Rio Loro-2.	95
Anexo 13: Microfotografías de las especies de <i>Pediastrum</i> y <i>Scenedesmus</i> spp. halladas en Diablito, Cerro Gordo-3 y Gonzales-1.	96
Anexo 14: Reconstrucción paleoambiental generalizada, inferida a partir del análisis palinológico y palinofacial de las 4 localidades analizadas. Predominio de ambientes lacustres eutróficos dominados por <i>Pediastrum</i> spp., con abundante material vegetal estructurado, rodeados por una vegetación compuesta principalmente por Pteridófitos y representantes de las familias Araceae y Arecaceae. Modificado de Scafati et al., (2009).	98

RESUMEN

TITULO: ACME DE PEDIASTRUM SPP. E IMPLICACIONES PALEOCOLÓGICAS DESPUÉS DEL LÍMITE CRETÁCICO-PALEÓGENO EN EL NORTE DE SUR AMÉRICA.*

AUTOR: DIEGO ALBERTO PINZÓN ACEROS**

PALABRAS CLAVE: Límite K-T, *Pediastrum* spp., palinoestratigrafía, paleoecología, palinofacies, Formación Catatumbo-Molino, Norte de Sur América.

Hace 65 Ma el impacto de un meteorito en la Península de Yucatán desató una de las mayores crisis ambientales en la historia de la Tierra definiendo lo que se conoce como el límite Cretácico-Paleogeno (K-T). Aunque muchos estudios han discutido las causas que desataron este evento, muy pocos se han enfocado en entender las condiciones ambientales derivadas del mismo. En diferentes secciones de Norte América y Nueva Zelanda se ha reportado un acme de esporas de Pteridófitos y de Hongos respectivamente, que han sido interpretados como el producto de la destrucción masiva de la vegetación tras el impacto del meteorito. Resultados palinológicos derivados del análisis de 4 localidades ubicadas en las cuencas César-Ranchería, Catatumbo y Maracaibo de Colombia y Venezuela en el norte de Sur América revelaron un acme de *Pediastrum* spp. algunos metros por encima del límite K-T. Con el objetivo de establecer la sincronía de este evento en las 4 localidades, su relación con el límite K-T y caracterizar los ambientes de depósito durante este período, se integró información palinológica, palinoestratigráfica y palinofacial. La elección de marcadores bioestratigráficos claves permitió posicionar el acme de *Pediastrum* spp. dentro de la zona T-02 (61.9-60 Ma) de Jaramillo et al., (2010a) y precisar la ubicación del límite K-T algunos metros por debajo de lo planteado originalmente para cada localidad. Lo anterior reveló que si bien no existe un vínculo claro entre el K-T y el acme de *Pediastrum*, este puede convertirse en un evento de interés bioestratigráfico al ocurrir dentro de la misma biozona en cada localidad. Adicionalmente, la información palinológica y palinofacial revelaron un predominio de condiciones lacustres de depósito dominadas por *Pediastrum* spp., con un alto contenido de fitoclastos estructurados y una vegetación terrestre dominada por Pteridófitos y representantes de las familias Araceae y Arecaceae.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director: Felipe De la Parra Bonilla (M.Sc).

ABSTRACT

TITLE: ACME OF *PEDIASTRUM* SPP. AND ITS PALEOECOLOGICAL IMPLICATIONS AFTER THE CRETACEOUS-PALEOGENE BOUNDARY IN NORTHERN SOUTH AMERICA.*

AUTHOR: DIEGO ALBERTO PINZÓN ACEROS**

KEY WORDS: K-T Boundary, *Pediastrum* spp., palynostratigraphy, paleoecology, palynofacies, Catatumbo-Molino Formation, Northern South America.

About sixty five million years ago (Ma) a meteorite impact in the Yucatan Peninsula caused one of the major environmental crises in Earth's history, an event that is known as the Cretaceous-Tertiary boundary (K-T). Even though several studies have discussed the causes of the event, few studies have focused on understanding the environmental conditions derived from it. Several locations in North America and New Zealand have recorded acmes of Pteridophyte spores and fungi, respectively (after the K-T). These abundances have been interpreted as the result of a massive destruction of vegetation after the meteorite collision. Palynological results derived from the analysis of four sites located in Cesar-Rancheria, Catatumbo and Maracaibo (Colombia and Venezuela) Basins revealed high abundances of *Pediastrum* spp. some meters above the K-T boundary. An integrated study of palynology, palynostratigraphy and palynofacies was developed in order to establish the synchronism of this event in each analyzed site, its relationship with the K-T boundary and to characterize the depositional environments during this interval of time. The choice of different taxa with biostratigraphic relevance allowed locating the high abundance of *Pediastrum* spp. within the T-02 palynological zone (61.9-60 Ma) proposed by Jaramillo et al., (2010a) and the location of the K-T boundary some meters below of what was previously interpreted for each locality. The analysis revealed that even though there is not a clear relationship between the K-T and the high abundance of *Pediastrum*, the latter can constitute a biostratigraphically relevant event since it was observed to occur within the same biostratigraphic zone in each locality. In addition, palynological and palynofacial data showed an assemblage dominated by terrestrial vegetation of Pteridophytes and representatives of the Family Araceae and Arecaceae as well as *Pediastrum* spp. and high abundances of structured phytoclasts that could be associated to lacustrine depositional conditions.

* Basic Science thesis.

** Faculty of Science, Biology School, Director: Felipe De la Parra (M.Sc.).

INTRODUCCIÓN

Durante la historia geológica del planeta Tierra se han producido eventos ambientales catastróficos con profundas consecuencias en la biota. Estos eventos, conocidos como extinciones masivas, han ocurrido al menos cinco veces en los últimos 550 millones de años (Ma) y en gran medida han ayudado a moldear la historia de la vida. El evento de extinción masiva más ampliamente estudiado es el ocurrido en el límite Cretácico-Terciario (K-T). Este episodio coincide con el impacto de un asteroide hace 65.5 Ma en lo que hoy es la Península de Yucatán (México) (Alvarez, et al., 1980; Schulte, et al. 2010), y ha sido asociado a la desaparición de aproximadamente el 75% de las especies marinas y el 50% de las especies terrestres (Thierstein, 1982; Sheehan, 1992). Mientras mucha atención se ha centrado en las causas y los efectos inmediatos relacionados con el impacto (Alvarez, et al. 1980; Pollack, et al., 1983; Wolbach, et al., 1990; Maruoka y Koeberl, 2003) pocos estudios se han enfocado en entender las condiciones ambientales derivadas del fenómeno y los procesos de recuperación de los ecosistemas.

Estudios palinológicos en diferentes secciones localizadas en Norte América, han mostrado que aproximadamente el 30% de las especies de plantas que entonces dominaban los ecosistema se extinguieron como consecuencia de la crisis ambiental desatada por el impacto. Justo encima de este nivel de extinción se ha reportado un nivel con altas abundancias de esporas que ha sido interpretado como el registro de la colonización de helechos resistentes a las condiciones ambientales adversas que perduraron después del límite K-T (Tschudy, et al., 1984).

Por otra parte, el registro palinológico de Nueva Zelanda ha permitido detectar un nivel con alta abundancia de esporas de hongos justo encima del nivel de extinción de palinomorfos. Este nivel se ha interpretado como la representación de un incremento dramático en los sustratos disponibles para organismos saprófitos, proporcionados por la destrucción masiva de la vegetación tras la crisis ambiental del límite K-T (Vajda y McLoughlin, 2004).

El efecto que sobre la vegetación tropical tuvo el evento del límite K-T fue analizado por De la Parra et al., (2007) en un corazón de roca llamado Diablito, perforado en la cuenca del Cesar-Ranchería (Norte de Colombia). Diablito está compuesto por 670.56 m de sedimentos que se depositaron en ambientes transicionales a fluviales durante el Maastrichtiano (aprox. 70 Ma) y el Paleoceno (aprox. 60 Ma). El análisis palinológico de Diablito mostró niveles de extinción cercanos al 65% (De la Parra et al., 2007). Diferentes líneas de evidencia fueron usadas por De la Parra et al., (2007), para detectar la posición estratigráfica del límite y de esta manera poder asociar los cambios observados en la vegetación con el evento del límite K-T. Aunque en este estudio se hace una descripción precisa de los efectos inmediatos que sobre la vegetación tuvo la crisis del K-T, es poco lo que se aborda acerca de las condiciones ambientales posteriores al evento.

Los resultados palinológicos obtenidos en este estudio, destacan la presencia de altas abundancias de un tipo de alga verde (*Pediastrum* spp.) en muestras ubicadas algunos metros por encima del nivel de extinción propuesto por De la Parra et al., (2007). *Pediastrum* sp. en la actualidad, es un alga colonial presente en lagos de agua dulce, lo cual sugeriría que los sedimentos encontrados algunos metros por encima del nivel extinción, pudieron depositarse en condiciones lacustres.

Otros estudios palinológicos desarrollados por el Grupo de Bioestratigrafía del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) en diferentes cuencas sedimentarias del Norte de Sur América reportan abundancias de *Pediastrum* similares a la encontrada por De la Parra et al., (2007) en un intervalo de tiempo probablemente asociado a la transición Cretácico-Terciario. Sin embargo, ni en el estudio desarrollado por De la Parra, ni en los estudios llevados a cabo por el Grupo de Bioestratigrafía del ICP, se expone la posible existencia de una relación entre el evento del límite K-T y las abundancias de *Pediastrum* encontradas algunos metros por encima del nivel de extinción. De igual manera tampoco se enfatiza en las implicaciones ambientales que podrían deducirse de la presencia de *Pediastrum* y si la abundancia encontrada en los diferentes sitios ocurrieron en el mismo intervalo de tiempo.

En este estudio se integran y se interpretan en términos cronoestratigráficos los resultados palinológicos obtenidos en varias secciones del norte de sur América con el objetivo de conocer si las abundancias de *Pediastrum* reportadas en estos informes ocurrieron en el mismo intervalo de tiempo y si estas pueden relacionarse al evento del límite K-T. Adicionalmente, mediante la integración del análisis de palinofacies y los palinomorfos de relevancia paleoecológica se llevará a cabo una reconstrucción paleoecológica que permita caracterizar los ambientes de depósito de un modo detallado y observar los cambios ambientales asociados durante este período de tiempo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer mediante información palinológica el marco cronoestratigráfico para las diferentes secciones donde se reportan abundancias de *Pediastrum* spp., así como sus posibles ambientes de depósito e implicaciones paleoecológicas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análisis palinológico detallado con la subsecuente identificación taxonómica de los palinomorfos en el sitio referencia.
- Reconocer la distribución geográfica y las implicaciones ambientales de *Pediastrum* spp.
- Análisis cuantitativo y clasificación de la materia orgánica sedimentaria (palinofacies) en cada uno de los sitios.
- Revisión taxonómica de *Pediastrum* spp.
- Interpretación paleoambiental a partir de la integración de la información palinológica y palinofacial obtenida.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El Maastrichtiano y Paleoceno Temprano en Colombia se caracterizan por el levantamiento de las regiones más orientales y partes de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, además del inicio de la polifásica orogenia pre-Andina debido al fuerte control tectónico en la sedimentación a causa del acelerado proceso de levantamiento de la cordillera central ancestral (protocordillera central). Este continuo levantamiento de la protocordillera central sumado al inicio de la etapa final del evento de regresión marina regional en el Noroccidente de Sur América que continuó durante el Paleoceno Temprano, provocaron la migración del eje central de depósito desde el Valle del Magdalena hacia el eje central de la actual cordillera oriental y hasta la parte norte donde se encuentra actualmente el lago Maracaibo, permitiendo el depósito de sistemas de llanura costera y sistemas deltaicos, cuyos sedimentos derivaron también del sur, oriente y occidente (Villamil, 1999). Además, la colisión de la Placa del Pacífico contra el margen occidental de la Placa Sur Americana transformó el margen pasivo hacia un activo cinturón orogénico el cual inicio el desarrollo de un sistema de depósito de antepaís (Yurewicz et al., 1986).

Facies derivadas del occidente pertenecen a las Formaciones Guadula y Seca en el Valle Superior del Magdalena y la Formación Lisama del Valle medio del Magdalena. Unidades similares de esta edad pero derivadas del oriente y sur son la Formación Guaduas y coetáneos de las cuencas de la cordillera Oriental, Catatumbo y Maracaibo (Villamil, 1999), entre las que se encuentra la Formación Molino (Cuenca César-Ranchería) o Catatumbo (Cuenca Catatumbo y Cuenca Maracaibo) que contienen los sedimentos analizados en este estudio.

2.2 PALINOLOGÍA EN EL NORTE DE SUR AMÉRICA DURANTE EL PALEOCENO.

La severidad de las extinciones palinológicas durante el K-T es sorprendente y no existen precedentes en el registro fósil (Nichols y Johnson, 2008). Si bien, existen muchas hipótesis que intentan explicar la(s) causa(s) que condujeron al evento de extinción masiva (p.ej. intenso volcanismo en las trampas de Deccan, regresiones marinas), aquella que cuenta con mayor soporte y la más ampliamente aceptada es la del impacto de un cuerpo extraterrestre sobre la superficie de la Tierra en lo que hoy es la Península de Yucatán (Alvarez, et al., 1980; Ellwood, et al., 2003; Nichols y Johnson, 2008; Schulte, et al., 2010). En Colombia, donde De la Parra et al., (2007), demostraron la severidad del evento en la palinoflora, tres líneas de evidencia asociadas a esta hipótesis fueron empleadas para precisar la ubicación del límite K-T: (1) Análisis geofísico de susceptibilidad magnética, (2) análisis de isotopos estables e identificación de una anomalía de Iridio (cuya extrema abundancia asociada al impacto de un cuerpo extraterrestre puede ser cientos de veces mayor a los niveles conocidos en las rocas sedimentarias (Alvarez, et al., 1980; Nichols y Johnson, 2008) y (3) evidencia biológica obtenida de los palinomorfos, los cuáles constituyen para el norte de Sur América la principal herramienta biológica para enmarcar cronológicamente las capas sedimentarias desde el Cretácico y durante todo el Cenozoico al ser uno de los grupos fósiles más abundantes en las rocas que poseen hidrocarburos (Cuartas et al., 2009). La transición Cretácico-Terciario en Colombia, ha sido analizada palinoestratigráficamente desde la década de los 50 con los trabajos pioneros de Van der Hammen (1954, 1956a, 1956b), lo que ha permitido generar distintos esquemas bioestratigráficos para las principales cuencas del país. (Germeraad, 1968; Muller, et al., 1987; Sarmiento, 1992; Jaramillo y Rueda, 2004; Jaramillo, et al., 2005;). Germeraad, et al., (1968) empleando secciones de Asia, Sur África y los trópicos de Sur América, construyen una zonación desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Aunque esta zonación ha sido la principal herramienta

bioestratigráfica empleada en Colombia en las últimas 4 décadas, el nivel de resolución que ofrece no es adecuado para modelos de exploración actuales (Jaramillo, et al., 2010a).

Muller, et al., (1987), basados en la zonación propuesta por Germeraad, et al., (1968), construyen una zonación para el Cretácico y Paleoceno del norte de Sur América, cuyo límite es definido por las zonas *Proteacidites dehaani* y *Spinizonocolpites baculatus*. La información que ofrece la zonación de Muller, et al., (1987) para Colombia es limitada, dado que una gran cantidad de especies empleadas no ocurren en el país.

Sarmiento, (1992) estudió la transición Cretácico-Terciario en la Formación Guaduas de la cordillera oriental, sugiriendo la posición del límite K-T como el contacto entre la zona I (*Buttinia andreevi*) y la zona II, conformada por las subzonas *Zonotricolpites variabilis* y *Syncolporites lisamae*. Sin embargo, inconsistencias relacionadas con eventos de primeras y últimas apariciones y la ausencia de datos radiométricos y bioestratigráficos independientes (Pardo, 2004), pueden generar sesgos en interpretaciones bioestratigráficas basadas en este trabajo.

Aunque estas y otras zonaciones han sido elaboradas y comúnmente empleadas en análisis bioestratigráficos del norte de Sur América, en este trabajo se empleará la zonación palinológica para los trópicos de Sur América elaborada por Jaramillo et al., (2010a). Esta zonación integra la información de trabajos anteriores (Jaramillo et al., 2005; Jaramillo et al., 2009), cuya utilidad en diferentes cuencas sedimentarias de Colombia ha sido ampliamente demostrada adicionando 50 localidades nuevas que abarcan el Cenozoico en su totalidad. Estas características sumadas a la excelente correlación demostrada con las zonaciones de Muller, et al., (1987) y Germeraad, et al., (1968), la calibración con foraminíferos, isotopos de Carbono, y la gran cantidad de taxa empleados en

comparación con otras zonaciones hacen de esta zonación una excelente herramienta para un preciso control bioestratigráfico.

2.3 SIGNIFICANCIA DE *PEDIASTRUM* SPP.

Pediastrum sp., es un alga verde colonial perteneciente a la División Chlorophyta, Orden Chlorococcales Meyen, 1829. En la actualidad existen aproximadamente 24 especies en el mundo (Jankovská y Komárek, 2000; Komárek y Jankovská, 2001), las cuales presentan distintos requerimientos ecológicos, dada su alta sensibilidad a cambios en la salinidad, pH, y cambios en la profundidad en sistemas lacustres (Tyson, 1995; Jankovská y Komárek, 2000). Algunas especies modernas de *Pediastrum* pueden distribuirse en condiciones salinas estenohalinas, entre 1.7 – 3.5 ‰ (Tyson, 1995) siendo típicos constituyentes del plancton en lagos eutróficos (Batten, 1996a; Xu et al., 2004) con valores de pH por encima de 5,0 o 6,25 (Zippi et al., 1992). Por otra parte, el análisis cuantitativo de *Pediastrum* spp., puede reflejar diferencias en las condiciones ambientales en el momento de la depositación asociada a transgresiones (disminución de *Pediastrum* spp.) o regresiones marinas (aumento significativo del alga) (Medeanic, 2006) y a períodos de considerable humedad (aumento de la precipitación) (Xu et al., 2004; Medeanic, 2006; Volkheimer et al., 2006). Sin embargo, su distribución parece no estar restringida a una continua presencia de cuerpos de agua que permitan su constante desarrollo. El potencial de algunas especies actuales de *Pediastrum* para formar células-quistes latentes capaces de soportar altas temperaturas y condiciones ambientales adversas (p.ej. desecación y posterior desaparición de cuerpos de agua) por largos períodos de tiempo (Davis, 1962; Rands and Davis, 1979), sumado a la capacidad para expandir su distribución geográfica rápidamente siendo dispersados en la atmósfera (Hall, 1998), podrían facilitar su rápida recuperación posterior a períodos de estrés ambiental extremos.

Pediastrum spp., ha sido registrado desde inicios del Cretácico (Batten y Lister, 1988; Batten, 1996a), evidenciándose principalmente como el alga dominante en variedad de facies de sistemas lacustres y de influencia fluvial durante el Cretácico (Wood and Miller, 1997; Limarino et al., 2000) y a lo largo del Cenozoico (Fleming, 1989; Wood and Miiller, 1997; Zamaloa y Tell, 2005; Bercovici, et al., 2009), siendo reconocido comúnmente como el indicador paleoecológico más fiable para este tipo de ambientes. Teniendo en cuenta las características derivadas de la presencia de *Pediastrum*, partiendo del hecho de que las características morfológicas en un amplio sentido han cambiado muy poco durante millones de años y asumiendo que los requerimientos ecológicos de las especies fósiles de *Pediastrum* spp. son similares a los de sus contrapartes actuales, se ha demostrado su utilidad en la interpretación de cambios ambientales del pasado a partir del registro fósil. En este sentido, Zamaloa y Tell (2005), compilaron el registro de esta alga en el sur de sur América desde el Cretácico y a lo largo del Cenozoico describiendo 10 especies, resaltando la existencia de hábitats apropiados para el crecimiento del alga y demostrando la importancia de *Pediastrum* spp. como herramienta palinológica relevante en reconstrucciones paleoambientales. Por otra parte, estudios en la formación el Tunal del Daniano (Volkheimer et al., 2006) y la formación Ciénaga del río Huaco del Maastrichtiano (Ciccioli et al., 2005) en el sur de Sur América (Argentina), sugieren en primer lugar la existencia de períodos de humedad inferido a partir de la alta abundancia de *Pediastrum* spp. y en menor medida de *Scenedesmus* spp., junto a plantas con afinidad botánica hidrofílica, y en segundo lugar la presencia de un cuerpo de agua con características físico-químicas definidas dada la existencia exclusiva de una población de *Pediastrum boryanum* en la localidad.

Sin embargo, a pesar de la común especificidad ambiental derivada de la presencia de *Pediastrum* spp. en sedimentos fósiles, su presencia en sedimentos marinos parece ser común. Es por esto, que algunos autores (p.ej. Rull, 1997; Jaramillo y Oboh, 1999) resaltan la necesidad de un mayor número de estudios

que relacionen la distribución de estas algas respecto al nivel de salinidad y asocian su abundancia a ambientes salobres o neríticos, mientras otros explican la presencia de esta alga en sedimentos marinos a partir de procesos tafonómicos, en los que las algas son transportadas desde los cuerpos de agua dulce hacia ese tipo de ambientes (Evitt, 1963; Brown and Downie, 1983; Powell et al., 1990; Wood and Miller, 1997).

Estos reportes permiten suponer que un análisis con objetivos paleoecológicos argumentados exclusivamente a partir de la presencia de *Pediastrum* spp, podrían no ser totalmente confiables, haciéndose evidente la necesidad de vincular información adicional que en conjunto permita reconstruir el pasado desde un punto de vista paleoambiental de un modo preciso (p. ej., el análisis palinológico y el análisis de palinofacies).

2.4 ANÁLISIS DE PALINOFACIES.

Una de las aproximaciones más importantes y de alto poder resolutivo en reconstrucciones paleoecológicas e interpretaciones paleoambientales, es el análisis de palinofacies. El término palinofacies, hace referencia al contenido orgánico total obtenido a partir de la preparación palinológica común (tratamiento con ácido inorgánicos) de una roca sedimentaria (Combaz, 1964). Dado que se trata de una asociación distintiva de componentes orgánicos acumulados bajo condiciones específicas, reflejan las condiciones originales y los ambientes de depósito del área fuente (Tyson, 1995; Batten, 1996b; Carvalho et al., 2006).

Las palinofacies han sido empleadas en la definición de ciclos estratigráficos (Carvalho et. al., 2006), evaluación de parámetros geoquímicos (p.ej. Tyson, 1995; Ercegovac y Kostic, 2006) y en reconstrucciones paleoambientales de estratos fósiles marinos y terrestres (p.ej. Oboh et al., 1997; Jaramillo y Oboh 1999;

Ercegovac y Kostic, 2006). La integración de información palinológica, palinofacial y litológica permite elaborar una reconstrucción precisa de los ambientes de depósito y de las características paleoecológicas asociadas. En este sentido, la información derivada de este tipo de análisis, ha sido empleada en la interpretación de oscilaciones del nivel del mar, profundidad del agua e influjo terrestre en el sitio de depósito (Batten, 1996b, Jaramillo y Oboh, 1999). Además, las partículas palinofaciales son de gran utilidad en la interpretación de intervalos donde los palinomorfos son escasos (Carvalho et al., 2006). El análisis de palinofacies será empleado en este estudio con el objetivo de conocer las características del ambiente de depósito de los sedimentos donde se registra el acme de *Pediastrum* spp.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 IDENTIFICACIÓN DE SECCIONES

Con el objetivo de tener un marco cronoestratigráfico de referencia, se seleccionó el corazón Diablito como sección tipo, ya que presenta evidencias claras del límite K-T obtenidas a partir de la integración del análisis de susceptibilidad magnética, isótopos estables, anomalía de Iridio (De la Parra-comunicación personal) y el control bioestratigráfico brindado por los palinomorfos. Se estudiaron un total de doce (12) muestras en el intervalo (509.8 – 489.4 m). Una placa por muestra fue observada empleando un microscopio de luz transmitida marca Leica. Se usó un objetivo de 10X para el barrido general y un objetivo de inmersión de 100X para la identificación de los palinomorfos. Al menos 300 especímenes, incluyendo granos de polen, esporas, quistes de dinoflagelados, acritarcos marinos y algas de agua dulce se contaron por muestra. Una vez alcanzado este valor, el área faltante de la placa fue observada en su totalidad con el objetivo de reportar especies que no fueron encontradas en el conteo inicial. La identificación de los palinomorfos polínicos, esporas y dinoflagelados se llevo a cabo a partir de comparación con la base de datos electrónica de polen y esporas del Cretácico-Terciario y actual del Norte de Sur América (Jaramillo et al., 2010b), y a partir de asesorías de palinólogos del grupo de Bioestratigrafía del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP). La sección Diablito se trató en este estudio como sitio de referencia, ya que el intervalo de muestreo es el más detallado en comparación con los sitios restantes lo cual resulta ideal en términos bioestratigráficos y paleoecológicos. Desde un punto de vista bioestratigráfico, permite la implementación de datos correspondientes a las primeras apariciones de las especies (FADs) pues al tratarse de un núcleo las muestras no son contaminadas por palinomorfos caídos, un problema comúnmente asociado a muestras de pozo en las que el efecto

inducido por este fenómeno durante la perforación, puede incrementar artificialmente el rango de un taxón conduciendo a una interpretación bioestratigráfica errónea (Jaramillo et al., 2006). Y segundo, gracias a que presenta un muestreo detallado, ofrece una visión más completa sobre la evolución de los ambientes de depósito y la flora allí presente.

Para identificar otras secciones y/o pozos que abarcaran la transición Cretácico-Terciario, se revisó la información palinológica almacenada en las bases de datos confidenciales del Grupo de Bioestratigrafía del ICP. La selección de los sitios se basó en el reporte de la ocurrencia de palinomorfos bioestratigráficos reconocidos de la transición K-T (reportados por Jaramillo et al., 2006 y De la Parra et. al., 2007), principalmente *Echimonocolpites protofranciscoi* y *Spinizonocolpites baculatus*. La ocurrencia de estos dos palinomorfos, entre otros, aseguraba que los sitios seleccionados tuvieran un registro continuo de la transición K-T. Posteriormente y basado en los reportes internos producidos por el Grupo de Bioestratigrafía del ICP, se seleccionaron únicamente los sitios con reporte de *Pediastrum* spp.

De acuerdo a esta revisión se obtuvieron 3 sitios localizados en el norte y oriente de Colombia, y en el occidente de Venezuela (FIGURA 1):

1. Muestras de afloramiento de la sección Río Loro-2 (Andes de Mérida, occidente de Venezuela) (Latitud 8.4° - Longitud - 71.8°).
 2. Muestras de ripio del pozo Gonzalez-1 ubicado en el departamento de Norte de Santander (Cuenca de Catatumbo) (Latitud 8,27° - Longitud 72.57°).
 3. Muestras de ripio del pozo Cerro Gordo-3 ubicado en el departamento de Norte de Santander (Cuenca de Catatumbo) (Latitud 8.21° – Longitud 72.74°)
- La descripción litológica para cada localidad se observa en los Anexos 1, 2, 3 y 4.

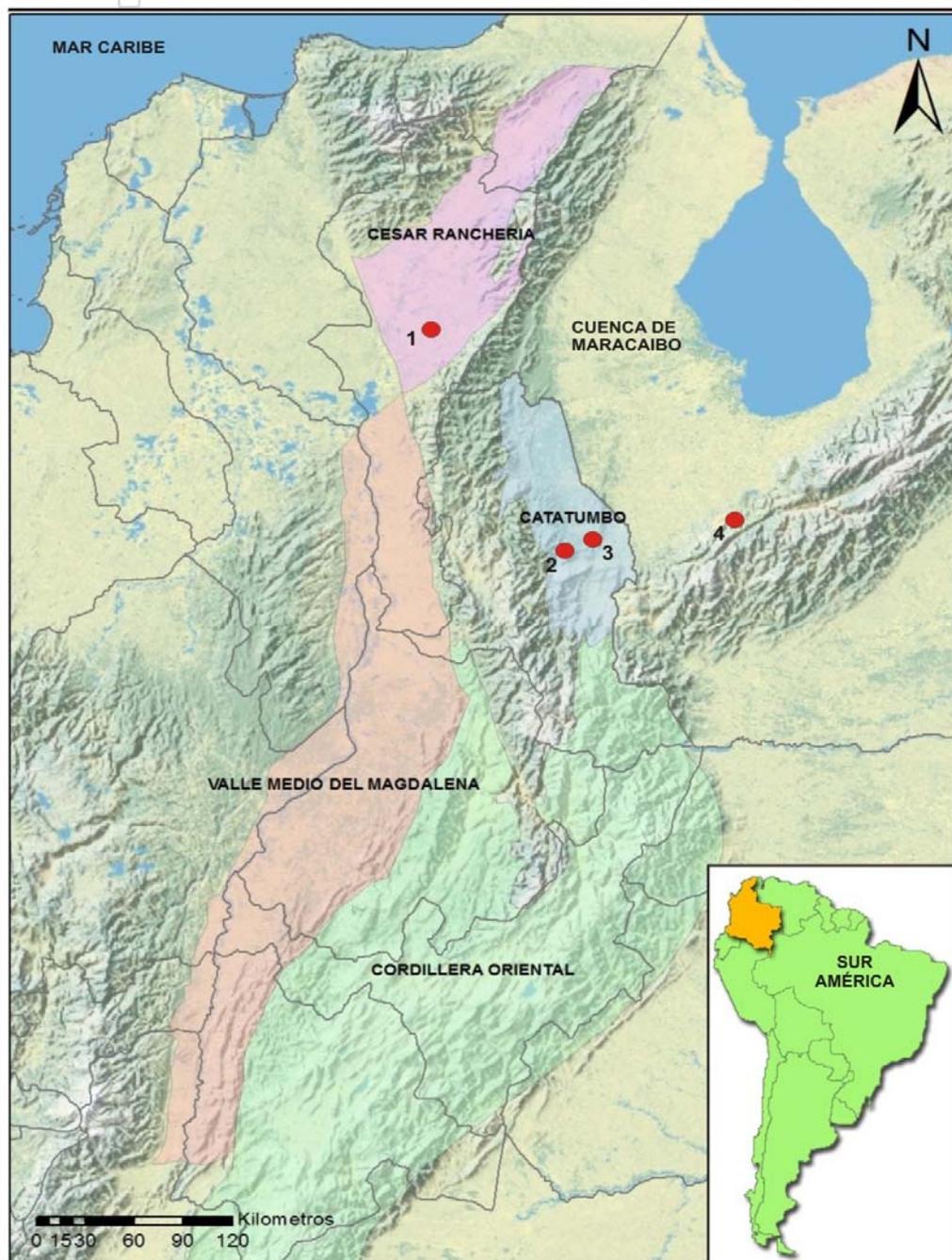


Figura 1. Ubicación de los sitios analizados. 1: Diablito (Cuenca César-Ranchería), 2: Cerro Gordo-3 (Cuenca Catatumbo), 3: Gonzales-1 (Cuenca Catatumbo), 4: Rio Loro-2 (Cuenca Maracaibo).

3.2 BIOESTRATIGRAFÍA

Los resultados obtenidos del análisis del corazón Diablito se compararon con la zonación propuesta por Jaramillo et al., (2010a) y las zonaciones palinológicas desarrolladas por el grupo de Bioestratigrafía del ICP con el objetivo de enmarcar bioestratigráficamente y cronoestratigráficamente el intervalo de estudio. Posteriormente la información palinológica de los sitios restantes seleccionados, se interpretó en términos bioestratigráficos con el fin de establecer las posibles equivalencias temporales entre los sitios.

3.3 SIGNIFICANCA TEMPORAL DE *PEDIASTRUM* SPP.

Con el objetivo de enmarcar cronológicamente el acme de *Pediastrum* spp. y determinar de una manera aproximada el intervalo de tiempo transcurrido entre este evento y el límite K-T, se seleccionaron 4 eventos palinoestratigráficos que marcan intervalos temporales de acuerdo a Jaramillo et al., (2010a) y de los cuáles se tiene certeza que ocurren en las localidades estudiadas (Figura 2). Estos eventos son:

- 1) La última aparición (LAD) de *Echimonocolpites protofranciscoi*, que define el límite K-T (65.5 Ma) y la base de la zona T-01.
- 2) LAD de *Spinizonocolpites baculatus* que define el límite del Paleoceno inferior (61.9 Ma) y la base de la zona T-02.
- 3) La primera aparición (FAD) de *Bombacacidites annae* que indica una edad aproximada de 60 Ma y define el tope de la zona T-02.
- 4) LAD de *Zlivisporis blanensis* que ocurre entre la última aparición de *Spinizonocolpites baculatus* y la primera aparición de *Bombacacidites annae* (61.9 - 60 Ma)

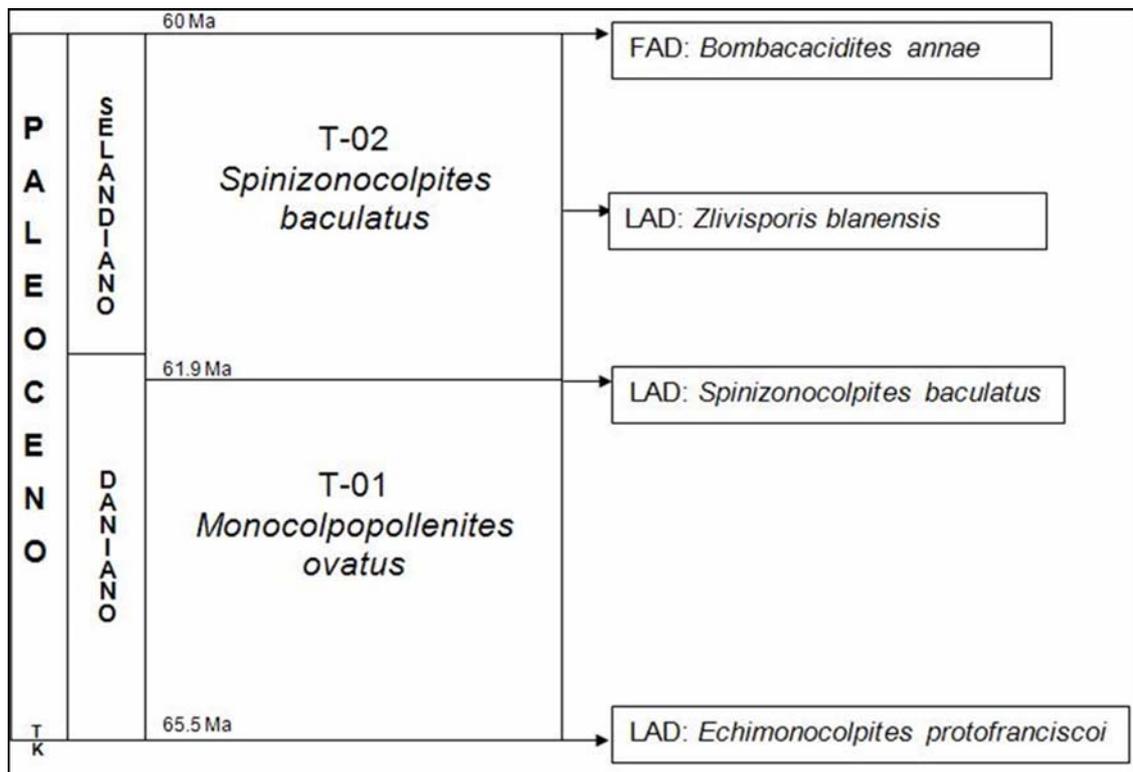


Figura 2. Eventos palinoestratigráficos empleados para enmarcar temporalmente el acme de *Pediastrum* spp. en las zonas de estudio. De la base al tope de la sucesión: LAD (última aparición) *Echimonocolpites protofranciscoi* (65.5 Ma – Base de la zona T-01), LAD *Spinizonocolpites baculatus* (61.9 Ma – Tope de la zona T-01 y Base de la zona T-02), LAD *Zlivisporis blanensis* (Dentro de la zona T-02, entre 61.9 y 60 Ma), FAD (primera aparición) *Bombacacidites annae* (Tope de la zona T-02-60 Ma). Eventos bioestratigráficos basados en Jaramillo et al., (2010a).

3.4 SIGNIFICADO AMBIENTAL DE *PEDIASTRUM* SPP.

Con el objetivo de establecer el posible ambiente de depósito y las asociaciones paleoecológicas en los sitios de estudio, se llevó a cabo un análisis de palinofacies en cada localidad. Para cada uno de los sitios se realizó un conteo de 300

partículas orgánicas por placa, empleando un objetivo de 40X acoplado a un microscopio de luz transmitida Leica. Cada una de las partículas identificadas se refirió a una de las categorías establecidas por Oboh et al., (2005): esporas y polen, restos de hongos, algas de agua dulce, palinomorfos marinos (dinoflagelados, acritarcos, foraminíferos), fitoclastos estructurados (p.ej. maderos, cutículas, parénquima), fitoclastos no estructurados (p.ej. resinas, fragmentos pulverizados y degradados), fragmentos opacos y materia orgánica amorfa.

En relación con *Pediastrum* spp. y las microalgas de ambientes lacustres asociadas, se realizó una revisión exhaustiva de la totalidad de muestras seleccionadas para cada sitio. Además se realizó una diferenciación taxonómica de las especies de *Pediastrum* en base a la afinidad con las especies actuales a partir de la comparación con trabajos especializados (Komárek y Jankovská, 2001; Zamaloa y Tell, 2005). El trabajo de Komárek y Jankovská (2001), es la recopilación más completa actualmente en relación a *Pediastrum* spp, en la que se integra información taxonómica, ecológica y paleolimnológica. El trabajo de Zamaloa y Tell (2005), analiza el registro fósil de *Pediastrum* en el sur de Sur América desde el Cretácico hasta el reciente.

Dada la edad de los sedimentos, una gran cantidad de palinomorfos que se encontraron asociados a *Pediastrum* spp. no pudieron ser diferenciados con claridad por lo que los resultados cuantitativos aquí mostrados son sólo una aproximación.

Por otra parte, con el objetivo de obtener una visualización generalizada de la palinoflora dominante en los ambientes de depósito, se seleccionaron aquellos taxa cuya abundancia era mayor al 1% de la suma total de palinomorfos realizada para Diablito y de la existente para las localidades restantes. Aquellos taxa con afinidad botánica establecida fueron empleados en la reconstrucción paleobotánica.

3.5 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de agrupamiento (Cluster), es una herramienta empleada para construir grupos a partir de objetos de datos multivariados. El objetivo es establecer asociaciones con propiedades homogéneas a partir de muestras con alto grado de heterogeneidad. El método consiste básicamente en construir un dendrograma a partir de la elección de una medida de proximidad o similitud entre los objetos y un algoritmo aglomerativo que defina la distancia entre las agrupaciones. Se parte de la estructura más simple posible (cada dato o variable), se calcula la matriz de distancia entre los grupos y se unen aquellos que tienen la menor distancia hasta formar una única agrupación (Crawley, 2007; Hardle y Simar, 2007).

En este estudio, se realizó un análisis de agrupamiento para cada uno de los sitios. Se construyó una matriz empleando la información palinológica, se descartaron aquellas muestras con un recobro menor a 100 polinomos y se llevó a cabo el análisis de agrupamiento con el objetivo de identificar posibles cambios en la composición palinológica entre las muestras. Se llevó a cabo un análisis de agrupamiento aglomerativo empleando la distancia Euclidiana para medir el grado de similitud junto a varios algoritmos de aglomeración (Ward, simple, promedio y completo).

Los análisis fueron realizados empleando R, un lenguaje y ambiente para estimaciones estadísticas (R Development Core Team, 2010) y el paquete estadístico Vegan (Oksanen et al., 2006).

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS PALINOLÓGICO DEL CORAZÓN DIABLITO.

La palinoflora recuperada del corazón Diablito se caracteriza por presentarse en un buen estado preservacional. Si bien, el recobro en algunos intervalos fue escaso (menor a 100 palinomorfos), el conteo basado en dos preparaciones por muestra brinda la suficiente información para una adecuada interpretación bioestratigráfica, lo cual es un prerrequisito clave cuando se pretende elaborar reconstrucciones paleoambientales de diferentes localidades en un mismo intervalo de tiempo.

Un total de 12 muestras abarcando un intervalo de 20 m (489.4–509.8 m) pertenecientes a la Formación Molino fueron analizadas. Esta secuencia está representada principalmente por facies lodolíticas claras y oscuras con algunas intercalaciones de areniscas y en menor medida fracciones esporádicas de carbón (Anexo 1), depositadas en un frente deltaico (De la Parra et al., 2007).

Desde el punto de vista palinológico, se contaron un total de 1718 palinomorfos y se reconocieron 70 morfotipos incluyendo 46 palinomorfos polínicos, 18 esporas, 2 microalgas de agua dulce pertenecientes a los géneros *Pediastrum* spp. y *Scendesmus* spp., y 4 quistes de dinoflagelados y de foraminíferos. La carta de distribución de los palinomorfos es mostrada en el Anexo 5. Las muestras en su mayoría se caracterizan por presentar un buen recobro de palinomorfos (> 100 palinomorfos). Sin embargo, las muestras 487.9 m, 489.4 m y 490.8 m presentaron un escaso recobro palinológico con 27, 27 y 47 palinomorfos respectivamente.

La asociación palinológica en general, se caracteriza por altas frecuencias y una continuidad en el registro de *Psilamonocolpites medius*, *Pediastrum* spp., *Psilatriteles* sp. (25-50 μ m) y en menor medida de *Proxapertites psilatus*.

Entre 509.8–504.2 m se observan frecuencias moderadas de *Colombipollis tropicalis*, *Echimonocolpites protofranciscoi*, *Echitriporites trianguliformis*, *Proxapertites operculatus*, *Spinizonocolpites baculatus*, *Syndemicolpites typicus* y en menor medida de *Echitriporites suescae*. Esta asociación es seguida por un intervalo (502.1–498.5 m) donde se presenta una disminución considerable en la abundancia de todos los taxa anteriores con excepción de *Echitriporites trianguliformis* el cual mantiene una abundancia constante hasta la profundidad 504.2 m en la que su presencia disminuye abruptamente. Se resalta el aumento en la frecuencia de *Pediastrum* spp. en el intervalo 495.6-492.1 m siendo el componente más abundante de la asociación palinológica. La muestra 497.9 m evidencia un pobre recobro de palinomorfos. Sobre el intervalo 495.6-492.1 m la frecuencia de los palinomorfos polinicos y esporas disminuye mientras la contribución de *Pediastrum* spp. incrementa representando el 81,7% y 50% de la asociación palinológica respectivamente. Se resaltan abundancias moderadas de *Psilamonocolpites medius*, *Retitriteles "minutus"*, *Scenedesmus* spp. y *Zlivisporis blanensis*. Estos dos últimos palinomorfos, disparan su abundancia en el intervalo en que *Pediastrum* spp. domina por completo la asociación (492.1 m). Hacia el tope del intervalo analizado (490.8–489.4 m) se reanuda el pobre recobro de palinomorfos.

El análisis palinológico de Gonzales-1, Cerro Gordo-3 y Rio Loro-2, se describe en los Anexos 2, 3 y 4.

4.2 BIOESTRATIGRAFÍA

4.2.1 Corazón Diablito.

El marco cronológico establecido para el corazón Diablito se basó en el registro palinológico del intervalo analizado en este estudio, junto con la información obtenida por De la Parra et al., (2007) quien analizó este sitio desde los 684 hasta los 242.2 m.

Las desapariciones en el registro fósil de *Echimonocolpites protofranciscoi* y *Spinizonocolpites baculatus* se caracterizan por ser los principales eventos bioestratigráficos para localizar el límite K-T y el tope del Paleoceno Temprano (61.9 Ma) respectivamente en el norte de Sur América (Jaramillo et al., 2006). La asociación palinológica analizada en este estudio demuestra al igual que lo reportado por De la Parra et al., (2007), que la desaparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* ocurre a los 498.5 m. Sin embargo, análisis geoquímicos realizados por De la Parra (comunicación personal), demuestran que la anomalía de Iridio (cuya extrema abundancia es la principal evidencia para detectar el límite K-T asociado al impacto de un cuerpo extraterrestre) se posiciona a los 502.1 m. De acuerdo a lo anterior y a la evidencia obtenida a partir de la integración de los demás marcadores bioestratigráficos, la presencia de *Echimonocolpites protofranciscoi* en las profundidades 501.7, 499.3 y 498.5 m, con tan solo un espécimen, se asume como producto de retrabajamiento. Por ende, el límite K-T y la base de la zona T-01 (Jaramillo et al., 2010a) se posiciona a los 502.1 m. Otros eventos que en conjunto definen la base de esta zona son la desaparición de *Syndemicolpites typicus* y *Proteacidites dehaani* las cuales ocurren a los 500.2 y 504.2 m respectivamente. La desaparición de *Spinizonocolpites baculatus*, evento que define el tope de la zona T-01 ocurre a los 497.9 m (Figura 3).

El tope de la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus* (Paleoceno medio, 60 Ma) definido de acuerdo a Jaramillo et al., (2010a) por la primera aparición de *Bombacacidites annae* está ausente en las muestras analizadas y no fue reportado en el análisis realizado por De la Parra et al., (2007) para esta localidad, el cual se extendió hasta los 242 m. Sin embargo, un par de eventos bioestratigráficos que ocurren dentro de esta zona y reportados por De la Parra et al., (2007), como lo son la extinción de *Zlivisporis blanensis* y el primer registro de *Proxaperites magnus* ocurren a los 380.7 y 301.3 m respectivamente. Esto permite inferir que el tope del intervalo analizado se ubica dentro de la zona T-02.

4.2.2 Gonzales-1.

De un modo similar a lo registrado en Diablito, la definición del límite K-T parece no corresponder a la última ocurrencia de *Echimonocolpites protofranciscoi*. Aunque para esta localidad y las dos restantes no existen análisis geoquímicos que permitan detectar una anomalía de Iridio, otros eventos bioestratigráficos asociados permiten determinar la que posiblemente sería su verdadera desaparición. Los registros esporádicos de este palinomorfo en el intervalo 765-710 m se interpretaron como material retrabajado, estableciéndose la profundidad 783 m como el punto de su verdadera desaparición y por lo tanto la base de la zona T-O1 *Spinizonocolpites baculatus* (Jaramillo et al., 2010a). El tope de esta zona definido por la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus* ocurre a los 728 m. Eventos dentro de esta zona que clarifican la posición establecida como base de la zona T-01, son la última aparición de *Andalusiella gabonensis* (810 m) y *Buttinia andreevi* (801 m) que definen en conjunto la base de esta zona y la desaparición de *Ariadnasporites spinosus* (755 m), *Syndemicolpites typicus* (746 m), *Proteacidites dehaani* (792 m) junto a la primera aparición del acme de

MUESTRAS	49	497	498	499	500	50	502	502	504	50
LAD <i>E.</i>										
Anomalia de										
LAD <i>B. andreevi</i>										
LAD <i>G.</i>										
LAD <i>S. typicus</i>										
LAD <i>P. dehaani</i>										
LAD <i>S. baculatus</i>										

A. Diablito

B. Cerro Gordo-3

MUESTRAS	(m)	317	329	338	377	399
EVENTO						
BIOESTRATIGRÁFICO						
LAD <i>E. protofranciscoi</i>						
LAD REINTERPRETADO: <i>E.</i>						
LAD <i>Ariadnasporites spinosus</i>						
LAD <i>Syndemicolpites typicus</i>						
LAD <i>Spinizonocolpites baculatus</i>						

C. Gonzales-1

MUESTRAS	(m)	701	728	746	755	774	783	792	801
EVENTO									
BIOESTRATIGRÁFICO									
LAD <i>E. protofranciscoi</i>									
LAD REINTERPRETADO <i>E.</i>									
LAD <i>Buttinia andreevi</i>									
LAD <i>Proteacidites dehaani</i>									
FAD acme <i>Proxapertites</i>									
LAD <i>Syndemicolpites typicus</i>									
LAD <i>Ariadnasporites spinosus</i>									
LAD <i>Spinizonocolpites baculatus</i>									

D. Rio Loro-2

MUESTRAS (m) EVENTO BIOESTRATIGRÁFICO	976.6	943	936	922	915
<i>LAD E. protofranciscoi</i>					
<i>LAD REINTERPRETADO E.</i>					
<i>LAD Dinocavniium spp.</i>					
<i>LAD Gabonisorites</i>					
<i>LAD Syndemicolpites typicus</i>					
<i>LAD Proteacidites dehaani</i>					
<i>LAD</i>					
<i>LAD Spinizonocolpites</i>					

Figura 3: A,B,C,D. Posición de los eventos bioestratigráficos empleados para ubicar el límite K-T y el tope de la zona T-01 (61.9 Ma) en las 4 localidades analizadas, basado en Jaramillo et al., (2010a). Color negro: Extinción de *Echimonocolpites protofranciscoi* (límite K-T) reportado inicialmente para cada localidad. Color verde: anomalía de Iridio en el corazón Diablito y reposicionamiento del límite K-T para cada localidad. Color naranja: Eventos bioestratigráficos que ocurren dentro de la zona T-01 (65.5-61.9 Ma). Color azul: Desaparición de *Spinizonocolpites baculatus* (Tope de la zona T-01, 61.9 Ma). *Proxapertites operculatus* (774 m) que de acuerdo a Jaramillo et al., (2010a) ocurren dentro de la zona T-01 (Figura 3).

Los eventos que definen el tope de la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus* y T-03A *Bombacacidites annae*, de acuerdo a Jaramillo et al., (2010a), corresponden a la primera aparición de *Bombacacidites annae* y *Foveotricolpites perforatus*, lo cual impide la ubicación precisa de los límites de estas biozonas ya que las muestras analizadas en Gonzales-1 consisten en ripios de perforación. El único evento con clara utilidad bioestratigráfica es la desaparición de *Zlivisporis*

blanensis, la cual ocurre a 664 m y que de acuerdo a Jaramillo et al., (2010a) pertenece a la zona T-02 (61.9 – 60 Ma).

4.2.3 Cerro Gordo-3

Se asume la última aparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* a 378 m, y se interpreta su escasa presencia a 359 y 317 m como producto de retrabajamiento.

Spinizonocolpites baculatus, desaparece a los 317 m situando en esta profundidad el tope de la zona T-01. Varios eventos de extinción que ocurren en la base y dentro de la zona T-01 tales como la última aparición de *Andalusiella gabonensis*, *Buttinia andreevi*, *Gabonisorites vigourouxii*, *Duplotriporites arianni*, *Proteacidites dehaani* y *Baculamorphomonocolpites tausae*, ocurren varios metros por debajo de la desaparición replanteada para *Echimonocolpites protofranciscoi*. *Ariadnasporites spinosus* y *Syndemicolpites typicus* desaparecen a 329 y 338 m dentro de la zona T-01, como lo señala Jaramillo et. al., (2010a) (Figura 3). Aunque si bien el tope de la zona T-02 definida por el primer registro de *Bombacacidites annae* ocurre a 360 m, se puede deducir que se trata de material caído durante el proceso de perforación del pozo, ya que este intervalo corresponde a la zona T-01. La desaparición de *Zlivisporis blanensis* a los 39.6 m, es la única evidencia que indica que las muestras restantes se depositaron en un periodo que oscila entre 61.9 y 60 Ma, es decir, dentro de la zona T-02 (Jaramillo et al., 2010a).

4.2.4 Rio Loro-2.

La representatividad de *Echimonocolpites protofranciscoi* con un único espécimen en las profundidades 926, 936 y 943 m, es interpretada como producto de retrabajamiento. Se establece la última aparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* y por ende el posicionamiento del límite K-T a 922 m. La

desaparición de *Spinizonocolpites baculatus* a 976.6 m define el tope de la zona T-01 (Jaramillo et al., 2010a). La última aparición de *Gabonisorites vigourouxii*, *Syndemicolpites typicus*, *Proteacidites dehaani* y *Bacumorphomonocolpites tausae* a los 936 m, eventos que en conjunto caracterizan la zona T-01 (Jaramillo et al., 2010a) corroboran el posicionamiento de *Echimonocolpites protofranciscoi* (Figura 3). La primera aparición de *Bombacacidites annae* a 1081 m, define el tope de la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus*. En esta sección la última aparición de *Zlivisporis blanensis* ocurre a los 953 m.

4.3 SIGNIFICANCIA TEMPORAL DE *PEDIASTRUM* SPP.

La primera aparición de *Bombacacidites annae* fue un evento empleado exclusivamente para la sección Rio Loro-2. En Diablito no ocurre este evento y en los pozos Gonzales-1 y Cerro Gordo-3 no es prudente utilizar este dato ya que al tratarse de muestras de pozos puede conducir a conclusiones bioestratigráficas erróneas. La última aparición de *Zlivisporis blanensis*, no fue empleada en Rio Loro-2 debido a que ocurre dentro de la zona T-01.

En el corazón de roca Diablito, el acme de *Pediastrum* spp. se presenta 6.5 m después del límite K-T y 3.7 m después de la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus*. Se establece su ocurrencia dentro de la zona T-02 (61.9-60 Ma) (Anexo 9).

Para el pozo Gonzales-1, la diferencia entre la aparición del acme de *Pediastrum* spp. y el límite K-T es de 73 m. y de tan solo 18 m después de la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus*. El hecho de que este evento ocurra antes de la desaparición de *Zlivisporis blanensis* (Anexo 10), lo posiciona dentro de la zona T-02.

Para el sitio Cerro Gordo-3, el acme de *Pediastrum* spp. ocurre igualmente dentro de la zona T-02 (Anexo 11). La diferencia entre su ocurrencia, el límite K-T y la última aparición de *Spinizonocolpites baculatus* es de 70 m y 9 m respectivamente.

En Rio Loro-2, el acme de *Pediastrum* spp., ocurre 59 m antes de la aparición de *Bombacacidites annae* y 45.4 m después de la extinción de *Spinizonocolpites baculatus*, lo cual precisa su ubicación dentro de la zona T-02. Con respecto a la relación entre el acme de *Pediastrum* spp. y el límite K-T, su presencia ocurre 100 m después de la desaparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* (Anexo 12).

4.4 SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DE *PEDIASTRUM* SPP.

4.4.1 Análisis palinofacial.

Se empleó el montaje procedente del material no oxidado en cada una de las muestras debido a que el proceso de oxidación puede alterar el color natural de la materia orgánica dispersa y destruir el material amorfo y los fitoclastos estructurados (Jaramillo y Oboh, 1999). Los datos obtenidos en el análisis palinofacial son expresados como abundancias porcentuales en base a la suma total de la materia orgánica.

4.4.1.1 Diablito

La sucesión analizada se caracteriza por un predominio de fitoclastos estructurados y en menor medida de fitoclastos no estructurados y fragmentos opacos (Figura 4). La presencia de palinomorfos marinos es nula, mientras los palinomorfos continentales, algas lacustres, restos de hongos y la materia orgánica amorfa exceptuando la profundidad 492.1 m presentan una

representatividad menor al 10% en todas las muestras analizadas. Los fitoclastos no estructurados nunca dominan la asociación palinofacial. Las profundidades 502.1 y 492.1 m (en las que *Pediastrum* spp. es dominante) presentan una mayor abundancia de fragmentos opacos con una representatividad del 42.3% y 70% respectivamente, mientras el resto de la asociación es dominada por fitoclastos estructurados.

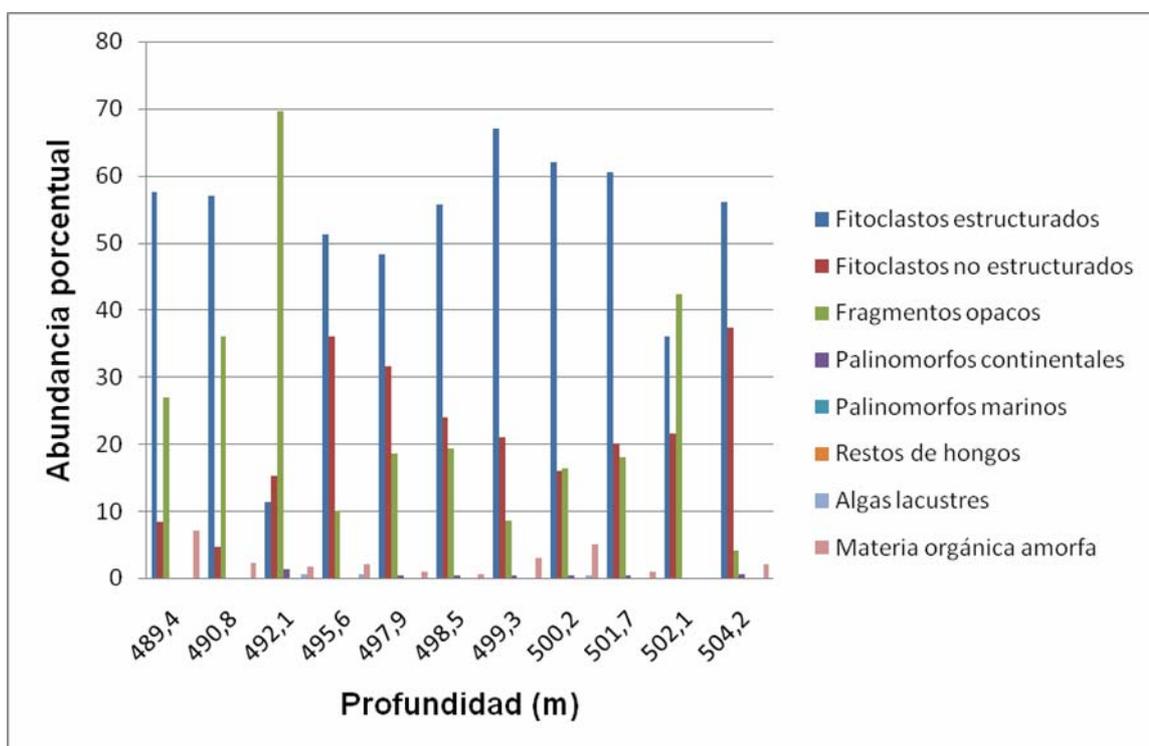


Figura 4: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Corazón Diablito.

4.4.1.2 Gonzales-1: Todas las muestras analizadas con excepción de la profundidad 746 m donde predominan los fragmentos opacos con una representatividad del 48% son dominadas por fitoclastos estructurados (Figura 5). Abundancias considerables de fragmentos opacos y fitoclastos no estructurados son comunes en toda la asociación. Los palinomorfos continentales, algas lacustres y restos de hongos tienen una representatividad menor o igual al 2%. Los palinomorfos marinos son totalmente ausentes en el registro palinofacial, mientras la materia orgánica amorfa no supera el 5% cuando alcanza valores máximos (655, 691 y 737 m).

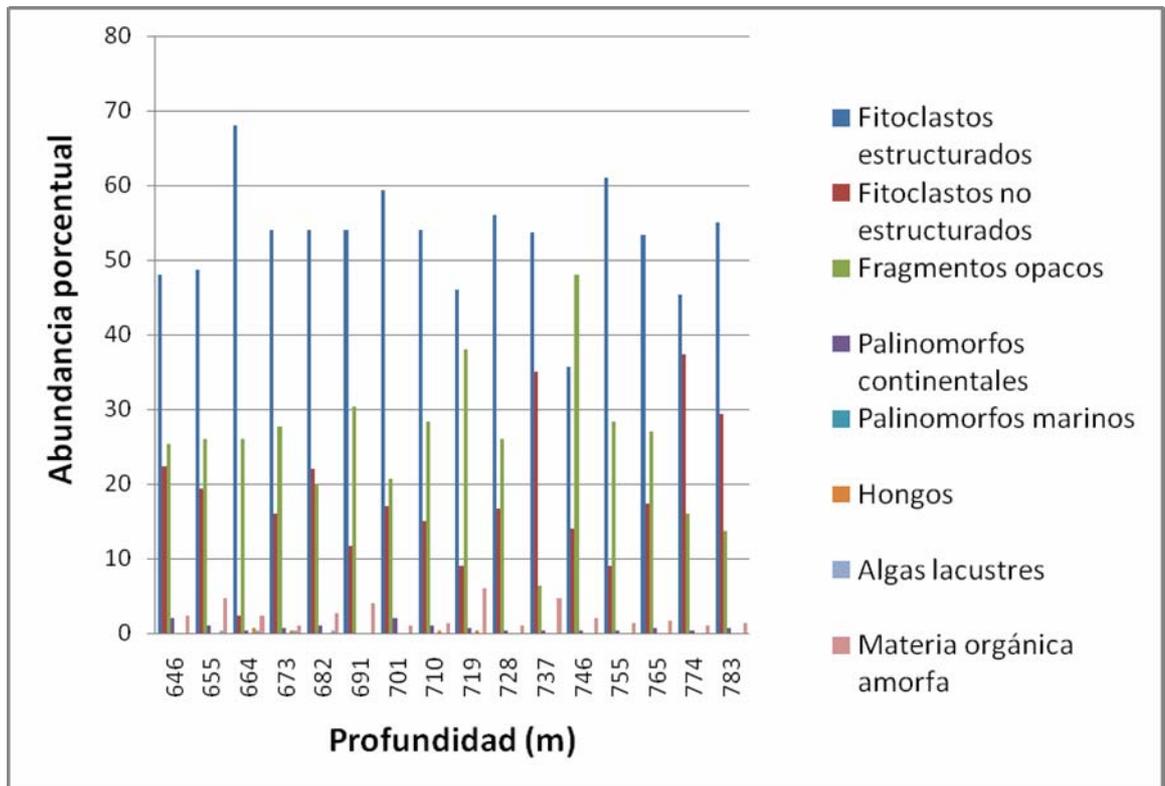


Figura 5: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Pozo Gonzales-1.

4.4.1.3 Cerro Gordo-3: Se observa un predominio general de fitoclastos estructurados (Figura 6). Los fitoclastos no estructurados son el principal componente de las profundidades 378 y 338 m (71 y 47.3% respectivamente). En el intervalo 329 - 262 m se observa un dominio absoluto de fitoclastos estructurados (61 – 76%). Los palinomorfos continentales, hongos y algas lacustres son menores al 2%, mientras los palinomorfos marinos son ausentes. La materia orgánica amorfa es escasa, su máxima abundancia es de 5.6% en la profundidad 347 m.

Basado en el análisis palinofacial en cada uno de los sitios, tres grupos principales de elementos palinofaciales fueron observados (fitoclastos estructurados, fragmentos opacos y fitoclastos no estructurados), con un predominio del material fitoclastico estructurado en la mayoría de muestras analizadas.

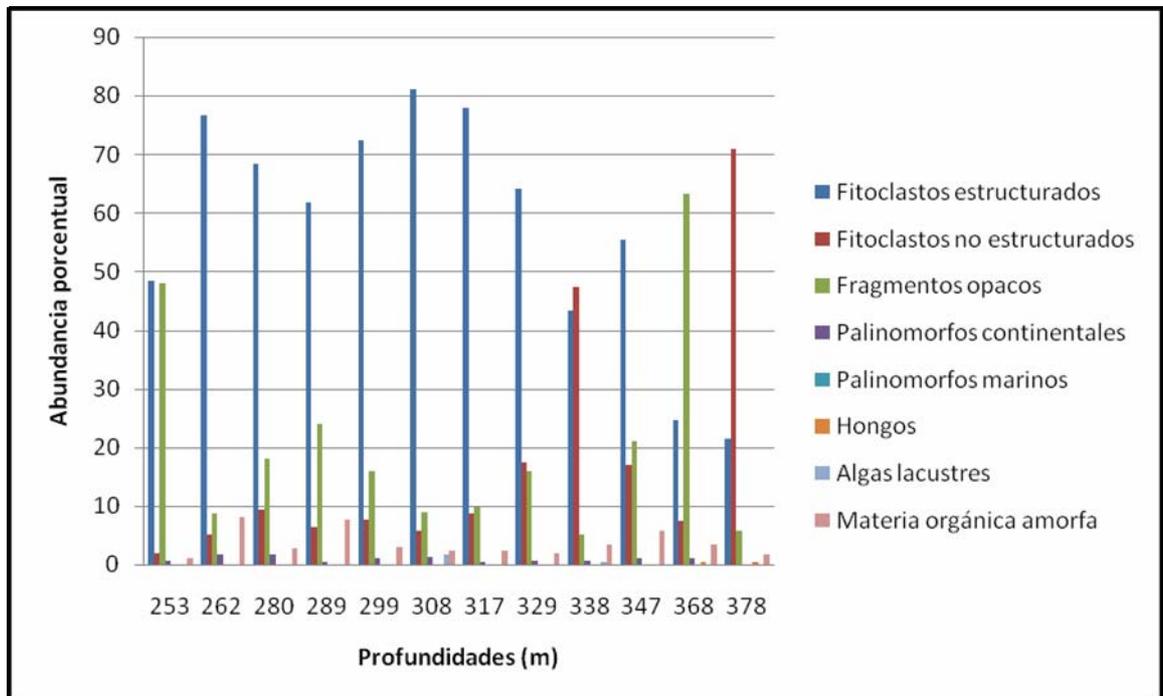


Figura 6: Abundancia porcentual elementos palinofaciales Pozo Cerro Gordo-3.

4.4.2 Diferenciación taxonómica de *Pediastrum* spp.

La necesidad de diferenciar taxonómicamente los especímenes de *Pediastrum* subyace en la importancia de avanzar en el entendimiento de su paleobiogeografía en los Trópicos a lo largo del tiempo geológico. Además, una adecuada diferenciación taxonómica permite realizar reconstrucciones precisas sobre el ambiente de depósito en base al principio de uniformitarianismo (Dodd y Stanton, 1990) el cuál asume que los requerimientos ecológicos de las especies fósiles son iguales o muy similares a los de sus contrapartes actuales.

En este estudio no se realizan descripciones taxonómicas detalladas de las especies de *Pediastrum* halladas en las muestras. Solo se mencionan algunas características morfológicas generales que caracterizan a las especies, tomadas

básicamente de la clave taxonómica de Komárek y Jankovská (2001) la cuál integra información reciente y fósil.

Se contaron un total de 1421 microalgas de agua dulce pertenecientes a los géneros *Pediastrum* spp. y *Scenedesmus* spp. Este valor corresponde al agregado de los sitios Cerro Gordo-3, Gonzales-1 y Diablito (Tablas 1, 2 y 3); para la sección Rio Loro-2 se emplearon los valores establecidos por los bioestratigrafos del ICP (Tabla 4), dada la imposibilidad en la obtención de las muestras.

El examen detallado de aquellos especímenes con un buen grado de preservación permitió la diferenciación de dos especies reconocidas taxonómicamente y de una tercera que podría ser una nueva variedad.

Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh var. *boryanum* (ANEXO 13, Figuras 1-6).

Los cenobios de esta especie fueron los más abundantes en las tres localidades analizadas, con presencia en todas las muestras en la que se depositó *Pediastrum*. Se caracterizan morfológicamente por ser compactos (sin espacios intercelulares), sus células presentan incisiones en forma de V alcanzando como máximo la mitad del cuerpo celular y una pared celular distintivamente granular.

Tabla 1. Conteo total microalgas de agua dulce, Diablito.

PROFUNDIDAD	509.8	504.2	502.1	501.7	500.2	499.3	498.5	497.9	495.6	492.1	490.8	489.4
<i>Pediastrum</i>	3	5	5	18	37	40	44	5	215	127	0	2
<i>Scenedesmus</i>	0	0	0	4	0	0	0	0	5	18	0	0

Tabla 2. Conteo total microalgas de agua dulce, Cerro Gordo-3.

PROFUNDIDAD (m) \ ESPECIES	253	262	280	289	299	308	317	329	338	347	369	378
<i>Pediastrum</i> spp.	14	7	3	40	23	200	23	10	13	5	0	3
<i>Scenedesmus</i> spp.	1	0	0	4	3	8	1	0	0	0	0	0

Tabla 3. Conteo total microalgas Gonzales-1.

PROFUNDIDAD (m) \ ESPECIES	646	655	664	673	682	691	701	710	719	728	737	746	755	765	774	783
<i>Pediastrum</i> spp.	12	29	26	83	90	53	30	70	25	7	10	9	12	12	7	4
<i>Scenedesmus</i> spp.	0	6	5	23	16	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4. Conteo total microalgas Rio Loro-2.

PROFUNDIDAD (m) \ ESPECIES	922	926	936	943	949.5	953	976.6	1022	1081
<i>Pediastrum</i> spp.	0	0	1	1	0	0	1	86	1

Pediastrum duplex Meyen var. *duplex* (ANEXO 13, Figuras 7-10).

Se caracteriza por la presencia de perforaciones entre sus células, procesos de las células marginales en el mismo plano y un patrón escultural que varía de ausente a muy fino. Si bien, esta especie estuvo presente en casi la totalidad de muestras analizadas de cada uno de los sitios, su abundancia fue considerablemente menor a la de las demás especies de *Pediastrum* reportadas,

aumentando y disminuyendo proporcionalmente en relación a la abundancia total de la asociación.

Pediastrum boryanum Meyen afín a la variedad *perforatum* (ANEXO 13, Figuras 11-16).

Una posible “nueva” especie de *Pediastrum* tratada en este estudio como *P. boryanum* afín a la var. *perforatum* fue hallada en los tres sitios analizados. En términos generales, se trata de un cenobio sin perforaciones, incisiones celulares en forma de V, una pared celular granular y la presencia de procesos delgados y muy largos, en comparación con todas las especies actualmente descritas. Es necesaria la comparación exhaustiva de varios espécimenes y la revisión detallada de su pared celular para describir taxonómicamente este morfotipo (Komárek y Jankovská, comunicación personal). Un proceso que implica gran cantidad de tiempo y se desliga de los objetivos principales de este estudio.

En relación a su presencia y abundancia en las tres localidades, se resalta su escasa aparición en los sedimentos de Cerro Gordo-3, alcanzando valores máximos aunque en limitadas proporciones a los 308 m, profundidad en la que se incrementa súbitamente la abundancia total de *Pediastrum* spp. En Gonzales-1 aunque no está presente en todas las muestras, su presencia es común y su abundancia muestra valores medios en relación a las dos especies de *Pediastrum* restantes. En Diablito, de un modo particular se destaca el predominio de esta alga cuando la asociación alcanza valores máximos (495.6 m).

En relación a *Scenedesmus* spp. (ANEXO 13, Figuras 17-20), su registro en la mayoría de muestras analizadas en cada localidad es limitado, sin embargo su abundancia se ve incrementada cuando *Pediastrum* spp. alcanza su máxima representatividad. Este patrón aunque es común para Cerro Gordo-3, Gonzales-1 y Diablito, está ausente en la sección Rio Loro-2.

4.4.3 Implicaciones paleoecológicas a partir de la palinoflora.

Se optó por este método para intentar entender de un modo general la dinámica paleovegetacional, debido a que durante este período la mayoría de palinomorfos carecen de afinidad natural establecida, por lo que la inferencia composicional a partir de análisis estadísticos (p.ej. análisis de agrupamiento) resultaría inadecuada al quedar muchas agrupaciones sin una concreta explicación.

En la Tabla 5, se muestran los palinomorfos de cada localidad para los cuáles existe cierto grado de afinidad botánica establecida.

La palinoflora seleccionada para cada localidad está compuesta principalmente por polen de angiospermas afín a las familias *Arecaceae* y *Araceae*, las cuales están representadas por los géneros *Proxapertites*, *Psilamonocolpites*, *Mauritiidites*, *Longapertites*, *Spinizonocolpites* y *Racemonocolpites*. Mientras las esporas de Pteridófitos del género *Psilatrilletes* y microalgas del género *Pediastrum* spp., son abundantes en las 4 localidades, otros palinomorfos exhiben cierto predominio en alguna localidad en particular. En este sentido, en la sección Rio Loro-2 se observó polen del género *Araucariacites* afín a coníferas arbóreas de la familia *Araucariaceae*, además se registra la ocurrencia de *Ulmoideipites krempii* afín a la familia *Ulmácea* y de las esporas *Foveotrilletes margaritae* y *Leiotrilletes guaduensis*. *Zlivisporis blanensis*, el único briófito observado, es exclusivo de Diablito al igual que *Echitriporites suescae*, un palinomorfo probablemente relacionado a la familia *Proteaceae*, mientras la presencia de la microalga *Scenedesmus* spp. es característica de Diablito, Gonzales-1 y Cerro Gordo-3, aumentando su abundancia cuando *Pediastrum* spp. exhibe el mismo patrón. En Diablito al incremento de *Scenedesmus* spp. y *Pediastrum* spp. se suma la abundancia de *Zlivisporis blanensis*.

4.5 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO.

Se emplearon datos de presencia-ausencia para realizar los análisis de agrupamiento debido a que los valores palinológicos cuantitativos de los sitios analizados en este estudio exceptuando Diablito, fueron obtenidos con objetivos bioestratigráficos y no paleoecológicos. Para el análisis de agrupamiento se empleó la información palinológica de las muestras interpretadas como Paleoceno analizadas en este estudio, junto a un intervalo de proporciones similares interpretada como Maastrichtiano.

Para este análisis se utilizaron muestras con conteos superiores a 100 palinomorfos. Los valores cuantitativos obtenidos de la sección Rio Loro-2 imposibilitaron la realización del análisis de agrupamiento para este sitio ya que seis de las nueve muestras disponibles correspondientes al Cenozoico presentan abundancias inferiores a 100 palinomorfos (922 m, 926 m, 943 m, 949.5 m, 953 m y 976.6 m).

Las muestras 497.9 m, 490.8 m, y 489.4 m pertenecientes al núcleo Diablito no se emplearon en el análisis debido a su escaso recobro. El análisis de agrupamiento para este sitio muestra dos asociaciones palinológicas claramente definidas. La formación de las agrupaciones 1 y 2 (Figura 7) refleja la separación de las muestras del Paleoceno y Cretácico respectivamente, de un modo similar a lo reportado por De la Parra et al., (2007) que asoció esto a los profundos cambios palinológicos desatados durante el límite K-T. Dentro de la asociación 1 las muestras más basales tienden a diferenciarse en un pequeño subgrupo conformado por las profundidades 504.2 m, 502.1 m y 499.3 m.

El análisis de agrupamiento para el sitio Cerro Gordo-3 exhibe un patrón idéntico al encontrado en Diablito. Se reconocen dos grupos principales con características palinológicas particulares. El grupo número 1 perteneciente a las muestras del

Paleoceno (378-253 m) y el grupo número 2 (Figura 8) conformado exclusivamente por las muestras del Cretácico (472-399 m). Dentro de la asociación 1, se reconocen dos subgrupos (1 y 1*) cuyo punto de quiebre definido por la profundidad 308 m, separa las muestras más superficiales de las basales. El punto de quiebre se caracteriza porque en él ocurre el acme de *Pediastrum* spp.

El sitio Gonzales-1 exhibe un patrón diferente. Se observan tres grupos principales (Figura 9). El grupo 1 caracterizado por el intervalo interpretado bioestratigráficamente como Paleoceno medio (719-646 m), con la presencia adyacente de la muestra 774 m. Un segundo grupo (1*), conformado por las muestras definidas como Paleoceno Temprano (783-728 m) asociado a un tercer grupo (2) conformado exclusivamente por el intervalo correspondiente al Maastrichtiano. Se debe resaltar desde un punto de vista palinológico que el grupo 1 está conformado por el intervalo en que *Pediastrum* spp. empieza a incrementar significativamente su abundancia a diferencia del grupo 1*, que aunque bioestratigráficamente está definido como Paleoceno Temprano, composicionalmente parece estar más relacionado con las muestras del Cretácico.

Tabla 5. Afinidad botánica de los principales palinomorfos con una representatividad > 1% en cada sitio estudiado.

Especies	Afinidad botánica	DIABLITO	CERRO GORDO-3	GONZALES 1	RIO LORO-2
<i>Zlivisporis blanensis</i> Pacltova, 1961	<i>Oxymitra paleacea</i> , Hepaticae, (Pacltova, 1961 citado en Schrank, 1994)	X			
<i>Scenedesmus</i> spp. Meyen, 1829	<i>Scenedesmus</i> spp.	X	X	X	
<i>Pediastrum</i> spp. Meyen, 1829	<i>Pediastrum</i> spp.	X	X	X	X
<i>Echitriporites suescae</i> (Van der Hammen 1954).	similar a <i>Proteacidites sigalii</i> , Boltenhagen 1978.	X			
<i>Araraucariacites australis</i> y <i>Araucariacites</i> spp.	Araucariaceae				X
<i>Proxapertites psilatus</i> (Sarmiento, 1992)	Araceae	X	X	X	X
<i>Proxapertites operculatus</i> (Van der Hammen, 1954) Van der Hammen, 1956	Araceae. <i>Monstera-Gonatopus</i> (Zetter, 2001, Hesse and Zetter, 2007)	X	X	X	X
<i>Longapertites proxapertitoides</i> var. <i>proxapertitoides</i> Van der Hammen y Garcia 1966	Arecaceae	X			
<i>Psilamonocolpites medius</i> (Van der Hammen, 1956) Van der Hammen y Garcia, 1966	Arecaceae	X	X	X	X
<i>Longapertites vaneendenburgi</i> Gemeraad et al., 1968	Arecaceae		X		
<i>Maurtiidites franciscoi franciscoi</i> (Van der Hammen 1956) Van Hoeken Klinkenberg 1964	Arecaceae (Lorente, 1986)		X	X	
<i>Spinizonocolpites baculatus</i> Muller, 1968.	Arecaceae, <i>Nypa</i> sp.		X		X

Especies	Afinidad botánica	DIABLITO	CERRO GORDO-3	GONZALES 1	RIO LORO-2
<i>Mauritiidites franciscoi pachyexinatus</i> (Van der Hammen and Garcia, 1966)	Areaceae (Lorente, 1986)			X	
<i>Racemonocolpites racematus</i> (Van der Hammen, 1954) Gonzalez, 1967	Arecoideae: Iriarteeae; Morley, 2000			X	
<i>Ulmoideipites krempii</i> (Anderson, 1960) Elsik 1968	Ulmaceae				X
<i>Psilatrilletes spp.</i>	Pteridophyta	X	X	X	X
<i>Foveotrilletes margaritae</i> (Van der Hammen, 1954) Germeraad et al., 1968	Pteridophyta				X

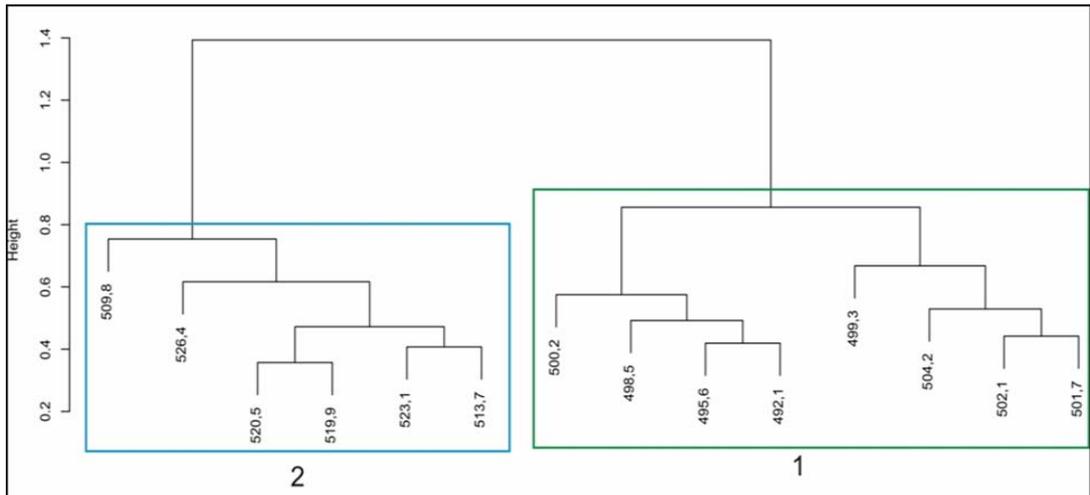


Figura 7. Análisis de agrupamiento Corazón Diablito. 1, muestras palinológicas datadas bioestratigráficamente como Paleoceno. 2, muestras palinológicas analizadas por De la Parra et al., (2007) referidas como Maastrichtiano.

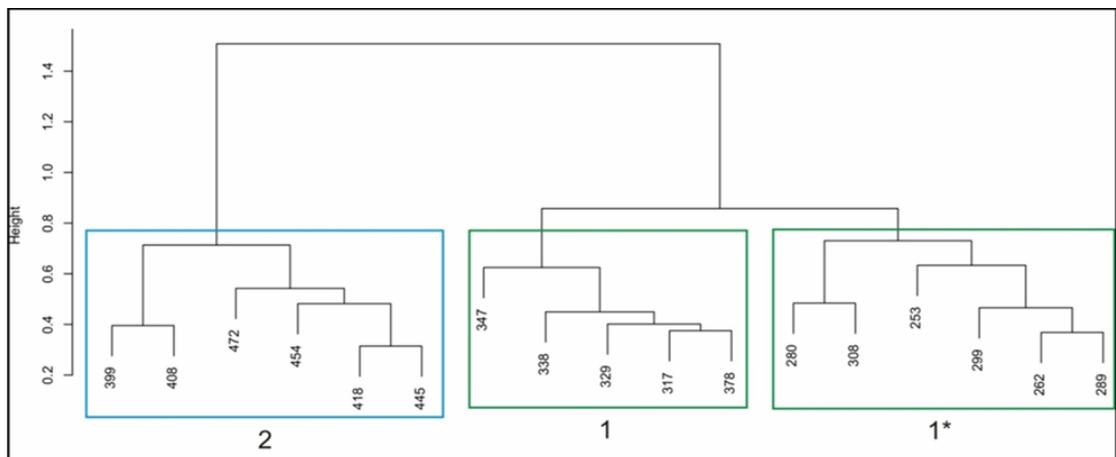


Figura 8. Análisis de agrupamiento Pozo Cerro Gordo-3. 1 y 1* muestras palinológicas datadas bioestratigráficamente como Paleoceno. 2, muestras palinológicas datadas como Maastrichtiano.

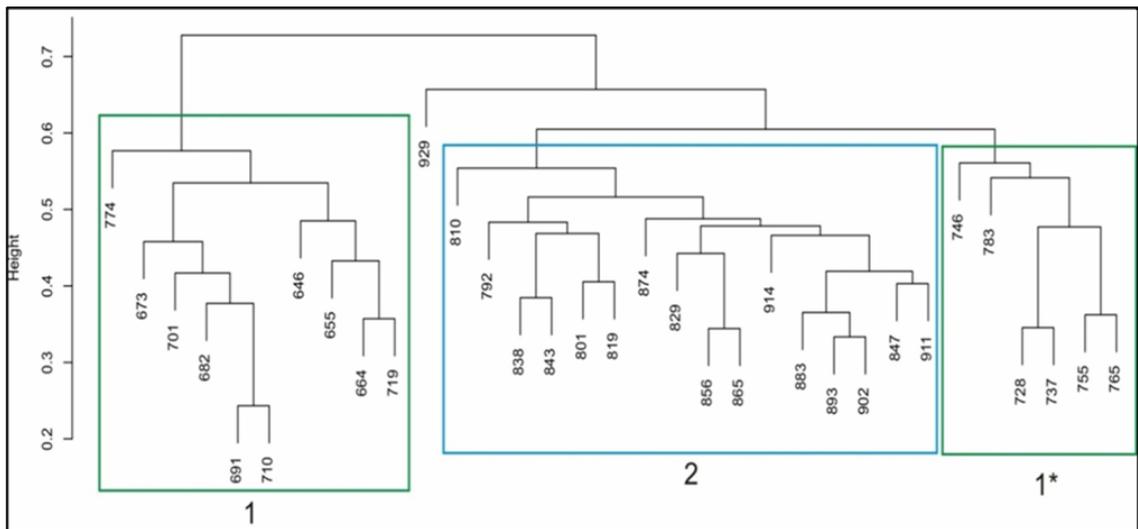


Figura 9. Análisis de agrupamiento Pozo Gonzales-1. 1 y 1* muestras palinológicas datadas bioestratigráficamente como Paleoceno. 2, muestras palinológicas datadas como Maastrichtiano. La agrupación número 1, con excepción de la muestra 774, corresponde a la zona T-02 de Jaramillo et al., (2010a). La agrupación 1* aunque corresponde a muestras exclusivas de la zona T-01 (Jaramillo, et al., 2010a), se observa asociada a la agrupación conformada por las muestras datadas como Maastrichtiano.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 BIOESTRATIGRAFÍA.

La distribución y abundancia de los palinotaxa (Anexos 1, 2, 3 y 4), muestra que la sucesión estudiada en cada una de las 4 localidades seleccionadas a partir de la evidencia de un acme de *Pediastrum* spp., puede ser dividida en dos biozonas. La porción inferior corresponde a la Biozona T-01 *Spinizonocolpites baculatus* y la parte superior depositada dentro de la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus* (Jaramillo et al., 2010a). Aunque la base de la zona T-01, la cual indica una edad de 65.5 Ma y define el límite K-T es comúnmente posicionada a partir de la última aparición de *Echimonocolpites protofranciscoi*, el último registro de este palinomorfo detectado en Diablito y reportado en las tres localidades restantes no corresponde exactamente con la posición de esta transición. Tres aproximaciones permitieron redefinir lo que posiblemente es su verdadera desaparición. Primero, la detección de altos niveles de Iridio llevada a cabo por De la Parra et al., (2007) en Diablito, cuya existencia definible a escala milimétrica es reconocida como la principal evidencia del impacto de un meteorito y ha sido vinculada a escala global con los altos niveles de extinción sufridos por la vegetación durante el K-T (Alvarez et al., 1980; Nichols y Johnson, 2008; Schulte et al., 2010), demostró que la posición de este límite ocurre a los 502.1 m; 3.6 m por debajo de lo indicado por *Echimonocolpites protofranciscoi*. Esto permitió observar un patrón en cada localidad relacionado con la abundancia de este taxa en los metros que preceden su última aparición. Así por ejemplo, en Diablito la presencia de este taxa en el intervalo 501.7-498.5 m estuvo representada por tan solo 1 individuo en cada profundidad de este intervalo, lo cual resulta ser significativamente bajo en relación a su comportamiento sobre el nivel de Iridio y las profundidades que lo preceden. Este comportamiento observado en las localidades restantes, si bien no

garantiza definir con precisión la verdadera desaparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* al descartar esas esporádicas apariciones, se hace importante cuando se integran eventos palinoestratigráficos adicionales. El hecho de que eventos de primeras y últimas apariciones de indicadores bioestratigráficos que ocurren en la base o dentro de la zona T-01 aparezcan varios metros por debajo de la aparente desaparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* (Figura 3), sumado al solapamiento con la extinción de *Spinizonocolpites baculatus* (evento que define el tope de la zona T-01) en la misma profundidad e incluso varios metros por encima, como se observa en Diablito, Cerro Gordo-3, Gonzales-1 y en menor medida en Rio Loro-2 (Figura 3), permiten suponer que la representatividad final de *Echimonocolpites protofranciscoi* caracterizada por unos pocos especímenes es producto de procesos de redepositación.

El tope de la zona T-01 y base de la zona T-02 definidos a partir de la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus* fue un evento claro y de fácil delimitación en cada una de las localidades analizadas.

En cuanto a la porción superior del intervalo analizado en cada localidad, su delimitación cronológica resultó ser menos conflictiva. Si bien Rio Loro-2, fue la única localidad en la que fue posible definir el tope de la zona T-02 a partir de la primera aparición de *Bombacacidites annae*, la desaparición de *Zlivisporis blanensis* en las localidades restantes permitió definir una edad no más joven que 60 Ma.

5.2 SIGNIFICANCIA TEMPORAL DE *PEDIASTRUM* SPP.

El evento palinológico reportado en este estudio caracterizado por un acme de *Pediastrum* spp. no parece estar directamente relacionado al evento del límite K-T. En cada localidad estudiada el incremento súbito de *Pediastrum* spp. ocurre

justo algunos metros después de la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus*, dentro de la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus* que corresponde a un período entre 61.9 y 60 Ma (Figura 10).

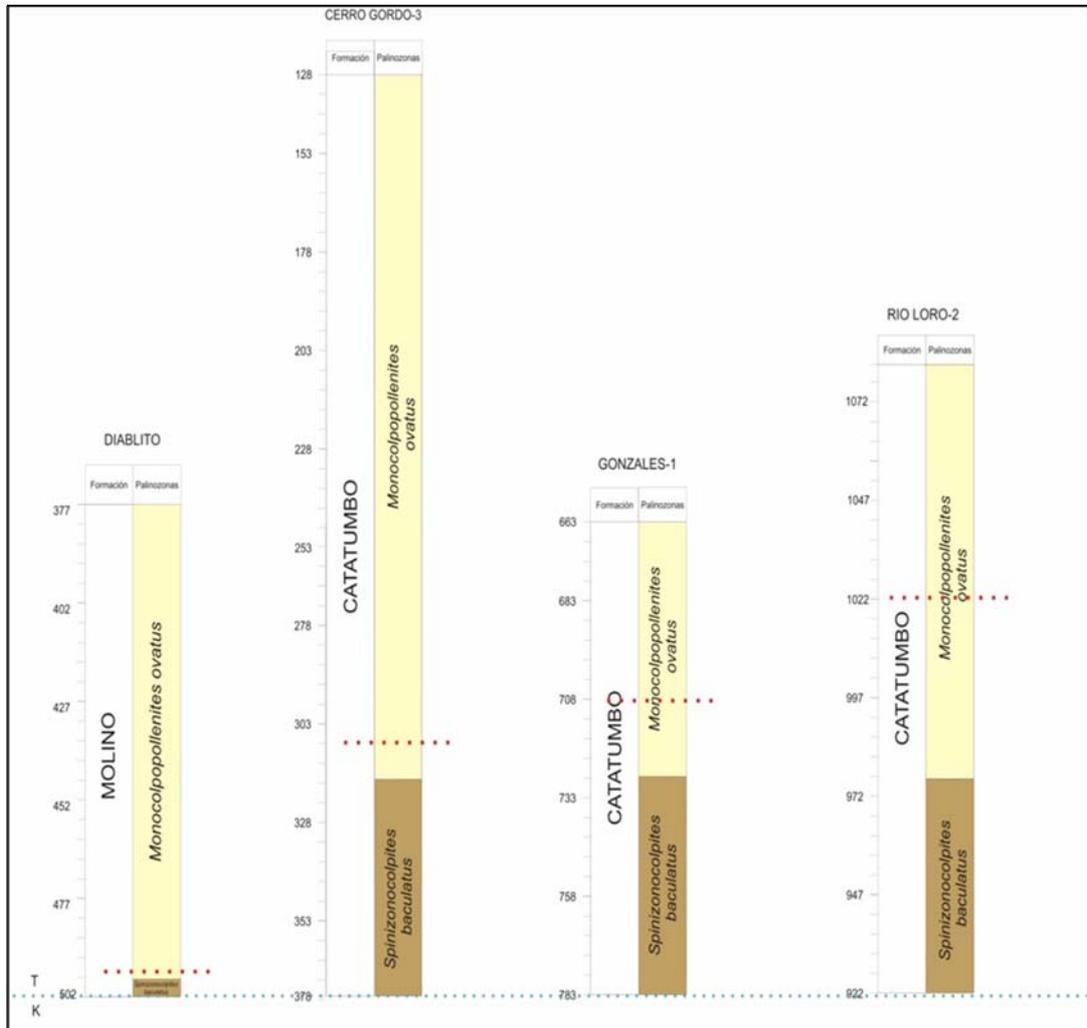


Figura 10: Posición temporal del acme de *Pediastrum* spp. y relación con el límite K-T en las 4 localidades de estudio. La línea punteada azul indica la posición del límite K-T. La línea punteada roja indica la posición del acme de *Pediastrum* spp.

Se observa una lentísima tasa de sedimentación en Diablito en relación con las localidades restantes. Si se asume un depósito de sedimentos constante y se emplea la última aparición de *Spinizonocolpites baculatus* que ocurre a los 61.9 Ma, como punto de referencia (Tabla 6), la tasa de sedimentación en Diablito durante el Paleoceno Temprano es de 1.1 metro de sedimento x 1 millón de años, aproximadamente 15 veces menor a la de los sitios restantes.

Tabla 6. Datos palinoestratigráficos empleados para calcular las tasas de acumulación aproximadas durante el Paleoceno Temprano.

EDAD (Ma)	EVENTO BIOESTRATIGRÁFICO	LOCALIDAD			
		DIABLITO	CERRO GORDO- 3	GONZALES- 1	RIO LORO- 2
65.5	LAD <i>E. protofranciscoi</i>	502.1 m	783 m	378 m	922 m
61.9	LAD <i>S. baculatus</i>	497.9 m	728 m	317 m	976.6 m

Como se observa en la Figura 10, la relación en cuanto a los niveles de depósito entre la zona T-02 que abarca un lapso de tiempo mucho menor y la zona T-01, parece ser considerablemente mayor, sin embargo, dado que la desaparición de *Zlivisporis blanensis* es un evento que puede ocurrir en cualquier momento dentro de la zona T-02, no es posible establecer una relación precisa.

Esta lentísima tasa de depósito en Diablito durante el Paleoceno Temprano hizo pensar inicialmente que podría existir una relación directa entre la demostrada extinción masiva del K-T y la abundancia de *Pediastrum* spp. El preciso control bioestratigráfico demuestra que este evento ocurre en un período que oscila entre 61.9 y 60 Ma.

Aunque *Pediastrum* spp. es un componente de la vegetación local y su presencia depende de la existencia continua de cuerpos de agua dulce, la alta abundancia de este género durante el Paleoceno medio en cada una de las 4 localidades analizadas supone la existencia de un evento regional que caracterizó al norte de Sur América. Estudios palinológicos detallados con un preciso control cronológico en estas y otras cuencas sedimentarias de la región en los que se demuestre la existencia de este evento, permitirán corroborar esta hipótesis y quizá, demostrar su utilidad como un evento bioestratigráfico. Si bien, la implementación de esta microalga en bioestratigrafía al nivel de especie presenta un escaso valor dado que su plasticidad morfológica está más relacionada a condiciones ambientales que a caracteres taxonómicos útiles (Wood y Miller, 1997), un evento como el reportado en este estudio, de fácil reconocimiento y sin la implicación de diferenciar las especies que componen el acme resultaría de gran utilidad.

5.3 SIGNIFICANCIA PALEOAMBIENTAL.

5.3.1 Palinofacies

Los elementos palinofaciales son vistos como componentes sedimentarios que reflejan las condiciones originales en el área fuente y los ambientes de depósito (Tyson, 1995; Courtnat et al., 2003; Carvalho et al., 2006; Ercegovak y Kostie, 2006). La presencia de componentes palinofaciales particulares permite inferir características oxigénicas, distancia del área fuente, variación del nivel del agua y energía del sistema cuando se trata de ambientes de influencia acuática.

El análisis palinofacial realizado en Diablito, Cerro Gordo-3 y Gonzales-1 demostró que la sucesión analizada en cada localidad se caracteriza por el predominio exclusivo de materia orgánica de origen netamente continental representada principalmente por fitoclastos estructurados en un buen estado de preservación. Si

bien, los palinomorfos son escasos en este análisis, el material adicional compuesto por restos de plantas terrestres sin estructura, cutículas, fragmentos leñosos estructurados y materia orgánica opaca, confirma la procedencia terrestre de la materia orgánica.

Asociaciones palinofaciales de este tipo, compuestas principalmente por elementos como cutículas y fitoclastos en buen estado de preservación como se observó en cada localidad, son comunes en sitios de depósito fluvio-lacustres cerca de la fuente de vegetación (Batten, 1996a). La escasa presencia de materia orgánica amorfa en todas las muestras analizadas, corrobora la influencia fluvial en cada localidad, ya que la abundancia de este material palinofacial es característico de áreas de baja energía, distantes de actividad fluvio deltáica y condiciones disóxicas-anóxicas de depósito (Tyson, 1993; Devernrsu, 1998). La presencia constante aunque en menores proporciones de fitoclastos no estructurados y fragmentos opacos supone la presencia de cuerpos de agua con constante oxigenación, lo cual es corroborado en Diablito a partir de la bioturbación observada a lo largo del intervalo analizado.

Una asociación palinofacial similar dominada por fitoclastos de gran tamaño (principalmente maderos pardos y algunas cutículas) y cantidades menores de palinomorfos, fitoclastos pobremente preservados y materia orgánica amorfa, fue asociada por (Mahmoud, 2003) a períodos de altas tasas de sedimentación de material vegetal terrestre. Usualmente bajas tasas de sedimentación determinan un largo período de permanencia de las partículas orgánicas en la zona oxigenada cerca de la interfase agua-sedimento y consecuentemente la materia orgánica es más fácilmente remineralizada. Por el contrario, altas tasas de sedimentación conducen a una mejor preservación de las partículas orgánicas (Baudin et al., 2010)

5.3.2 Taxonomía *Pediastrum* spp.

La diferenciación taxonómica de las especies de *Pediastrum* spp. es muy importante desde un punto de vista paleoambiental, ya que cada especie en particular refleja una respuesta diferencial a los factores climáticos, físicos y químicos que pueden influenciar el ambiente en que se desarrollan (Komárek y Jankovská, 2001; Zamaló y Tell, 2005).

De las 24 especies de *Pediastrum* actualmente descritas, cuatro, incluyendo a *Pediastrum boryanum* y *Pediastrum duplex* aquí reportadas presentan una distribución más o menos cosmopolita y son dominantes en reservorios eutróficos de zonas templadas (Komárek y Jankovská, 2001).

Pediastrum boryanum es la especie de mayor variabilidad morfológica y a pesar de ser reportada muy frecuentemente en preparaciones palinológicas, su valor en reconstrucciones ecológicas es limitado. Frecuentemente aparece asociado a otras especies de Chlorococcales (Komárek y Jankovská, 2001; Zamaló y Tell, 2005).

La presencia de *Pediastrum duplex duplex* es común en sistemas en los que ocurre un incremento en el nivel trófico y probablemente no presenta muchas restricciones ecológicas (Komárek y Jankovská, 2001). En Argentina, es común en cuerpos de agua mesotróficos a eutróficos (Zamaló y Tell, 2005).

Si bien varias especies de *Pediastrum* de características ecológicas similares comúnmente coexisten juntas permitiendo inferir los requerimientos particulares de especies nuevas o de las que se tiene escaso conocimiento, el hecho de que en las preparaciones palinológicas de este estudio aparezcan exclusivamente *P. boryanum* y *P. duplex duplex* junto a *Scenedesmus* spp., impide realizar una

aproximación detallada que aporte alguna característica particular sobre los requerimientos de la “nueva” variedad hallada.

De considerable valor en un sentido paleobiogeográfico histórico, resulta la aparición de formas perforadas representadas por *Pediastrum duplex duplex* en sedimentos del Paleoceno, algo similar a lo reportado por Volkheimer et al., (2006), que estudiando los paleoambientes de la Formación Tunal (Argentina) durante el Daniano, reportaron especímenes claramente perforados comparables a *Pediastrum duplex*. De acuerdo a Batten (1996), durante el Cretácico y Paleoceno solo existieron especies de *Pediastrum* con morfologías compactas, mientras las especies perforadas aparecieron desde el Eoceno. Esto junto a la “nueva” variedad hallada en estos sedimentos, es un claro reflejo del escaso conocimiento sobre la historia de este género en Sur América y corrobora aún más la necesidad de llevar a cabo estudios taxonómicos en la región que no se restrinjan simplemente al nivel de género.

5.3.3 Palinología

La información de los sitios Gonzales-1, Cerro Gordo-3 y Rio Loro-2 aunque resulta de gran utilidad desde un punto de vista bioestratigráfico, debe ser tratada con cierta prudencia y de un modo generalizado al intentar entender la evolución de la paleoflora ya que la procedencia de las muestras y el amplio intervalo de muestreo no permite divisar cambios a pequeña escala.

Los palinomorfos recuperados de las 4 localidades, analizados y depositados en la Formación Catatumbo-Molino durante el Paleoceno Temprano a Medio corresponden a una asociación netamente continental. Aunque en Gonzales-1, Cerro Gordo-3 y Diablito, la presencia esporádica de palinomorfos marinos en algunos intervalos es insignificante en relación con la palinoflora terrestre, su

presencia podría representar cercanía a la línea de costa como se explicará más adelante.

Exceptuando Rio Loro-2, uno de los palinomorfos comunes para cada localidad y con representatividad en todas las muestras analizadas es *Pediastrum* spp. Esta microalga es un componente común del fitoplancton de lagunas y sistemas lacustres eutróficos (Ciccioli et al., 2005) y su presencia y variación cuantitativa puede ser empleada para delimitar el comportamiento de los cuerpos de agua en que estas se depositaron. De acuerdo a esto, se reconocen tres fases por las que atravesaron los ambientes de depósito:

La porción inferior del intervalo analizado en cada localidad desde el límite K-T hasta unos metros por encima de la desaparición de *Spinizonocolpites baculatus*, en la que si bien *Pediastrum* spp, está presente, su representatividad es de moderada a baja y no domina la asociación palinológica. Este período puede interpretarse como la presencia de cuerpos de agua dulce eutróficos y poco profundos que variaron continuamente el nivel de sus aguas en relación al grado de descarga fluvial que caracterizó estos ambientes como lo evidencia el análisis palinofacial y quizás en relación a fluctuaciones del nivel de pluviosidad en la zona, aunque esto no puede ser inferido a partir del registro fósil.

Una segunda fase en la que se incrementa notablemente el cuerpo de agua y quizás el aporte de nutrientes permitiendo que se dispare la abundancia de *Pediastrum* spp., que pasa a dominar la asociación palinológica. Comúnmente *Pediastrum* spp. se convierte en el alga dominante en sistemas lacustres, cuando ocurre una reexpansión y aumento del nivel del agua en el lago (Tyson, 1995; Papa y Quattrocchio, 2002; Xu et al., 2004). Mendonca et al., (2010), analizando sedimentos lacustres de la cuenca de Taubate (Brasil) relacionaron el incremento de *Pediastrum* spp. a la reexpansión del lago, concomitante con la reducción del

nivel de salinidad, aumento en la energía del ambiente, un clima más húmedo y una mayor cantidad de nutrientes asociados.

Un segundo acme conformado por *Scenedesmus* spp., un tanto difuso en Cerro Gordo-3 sumado al incremento de *Zlavisporis blanensis* en Diablito, corrobora el aumento del nivel del agua durante este período. *Scenedesmus* spp. generalmente coocurre con *Pediastrum* spp. y al igual que esta microalga su presencia aumenta o disminuye en relación al nivel del agua en ambientes de agua dulce (Fleming, 1989; Pinto, et al., 2002).

Por otra parte en Diablito, el aumento exponencial de *Zlavisporis blanensis*, una hepática que crece comúnmente cerca a cuerpos de agua supone altas condiciones de humedad en este período.

Después de esto, se observa un patrón similar al de la primera fase en el que el predominio de microalgas lacustres disminuye abruptamente y es reemplazado nuevamente por una asociación de palinomorfos polínicos. Esto claramente representa una somerización de los sistemas lacustres debido quizás a cambios en las condiciones climáticas o un aumento masivo de aporte terrígeno.

En cuanto a Rio Loro-2, sitio para el que no se tuvo disponibilidad de muestras, la información previamente analizada demuestra la aparición del acme de *Pediastrum* spp. y su posterior disminución. Aunque esto indica que después del evento del K-T esta localidad no se caracterizó por la inmediata aparición de sistemas lacustres, si muestra que existió un evento regional entre los 61.9 y 60 Ma caracterizado por el incremento de los niveles de agua dulce sobre la superficie terrestre que permitió la formación de lagos eutróficos en los que las microalgas del género *Pediastrum* pudieron prosperar.

Con respecto a la vegetación terrestre, se observó que en las inmediaciones de estos sistemas lacustres predominaron especies de Pteridófitos y angiospermas de la familia Araceae y Arecaceae. La presencia en considerables cantidades de *Psilatrilletes* sp. (Pteridophyta), *Proxapertites operculatus* (Araceae), *Proxapertites psilatus* (Araceae), y *Psilamonocolpites medius* (Arecaceae) en todas las localidades, y de las especies *Longapertites proxapertitoides* var. *proxapertitoides*. (Arecaceae), *Longapertites vaneendenburgi* (Arecaceae), *Mauritiidites franciscoi* (Arecaceae), *Racemonocolpites racematus* (Arecaceae) y *Foveotrilletes margaritae* (Pteridophyta) en localidades particulares representa una vegetación desarrollada en zonas costeras de considerable humedad cerca a cuerpos de agua dulce sin la influencia del oleaje marino (Figura 1).

De acuerdo a Rull, (2001), en regiones neotropicales actuales es común la presencia de vegetación pantanosa-costera dominada por palmas y helechos. La palma del género *Mauritia* (*Mauritiidites franciscoi*) es muy abundante y domina la vegetación de zonas pantanosas de agua dulce ('morichales') en sistemas deltaicos actuales alejados de la influencia marina (Rull, 1998; Rull, 2001). La presencia de esta palma junto a *Psilamonocolpites medius*, el Pteridófito *Psilatrilletes* sp. y *Longapertites proxapertitoides* un palinomorfo similar a *Eugeissona*, una palma presente en bosques asiáticos siempre verdes de tierras bajas (Thanikaimoni et al., 1984, citado por Rull, 2001) indica la presencia de sistemas lacustres que se desarrollaron detrás del ecosistema marino-costero dominado por mangles.

En cuanto a la familia Araceae representada por *Proxapertites operculatus* y *Proxapertites psilatus*, Herrera et al., (2008), analizando la composición macroflorística y microflorística de esta familia en el norte de Colombia durante el Paleoceno medio (60-58 Ma), sugieren que durante este período en los trópicos sus representantes habitaron más de un ambiente inundable. De acuerdo a

Kvaček, (2003) (citado por Herrera et al., 2008) muchos integrantes de esta familia habitan estanques, lagos y áreas inundables.

La abundancia de Palmas y esporas de Pteridófitos es un reflejo de la prevalencia de condiciones paleoclimáticas cálidas y húmedas (Vajda, 1999; Martínez, et al., 2008; Scafati, et al., 2009).

La presencia de *Spinizonocolpites baculatus* aunque es común en todas las localidades, resultó ser significativa solo para los sitios Cerro Gordo-3 y Rio Loro-2. Si bien durante el intervalo analizado ocurre la extinción real de esta especie, su presencia en la porción basal indica la cercanía de los ambientes de depósito a la línea de costa. La asociación de este palinomorfo con la palma actual del género *Nypa*, sugiere que esta es una de las angiospermas más antiguas que se cree estuvo asociada específicamente a un ambiente salobre de línea costera (Germeraad, 1968; Jacobs, 2004). La presencia de esta especie junto a los registros esporádicos de elementos marinos mencionados al inicio, corrobora la cercanía de los ambientes de depósito a la línea de costa.

Echitriporites suescae (similar a Proteaceae) en Diablito, las gimnospermas *Araucariacites australis* junto a *Araucariacites* spp. (Araucariaceae) y el palinomorfo arbóreo *Ulmoideipites krempii* (Ulmaceae) en Rio Loro-2, sugieren la presencia de vegetación boscosa en los alrededores, en zonas distales al centro de depósito.

La interpretación de los paleoambientes sedimentarios de estas localidades realizado a partir de la integración del análisis palinológico y palinofacial sugiere la presencia de ambientes lacustres cercanos a la línea de costa pero sin influencia de material marino (ANEXO 14). Un dominio de fitoclastos estructurados procedentes de la constante descarga fluvial y de la vegetación terrestre adyacente compuesta principalmente por Pteridófitos y angiospermas de las

familias Araceae y Arecaceae, con algunos niveles de fragmentos opacos (asociados generalmente a procesos oxidativos) y ausencia de materia orgánica amorfa sugiriendo ambientes de moderada energía.

La presencia de *Pediastrum* spp. en Rio Loro-2 se restringe a su alta abundancia durante el Paleoceno Medio como se observó en las localidades restantes. Aunque la sucesión analizada es dominada por palinoflora terrestre, la ausencia de esta y otras microalgas planctónicas en las muestras restantes indica que después del K-T no existió influencia de agua dulce sobre los ambientes de depósito. Esto indicaría características particulares para esta localidad. Sin embargo el amplio rango de separación entre muestras y la imposibilidad de corroborar su ausencia debido a la no disponibilidad de las preparaciones palinológicas para este sitio sugieren cierta prudencia en cuanto a las conclusiones paleoecológicas para este sitio.

5.4 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de agrupamiento es una técnica de exploración y visualización que permite detectar muestras de similar composición de otras muestras, brindando una aproximación de posible equivalencia ecológica entre las muestras. (Bruch y Mosbrugger, 2002; De la Parra et al., 2007).

Las agrupaciones obtenidas de este análisis en Diablito, Cerro Gordo-3 y Gonzales-1, son un claro reflejo de los cambios severos sufridos por la vegetación durante el límite K-T y del acme de *Pediastrum* spp. durante el Paleoceno medio. El hecho de que en Diablito y Cerro Gordo-3 las muestras interpretadas bioestratigráficamente como Paleoceno formen agrupaciones particulares sin incluir muestras del Cretácico, aparte de reflejar la clara influencia del impacto del meteorito durante el K-T sobre la vegetación tropical, demuestra que el

posicionamiento de este límite a partir de la reinterpretación de la verdadera desaparición de *Echimonocolpites protofranciscoi* resulta adecuada. En Gonzales-1, la reinterpretación del límite K-T también parece ser adecuada dado que las muestras del Paleoceno no se mezclan con las del Cretácico. Sin embargo, el vínculo observado entre las muestras datadas como Paleoceno temprano (zona T-01) y el subgrupo conformado exclusivamente por las muestras del Maastrichtiano, indica cierto grado de similaridad entre ellas. Este posible vínculo no tiene fundamentación palinológica ni bioestratigráfica.

La separación de las muestras correspondientes a la zona T-02 en Cerro Gordo-3 y Gonzales-1, conformando agrupaciones particulares, son un claro reflejo del cambio composicional que caracteriza a esta zona desde un punto de vista bioestratigráfico y del aumento en la abundancia de *Pediastrum* spp. desde un punto de vista paleoecológico, lo cual ocurre en la base de esta zona.

En Diablito, esta separación no se observó debido quizás a la supresión de 3 muestras del Paleoceno incluyendo aquella en la que *Spinizonocolpites baculatus* desaparece.

6. CONCLUSIONES

Teniendo como referencia biocronológica la zonación palinológica de Jaramillo et al., (2010a), se reconocieron dos zonas en el intervalo analizado de cada localidad. La zona T-01 *Spinizonocolpites baculatus* y la zona T-02 *Monocolpopollenites ovatus*, sugiriendo un intervalo de edad desde el Paleoceno Temprano al Paleoceno Medio (65.5 a aproximadamente 60 Ma).

El análisis palinológico reveló un evento caracterizado por un acme de *Pediastrum* spp. compuesto en proporciones variables por *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum duplex* var. *duplex* y una aparente nueva especie similar a *Pediastrum boryanum* var. *perforatum*. Este evento ocurre durante el Paleoceno Medio en una edad aproximada de 61.9 y 60 Ma.

Pediastrum spp. no solo resultó ser importante desde un punto de vista paleoambiental, siendo el eje central para la inferencia de las características de los ambientes de depósito, sino que las implicaciones bioestratigráficas derivadas del acme al ocurrir en la misma zona palinológica en cada localidad, podría ser relevante para la región y constituirse en un nuevo evento de datación relativa si logran vincularse nuevos sitios en estas y otras cuencas sedimentarias de la región.

La constante aparición de *Pediastrum duplex* var. *duplex* en los sedimentos analizados sugiere que las perforaciones o espacios intercelulares entre los cenobios de *Pediastrum*, fue un carácter taxonómico adquirido desde el Paleoceno. Algo sugerido anteriormente para el sur de Sur América.

Aunque el acme de *Pediastrum* spp. detectado en las secciones estudiadas ocurrió de 4-5 millones de años después del límite K-T, no se puede descartar que los ambientes de depósito interpretados a partir del acme no están relacionados con las consecuencias del límite K-T. De acuerdo a Parra et al., 2007 el tiempo que le tomó a la microflora recuperar valores de diversidad parecidos a los del Cretácico fue de aproximadamente 10 millones de años después del límite. Es después del evento del PETM (Paleocene-Eocene Thermal Maximum) que la diversidad vuelve a ser alta (Jaramillo et al., 2010a). Es decir, el acme de *Pediastrum* ocurre en el intervalo de tiempo que puede ser considerado de recuperación.

La integración de la información palinológica teniendo como factor relevante la presencia de *Pediastrum* spp. y la información palinofacial, demuestra que en los sedimentos analizados prevalecieron condiciones límnicas de depósito en zonas cercanas a la línea de costa con una vegetación dominada por Pteridófitos y representantes de las familias Araceae y Arecaceae.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, L. W., ALVAREZ, W., ASARO, F., y Michel, H. V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*; 208:1095-1108
- BATTEN, D. J. y LISTER, J. K., 1988. Evidence of freshwater dinoflagellates and other algae in the English Wealden (Early Cretaceous). *Cretaceous research*; 9: 171-179.
- BATTEN, D. J., 1996a. Chapter 7C. Colonial Chlorococcales. *Palynology: principles and applications* (Edited by Jansonius, J. and McGregor, D.c.), Amer. Assoc. Stratigraph. Palynolo. Fdn. (Dallas); 1:191-203.
- BATTEN, D. J., 1996b. Chapter 26^a. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. *Palynology: principles and applications* (Edited by Jansonius, J. and McGregor, D.C.). Amer. Assoc. Stratigraph. Palynol. Fdn. (Dallas); 3: 1011-1060.
- BAUDIN, F., DISNAR, J. R., MARTINEZ, P. Y DENNIELOU, B., 2010. Distribution of the organic matter in the channel-levees systems of the Congo mud-rich deep-sea fan (West Africa). Implication for deep offshore petroleum source rocks and global carbon cycle. *Marine and Petroleum Geology*; Volume 27, Issue 5, Pages 995-1010
- BERCOVICI, A., PEARSON, D., NICHOLS, D., y WOOD, J., 2009. Biostratigraphy of selected K/T boundary sections in southwestern North Dakota, USA: toward a refinement of palynological identification criteria. *Cretaceous Research*; 30: 632–658.

- BOLTENHAGEN, E., 1978. *Proteacidites sigalii*, espèce nouvelle de pollen protéaceoïde du Sénonien du Gabon. *Revue de Micropaléontologie*; 21: 13–15.
- BROWN, S. y DOWNIE, C., 1983. Dinoflagellate cyst biostratigraphy of late Paleocene and early Eocene sediments from holes 552, 553A, and 555, leg 81, deep sea drilling project (Rockall plateau). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*; 565-579.
- BRUCH, A. A., y MOSBRUGGER, V., 2002. Palaeoclimate versus vegetation reconstruction - palynological investigations on the Oligocene sequence of the Sava Basin, Slovenia. *Review of Palaeobotany and Palynology*; 122: 117-14.
- CARVALHO, M. A., MENDONA, J. G., y MENEZES, T. R., 2006. Paleoenvironmental reconstruction based on palynofacies analysis of the Aptian–Albian succession of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. *Marine Micropaleontology*; 59: 56–81
- CICCIOLO, P.L., BALLENT, S., TEDESCO, A. M., BARREDA, V., y Limarino, C. O., 2005. Hallazgo de depósitos cretácicos en la Precordillera de La Rioja (Formación Ciénaga del Río Huaco). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 60: 122.
- COMBAZ, A., 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*; 7:205–218. Davis, J.S., 1962. Resting Cells of *Pediastrum*. *American Journal of Botany*; 49: 478-481.
- COURTINAT, B., PIRIOU, S. y RIO, M., 2003. Phytoclasts in palynofacies definition: the example of Rhaetian sedimentary organic matter in SE France. *Revue de micropaleontology*; 46, 11–21

- CRAWLEY, M. J., 2007. The R book. Editorial John Wiley & Sonns, Ltd, Chichester. England.
- CURTAS, C., JARAMILLO, C., ARGONA, A., Pardo, Da SILVA, S., DE LA PARRA, F., ROMERO, M., MEJIA, P. y PAEZ, N., 2009. Análisis de la información palinoestratigráfica del Banco de Información Petrolera – BIP y de otras fuentes: Una estrategia para revisar el pasado y planear el futuro exploratorio del país. X Simposio Bolivariano Exploratorio Petrolera e Cuencas Subandinas held in Cartagena, Colombia.
- DAVIS, J. S., 1962. Resting Cells of Pediculus. American Journal of Botany; 49:478 – 481,
- DE LA PARRA, F., JARAMILLO, C. A., y DILCHER D. L., 2007. Paleocological changes of spore producing plants through the Cretaceous-Paleocene boundary in Colombia. Palynology; 32:258–259
- DEVERNRSCU, E., 1998. The chlorococcalean alga botryococcus and its significance in hydrocarbon exploration. Geological Institute of Romania.
- DODD, J. R. y STANTON, Jr., R. J., 1990. Paleocology: Concepts and applications: John Wiley and Sons, New York; 497 p.
- Ecopetrol, 1989. Registro gráfico compuesto Pozo Cerro Gordo 3. Piedecuesta, Santander.
- Ecopetrol, 2005. Registro gráfico compuesto Pozo Gonzales 1. Piedecuesta, Santander.

- ELLWOOD, B.B., MacDonald W.D., Wheeler C., y Benoist S.L., 2003. The K/T boundary in Oman: Identified using magnetic susceptibility field measurements with geochemical confirmation. *Earth and Planetary Science Letters*; 206, 529-540.
- ERCEGOVAC, M. y KOSTIC, A., 2006. Organic facies and palynofacies: Nomenclature, classification and applicability for petroleum source rock evaluation. *International Journal of Coal Geology*; 68: 70–78.
- EVITT, W. R., 1963. Occurrence of freshwater alga *Pediastrum* in Cretaceous marine sediments. *American journal of science*; 261: 890-893.
- FLEMING, R. F., 1989. Fossil *Scenedesmus* (Clorococcales) from the Raton Formation, Colorado and New Mexico, U.S.A., *Review of Palaeobotany and Palynology*; 59: 1-6.
- GERMERAAD, J. H., HOPPING, C. A. y MULLER J., 1968. Palynology of Tertiary sediments from Tropical Areas. *Review of Paleobotany and Palynology*; 6: 189-348.
- HALL, S. A., 1998. Atmospheric transport of freshwater algae *Pediastrum* in the American Southwest, *Grana*; 37: 374-375.
- HARDLE, W., y Simar, L., 2007. Springer. Second Edition. Berlin, Germany.
- HERRERA, F. A., JARAMILLO, C. A., DILCHER, D. L., WING, S. L. y GÓMEZ-N., C., 2008. Fossil Araceae From A Paleocene Neotropical Rainforest In Colombia. *American Journal of Botany*; 95(12): 1569–1583.

- JACOBS, B. F., 2004. Palaeobotanical studies from tropical Africa: relevance to the evolution of forest, woodland and savannah biomes. *The Royal Society*; 359, 1573-1583.
- JANKOVSKÁ, V. y KOMÁREK, J., 2000. Indicative value of *Pediastrum* and other coccal green algae in palaeoecology. *Folia Geobot*; 35: 59-82.
- JARAMILLO, C., BRENAC, P., y RODRIGUEZ, G., 2004. Palinología Cerro gordo 3, Intervalo Barco-Colón. Instituto Colombiano del Petróleo- ICP. Unidad de investigación- Área de Bioestratigrafía.
- JARAMILLO, C. A., y OBOH, F. E., 1999. Sequence stratigraphic interpretations from palynofacies, dinocyst and lithological data of Upper Eocene–Lower Oligocene strata in southern Mississippi and Alabama, U. S. Gulf Coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*; 145: 259–302.
- JARAMILLO, C., RUEDA, M., 2004. Impact of biostratigraphy on oil exploration. III Convención Técnica Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, Bogotá, Colombia. 4 pp.
- JARAMILLO, C. A., MUÑOZ, F., Cogollo, M., and Parra, F., 2005, Quantitative Biostratigraphy for the Paleocene of the Llanos Foothills, Colombia: Improving Palynological Resolution for Oil Exploration. In press.
- JARAMILLO, C., RUEDA, M. J., y MORA, G., 2006. Cenozoic plant diversity in the neotropics. *Science*; 311.

- JARAMILLO, C., RUEDA, M., y TORRES, V., 2010a. A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos foothills of Colombia. In press. Kaiho, K. and Lamolda, M.A., 1999. Catastrophic extinction of planktonic foraminifera at the Cretaceous-Tertiary boundary evidenced by stable isotopes and foraminiferal abundance at Caravaca, Spain. *Geology*; 27: 355-358.
- JARAMILLO, C., RUEDA, M., y DE LA PARRA, F., 2010b. A Morphological Electronic Database of Cretaceous-Tertiary and Extant pollen and spores from Northern South America. Fossil Pollen and Spores from Northern South America. Colombian Petroleum Institute & Smithsonian Tropical Research Institute.
- JARAMILLO, C., RUEDA, M., BAYONA, G., SANTOS, C., Florez, P., y De la Parra, F. 2009. Biostratigraphy breaking paradigms: dating the Mirador Formation in the Llanos Basin of Colombia. En: T. Demchuck (Editor), *Biostratigraphic Applications SEPM*, Tulsa.
- KVAČEK, Z., 2003. Aquatic angiosperms of the Early Miocene Most Formation of North Bohemia (Central Europe). *Cour Forschungsinst Senckenberg*; 241 :255– 279.
- KOMÁREK, J., y JANKOVSKÁ, V., 2001. Review of the green algal genus *Pediastrum*; implication for pollen-analytical research. *Bibl. Phycol*; 108. J. Cramer, Berlin, p. 127.
- LIMARINO, C., NET L., GUTIERREZ, P., BARREDA V., Caselli, A. y Ballent, S., 2000. Definición litoestratigráfica de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Cretácico Superior), Precordillera central, San Juan, Argentina. *Revista de la asociación geológica Argentina*; 55: 83-99.

- LORENTE, M., 1986. Palynology and Palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. J. Cramer. (Eds.), 222 p.
- Mahmoud, M., 2003. Palynology and palaeoenvironment of the Quseir Formation (Campanian) from central Egypt. *Journal of African Earth Sciences*; 36: 135-148.
- MARTÍNEZ M. A., PRÁMPARO M. B., QUATTROCCHIO M. E. y ZAVALA C. A., 2008. Depositional environments and hydrocarbon potential of the Middle Jurassic Los Molles Formation, Neuquén Basin, Argentina: palynofacies and organic geochemical data. *Revista Geológica de Chile*; 35 (2): 279-305.
- MENDONÇA FILHO, J. G., CHAGAS, R. B., MENEZES, T. R., MENDONÇA, J. O., DA SILVA, F. S., Sabadini-SANTOS E., 2010. Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté basin, Southern Brazil. *International Journal of Coal Geology*; 84: 166-178.
- MARUOKA, T. KOEBERL, C., 2003. Acid-neutralizing scenario after the Cretaceous-Tertiary impact event. *Geological Society of America*; 31: 489–492.
- MEDEANIC, S., 2006. Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*; 141: 83–101.
- MORLEY, R. J., 2000. *Origin and evolution of tropical rain forests*: New York, John Wiley & Sons, 632 p.
- MULLER, J., Giacomo, D., y VAN Erve, A., 1987. A palynological zonation for the Cretaceous, Tertiary, and Quaternary of Northern South America. *Amer. Assoc. of Stratig. Palynologists found. Contribution Series*; 19: 7-7.

- NICHOLS, D. J., y JOHNSON, K. R., 2008. Plants and the KT Boundary. Cambridge University Press.
- OBOH, F. E., y YEPES, O., 1997. ODP Leg 159 Scientific Party 1, Palynofacies analysis of sediments from the C6te d'Ivoire-Ghana transform margin: Preliminary correlation with some regional events in the Equatorial Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*; 129: 291-314.
- OBOH, F. E., Obi, C. G., y JARAMILLO, C. A., 2005. Lithofacies, palynofacies, and sequence stratigraphy of Palaeogene strata in Southeastern Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*; 41: 79–101.
- OKSANEN, J., KINDT, R., LEGENDRE, P., O'HARA, R., 2006. Vegan: Community Ecology Package version 1.8-3. <http://cran.r-project.org/>.
- Papa, C., y Quattrocchio, G., 2002. Sedimentary facies and palynofacies assemblages in an Eocene perennial lake, Lumbra formation, northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*; 15: 553-569.
- PARDO, A., 2004. Paleocene-Eocene palynology and palynofacies from northeastern Colombia and western Venezuela. Tesis doctoral, Universite de Liege.
- PINTO, C. F., DE SOUZA, I., BARTH, O. M., y GUIZAN, C., 2002. Differential Sedimentation of Algae Chlorococcales (*Scenedesmus*, *Coelastrum* and *Pediastrum*) in Lagoa de Cima, Campos dos Goitacazes Municipality (Rio de Janeiro, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, 29(2): 65-75.

- POLLACK, J. B., TOON, O. B., ACKERMAN, T. P., MCKAY, C. P., y TURCO, R. P., 1983. Environmental effects of an impact-generated dust cloud; implications for the Cretaceous–Tertiary extinctions. *Science*; 219: 287–290.
- POWELL, A. J., DODGE, J. D. y LEWIS, J., 1990. Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*; 112: 297–321.
- PULIDO, M. A., BRENAC, P., RUEDA, M. J., CARDENAS A. L., RODRIGUEZ, G., DE LA PARRA, F. y JARAMILLO C. A., 2005. Reporte final bioestratigrafía Gonzales 1. Instituto Colombiano del Petróleo – ICP. Unidad de investigación, Área de Bioestratigrafía.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- RANDS, D. G., y Davis, J. S., 1979. Survival of air dried *Pediastrum* in low pressure and high temperature. *Pollen et Spores*; 21: 499–504.
- RUEDA M., 2003. Distribución palinoestratigráfica sección Rio Loro-2. Instituto colombiano del Petroleo- ICP. Área de bioestratigrafía.
- RULL, V., 1997. Oligo-Miocene palynology of the rio Chama sequence (Western Venezuela), with comments on fossil algae as paleoenvironmental indicators. *Palynology*; 21: 213-229.
- RULL, V., 1998. Middle Eocene Mangroves and Vegetation Changes in the Maracaibo Basin, Venezuela. *Palaios*, 1998, 13: 287–296.

- RULL, V., 2001. A quantitative palynological record from the Early Miocene of western Venezuela, with emphasis on Mangrove. *Palynology*; 25: 109-126.
- SARMIENTO, G., 1992. Palinología de la Formación Guaduas-Estratigráfica y Sistemática. *Boletín Geológico*, 32.
- SCAFATI, L., MELENDI, D. L y VOLKHEIMER, W., 2009. A Danian subtropical lacustrine palynobiota from South America (Bororó Formation, San Jorge Basin, Patagonia - Argentina). *Geologica Acta*; 7: 35-61.
- SCHRANK, E., 1994. Palynology of the Yesomma Formation in northern Somalia: a study of pollen, spores and associated phytoplankton from the Late Cretaceous Palmae Province. *Palaeontographica, Abteilung*; 231: 63-112.
- SCHULTE, P., ALEGRET, L., ARENILLAS, I., Arz, J. A., BARTON, P. J., BOWN, P. R., BRALOWER, T. J., CHRISTESON, G. L., CLAEYS, P., Cockell, C. S., Collins, G. S., Deutsch, A., Goldin, T. J., Goto, K., Grajales-Nishimura, J. M., Grieve, A. F., Gulick, P. S., Johnson, K. R., Kiessling, W., Koeberl, C., Kring, D. A., MacLeod, K. G., Matsui, T., Melosh, J., Montanari, A., Morgan, J. V., Neal, C. R., Nichols, D. J., Norris, R. D., Pierazzo, E., Ravizza, G., Rebolledo-Vieyra, M., Uwe, W., Robin, E., Salge, T., Speijer, R. P., Sweet, A. R., Urrutia-Fucugauchi, J., Vajda, V., Whalen, M. T., Willumsen, P. S., 2010. The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*; 327 (5970): 1214–1218.
- SHEEHAN, P. M. y FASTOVSKY, D. E., 1992. Major extinctions of land-dwelling vertebrates at the Cretaceous-Tertiary boundary, eastern Montana. *Geology*; 20: 556-560.

- THANIKAIMONI, G., Caratini, C., Venkatachala, B. S., Ramanujam, C. G., y Kar, R. K., 1984. Selected Tertiary angiosperm pollens from India and their relationship with African Tertiary pollens: Institut francais de Pondichéry, Travaux de la Section Scientifique et Technique, v. XIX, p. 1–92.
- THIERSTEIN, H. R., 1982. Terminal Cretaceous plankton extinctions: A critical assessment. Geol. Soc. Am. Special Paper; 190: 385-399.
- TSCHUDY, R. H., Pillmore, C. L., Orth, C. J., Gilmore, J. S., Knight, J. D., 1984. Disruption of the terrestrial plant ecosystem at the Cretaceous–Tertiary boundary, Western Interior. Science; 225: 1030-1032.
- TYSON, R. V., 1993. Palynofacies analysis. En: D.J. Jenkins (ed.) Applied Micropalaeontology, Kluwer Academic Publishers; 153-191.
- TYSON, R. V., 1995. Sedimentary organic matter. Organic facies and palynofacies. 1 ed., London, Chapman and Hall; 1-615.
- VAJDA, S. V., 1999. Miospores from Upper Cretaceous-Paleocene Strata in Northwestern Bolivia. Palynology; 23: 181-196.
- VAJDA, V., y McLoughlin, S., 2004. Fungal proliferation at the Cretaceous Tertiary boundary. Science; 303.
- VAN DER HAMMEN, T., 1954. El desarrollo de la flora Colombiana en los periodos Geológicos. Maestrichtiano hasta Terciario mas inferior. (Una investigación Palinológica de la Formación Guaduas y equivalentes). Boletin Geológico II; 1: 49-106.

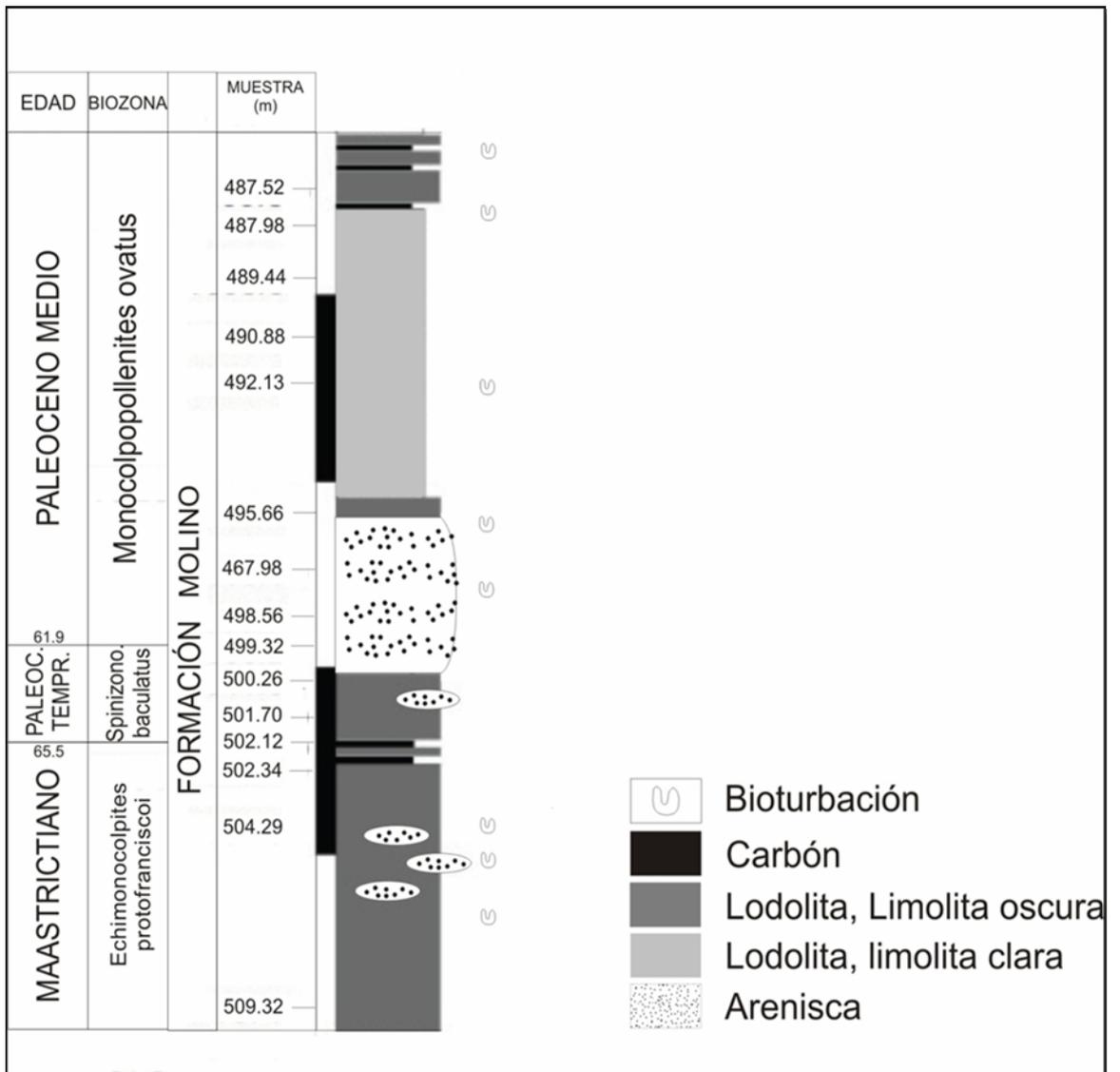
- VAN DER HAMMEN, T., 1956a. A Palynological Systematics Nomenclature. Boletín Geológico IV; 2-3: 63-101.
- VAN DER HAMMEN, T., 1956b. Descripción de algunos géneros especiales de polen y esporas fósiles. Boletín Geológico IV; 2-3: 103-109.
- VILLAMIL, T., 1999. Campanian–Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*; 153: 239–275.
- VOLKHEIMER, W., NOVARA, M. G., NARVÁEZ, P. L, y MARQUILLAS, R.A., 2006. Palynology and paleoenvironmental significance of the Tunal Formation (Danian) at its type locality, El Chorro creek (Salta, Argentina). *Ameghiniana*; 43:3.
- WOLBACH, W. S., GILMOUR, I., y Anders, E., 1990. Major wild fires at the Cretaceous/Tertiary boundary. In: Sharpton, V.L., Ward, P.D. (Eds.), *Global Catastrophes in Earth History*, Geological Society of America Special Publication; 247: 391–400.
- WOOD, G.D., y MILLER, M.A., 1997. Stratigraphic, Paleoecologic and petroleum generating significance of Chlorophyta (chlorococcalean algae) in the Cretaceous of Western Africa and South America. *Africa Geoscience Review*; 4: 499-510.
- Xu, Z. L., Li, C. Y., y Kong, Z. C., 2004. On the Fossil Pediastrum from the Gaoximage Section, Hunshandak Sandy Land and Its Ecological Significance Since 5 000 a BP. *Acta botánica sinica*; 46: 1141-1148.

- YUREWICHZ, D. A., ADVOCATE, D. M., Lo, N. B. y HERNANDEZ, E. A. 1986. Source rocks and oil families, southwest Maracaibo basin (Catatumbo sub basin), Colombia. AAPG Bulletin; 82: 1329-1352.
- ZAMALOA, M. y TELL, G., 2005. The fossil record of freshwater micro-algae *Pediastrum* Meyen (Chlorophyceae) in southern South America. Journal of Paleolimnology; 34: 433–444.
- ZETTER, R., HESSE, M., FROSCH-Radivo, A., 2001. Early Eocene zona-aperturate pollen grains of the Proxapertites type with affinity to Araceae. Review of Palynology, 117: 267-279.
- ZIPPI, P.A., WELBOURN, P., Y NORRIS, G., 1992. *Peridinium* and *Pediastrum*: paleoindicators of recent lake acidification. Palynology; 16:2.

ANEXOS

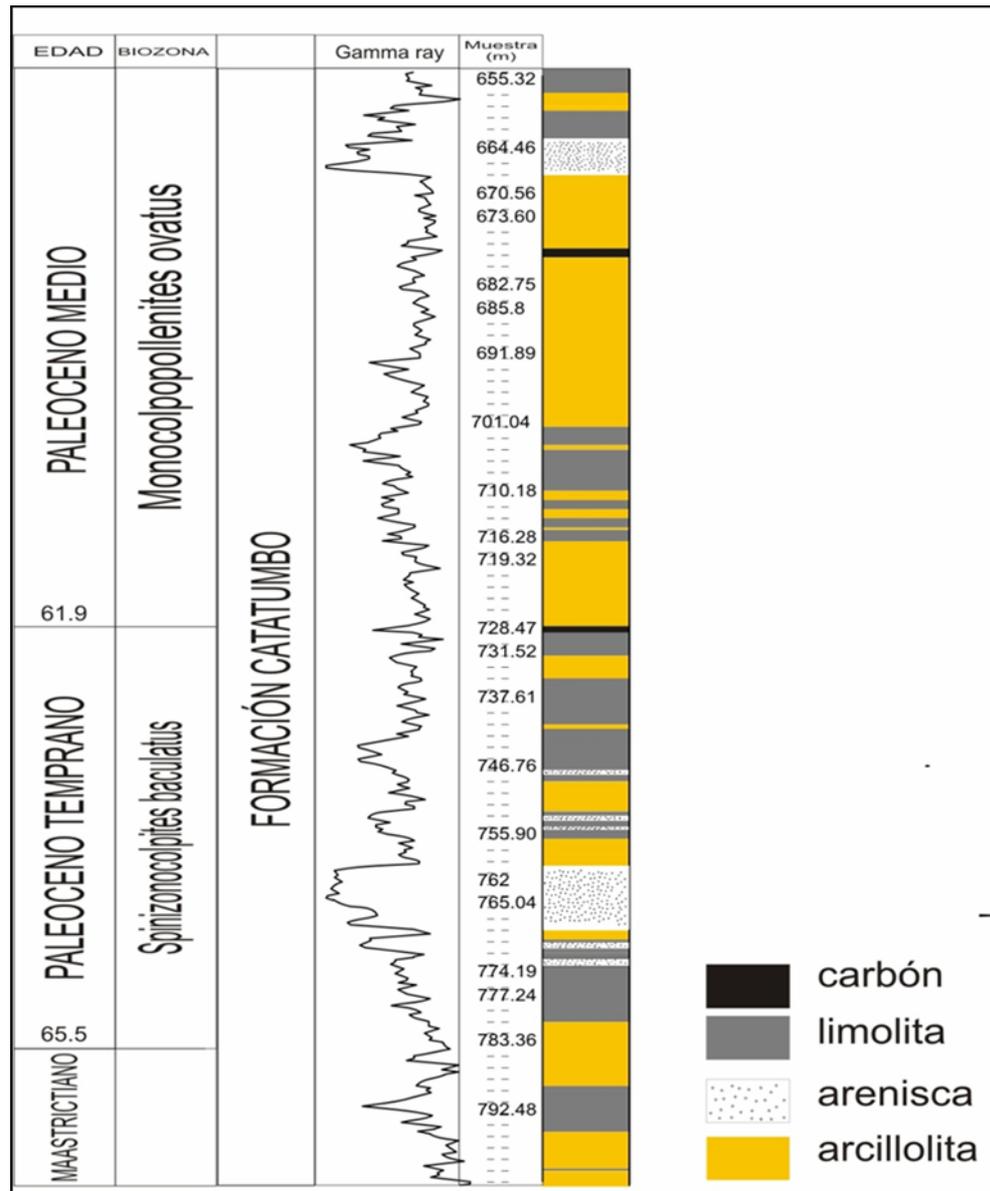
Anexo 1: Descripción litológica intervalo analizado, Corazón Diablito.

(Tomado de De la Parra et al., 2007). Las Biozonas corresponden a las definidas por Jaramillo et al., (2010a).

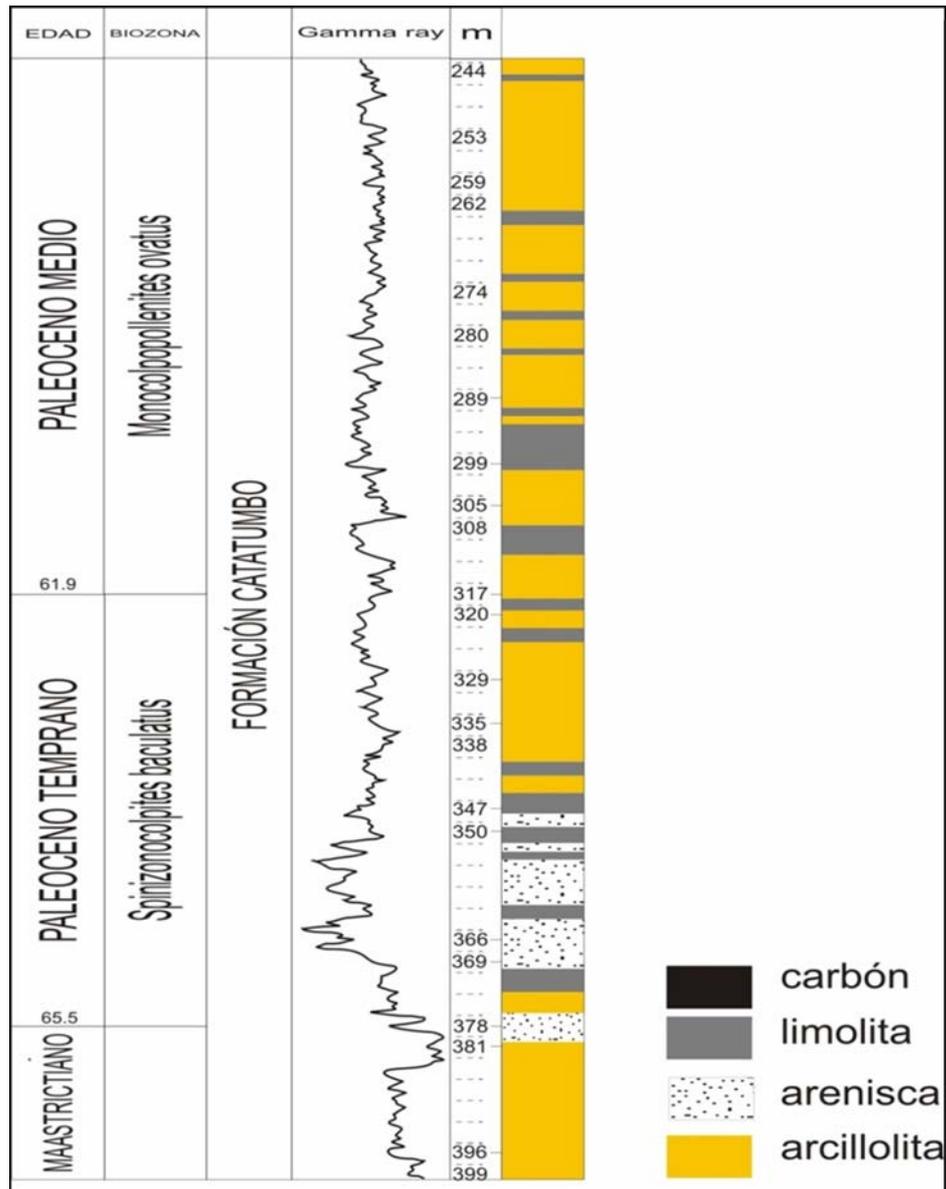


Anexo 2: Descripción Litológica Intervalo Analizado, Pozo Gonzales-1.

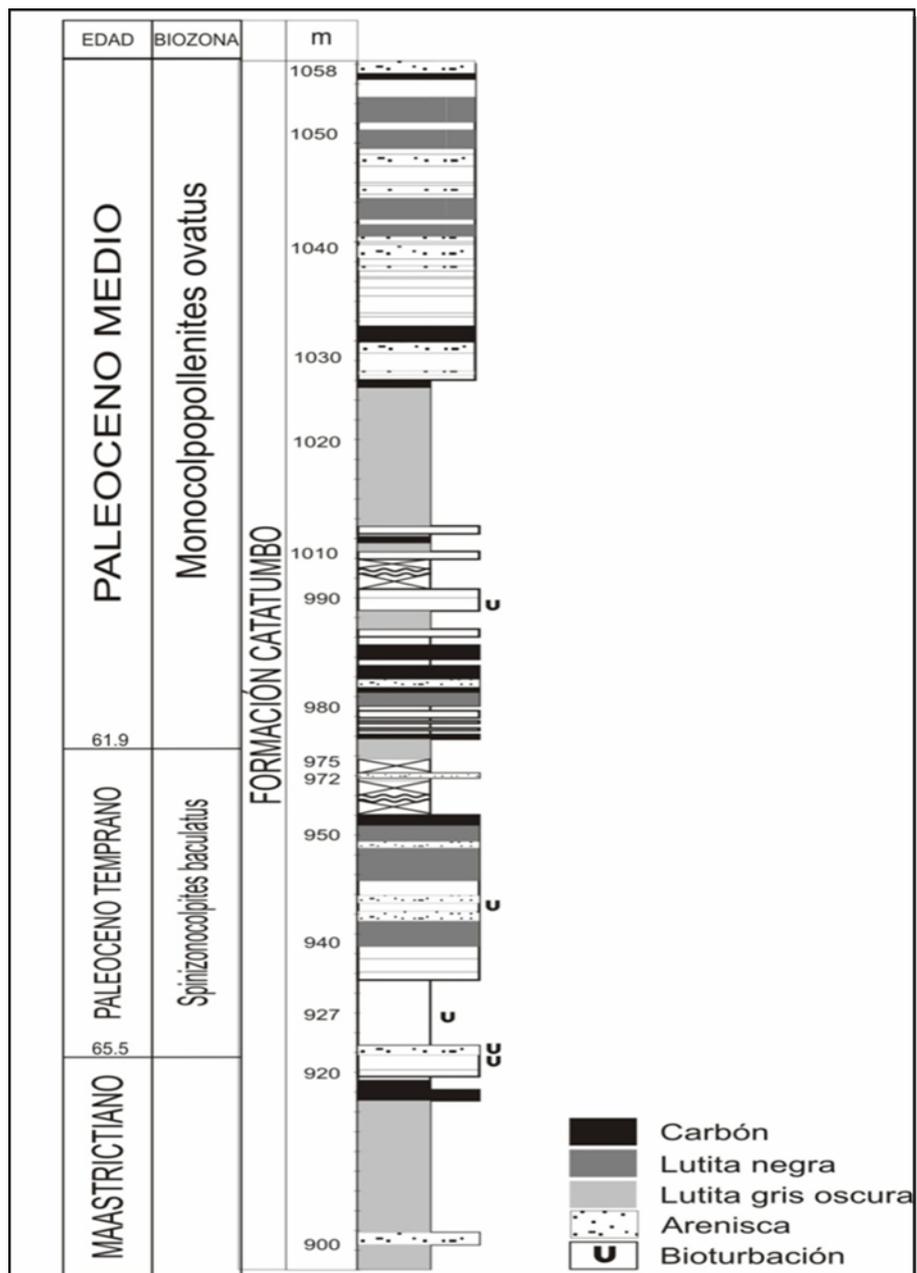
(Tomado de ECOPETROL, 2005). Las Biozonas corresponden a las definidas por Jaramillo et al., (2010a).



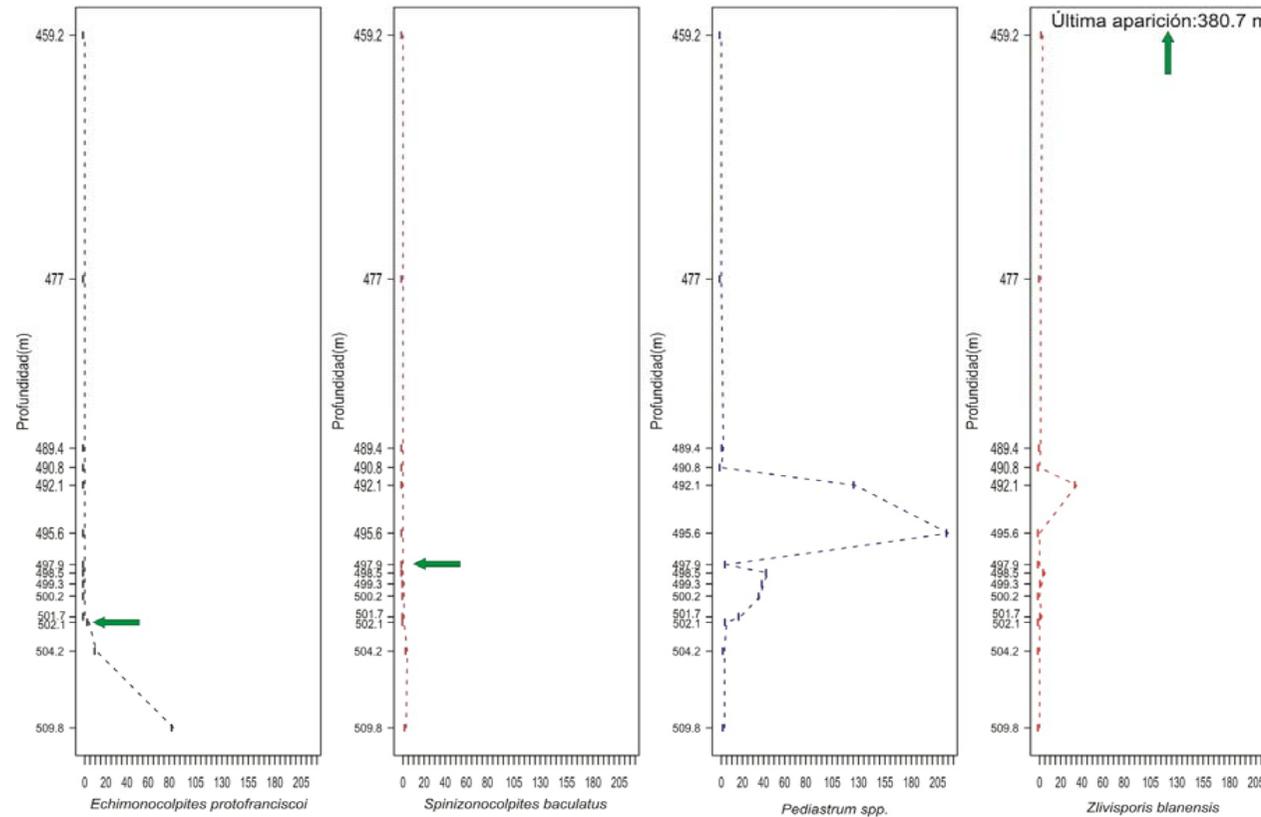
Anexo 3: Descripción litológica intervalo analizado, Pozo Cerro Gordo-3.
 (Tomado de ECOPETROL, 1989). Las Biozonas corresponden a las definidas por Jaramillo et al., (2010a).



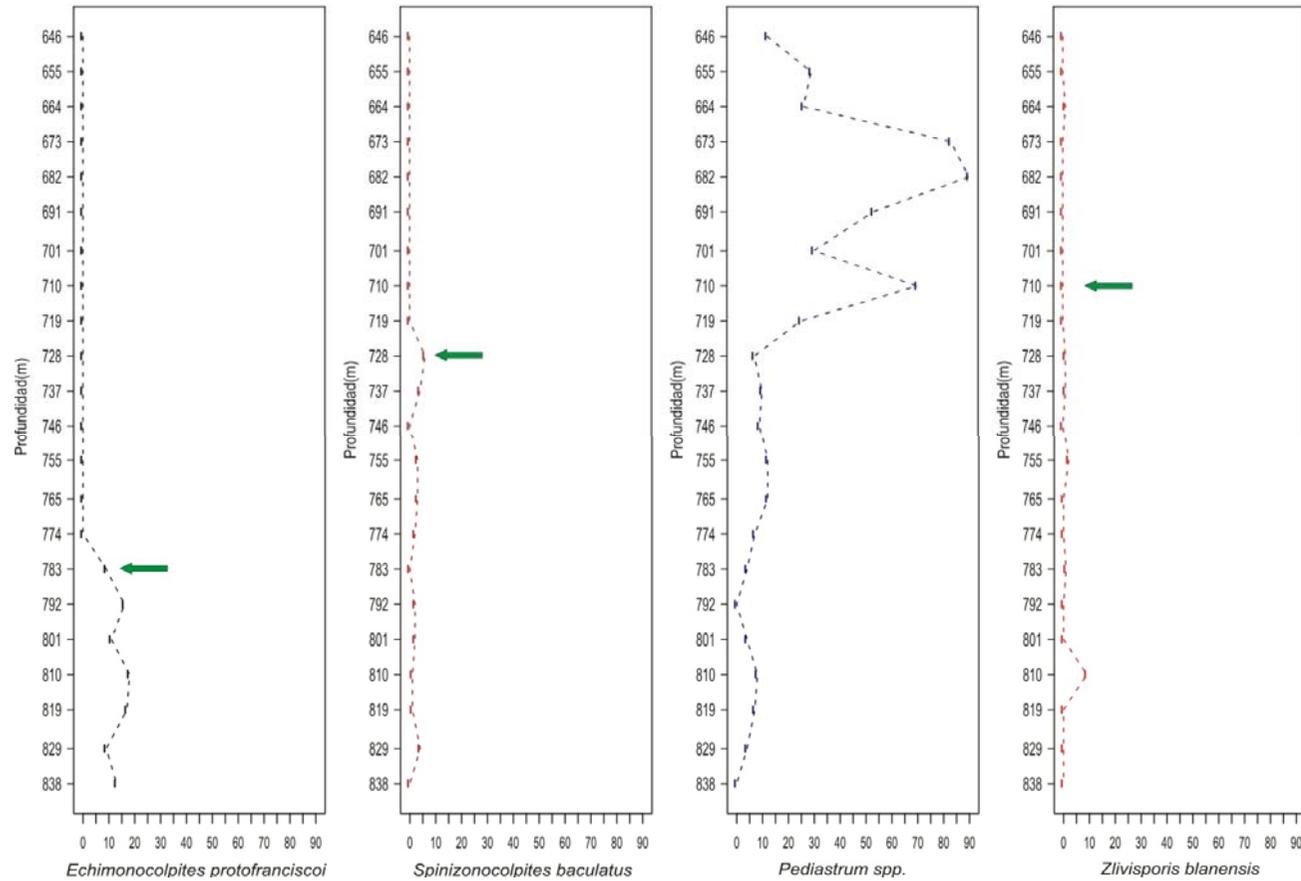
Anexo 4: Descripción litológica intervalo analizado, Sección Rio Loro-2.
 (Tomado de Ecopetrol, 1989). Las Biozonas corresponden a las definidas por Jaramillo et al., (2010a).



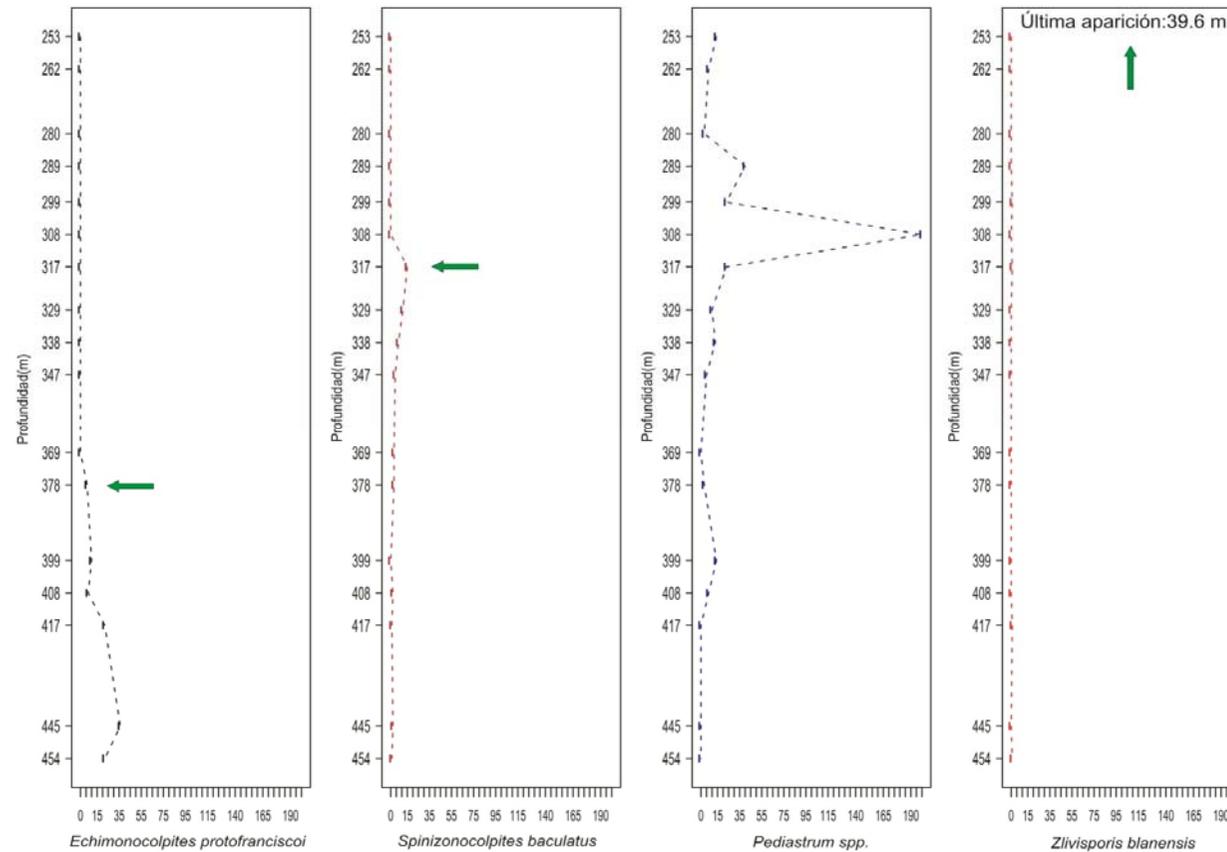
Anexo 9: Significancia temporal de *Pediastrum* spp., Corazón Diablito. El eje X indica las abundancias de las especies. Las flechas verdes indican la profundidad en la que desaparecen los palinomorfos. La abundancia de *Pediastrum* spp., ocurre entre la extinción de *Spinizonocolpites baculatus* y *Zlivisporis blanensis*, posicionándolo en la zona T-02 de Jaramillo et al., (2010a).



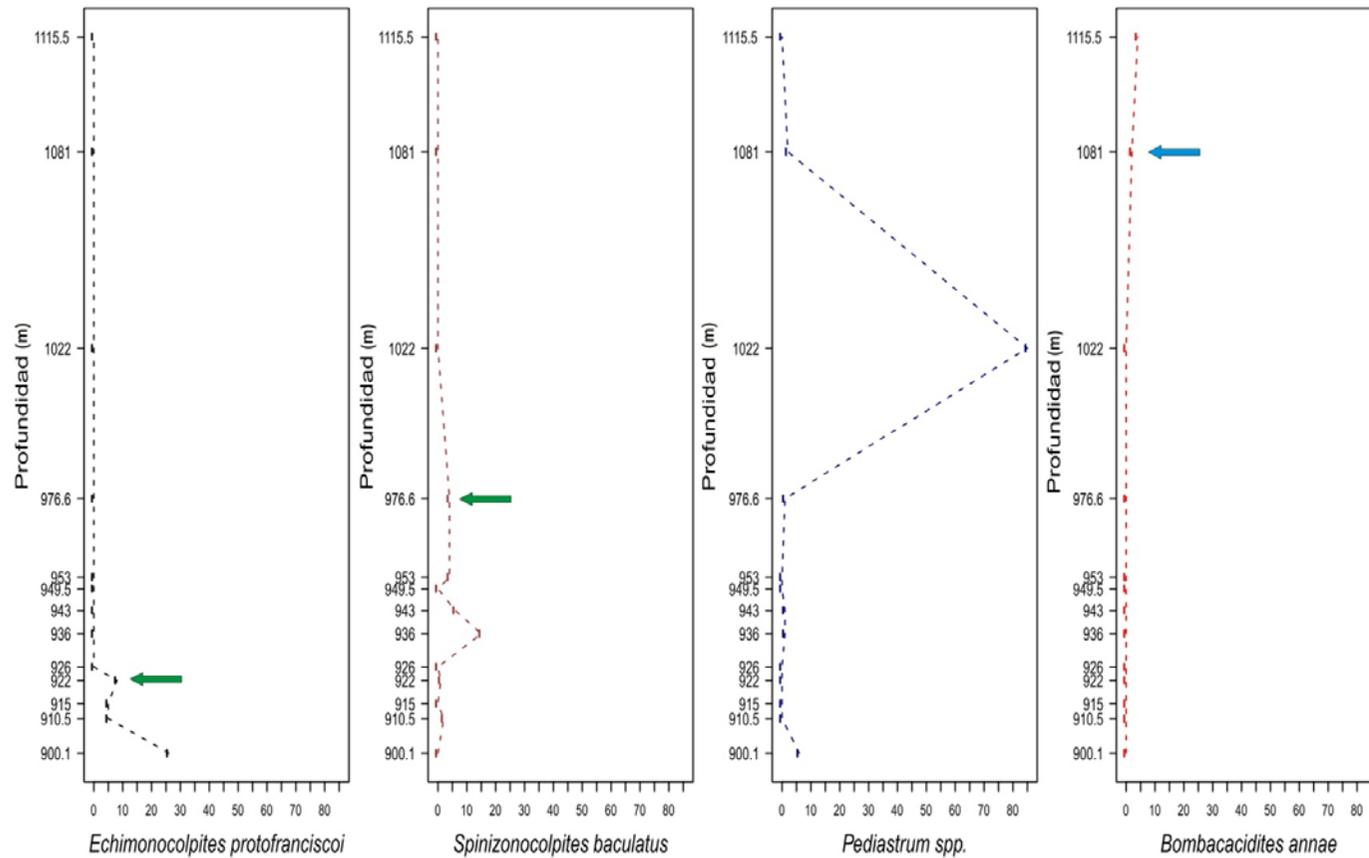
Anexo 10: Significancia temporal de *Pediastrum* spp., Pozo Gonzales-1. El eje X indica las abundancias de las especies. Las flechas verdes indican la profundidad en la que desaparecen los palinomorfos. La abundancia de *Pediastrum* spp., ocurre entre la extinción de *Spinizonocolpites baculatus* y *Zlivisporis blanensis*, posicionándolo en la zona T-02 de Jaramillo et al., (2010a).



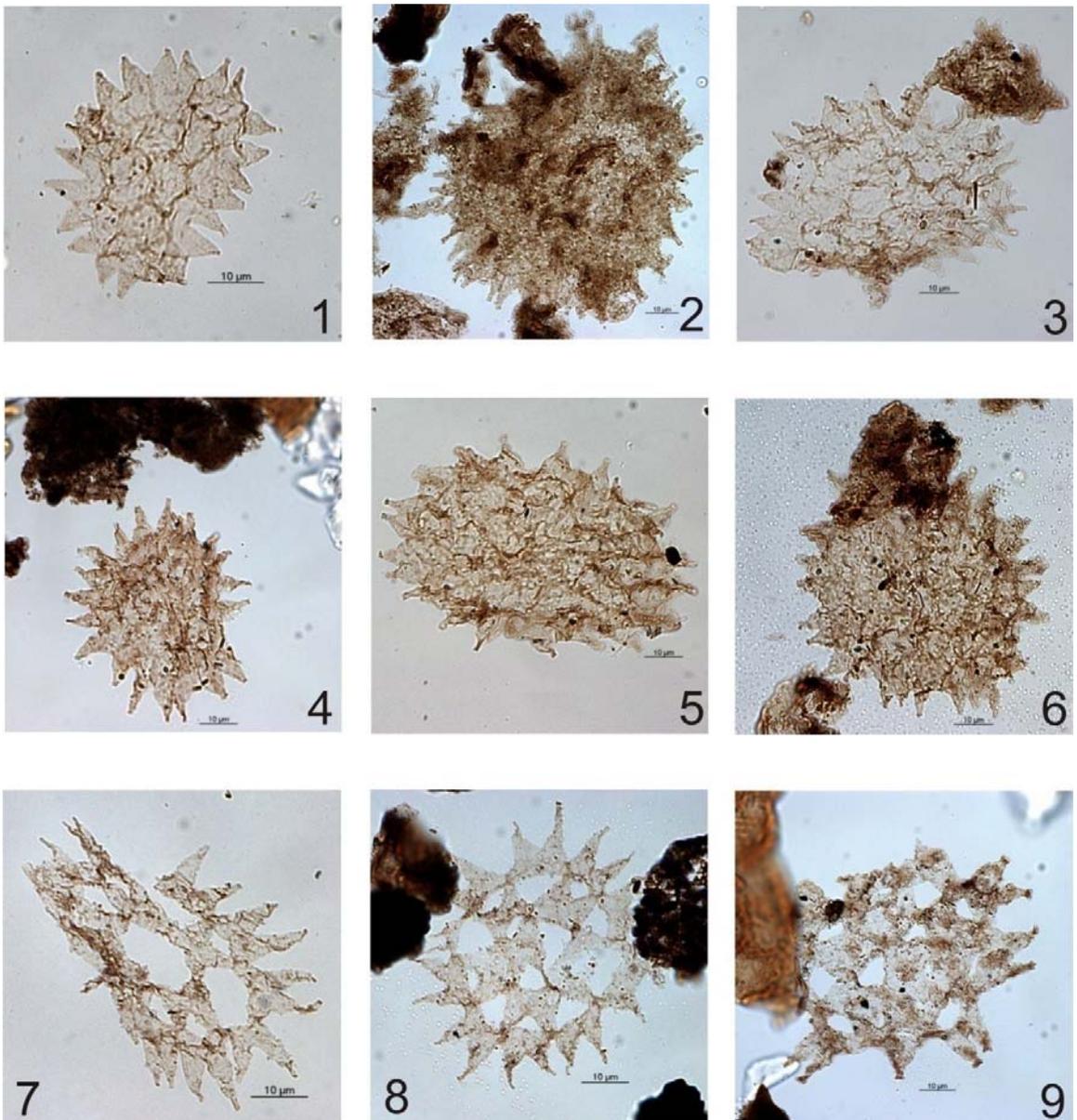
Anexo 11: Significancia temporal de *Pediastrum* spp., Pozo Cerro Gordo-3. El eje X indica las abundancias de las especies. Las flechas verdes indican la profundidad en la que desaparecen los palinomorfos. La abundancia de *Pediastrum* spp., ocurre entre la extinción de *Spinizonocolpites baculatus* y *Zlivisporis blanensis*, posicionándolo en la zona T-02 de Jaramillo et al., (2010a).

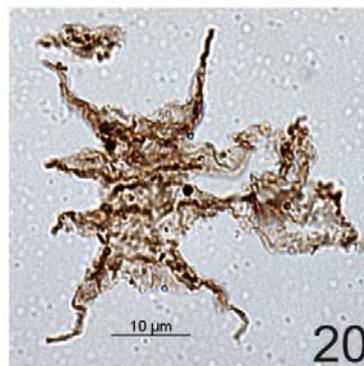
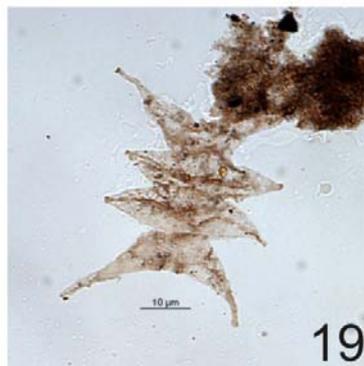
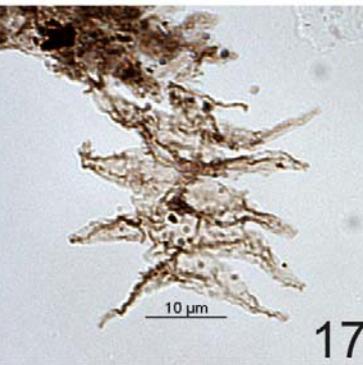
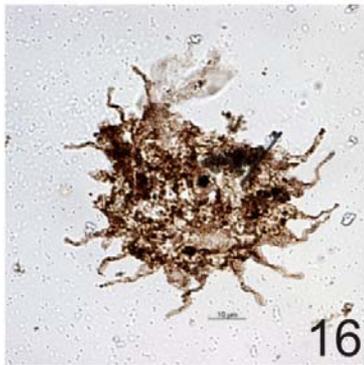
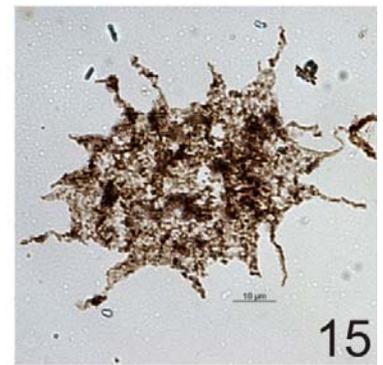
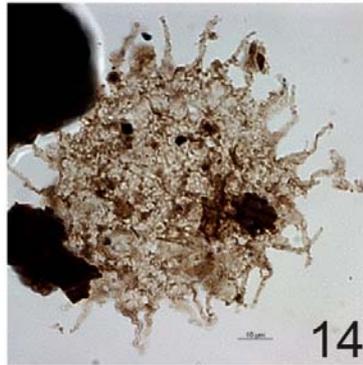
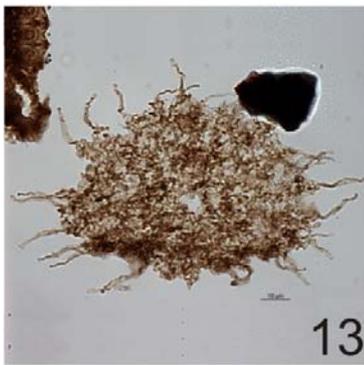
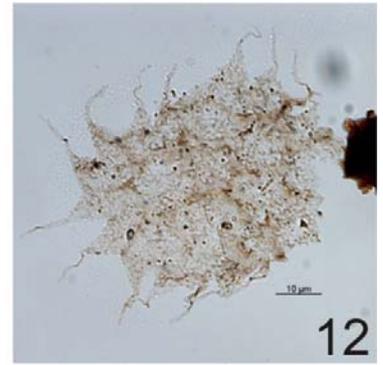
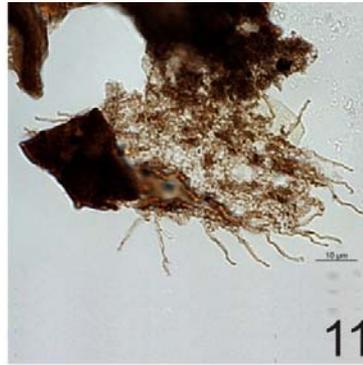
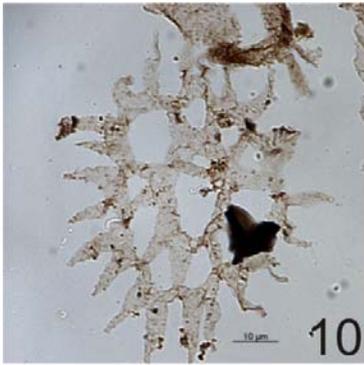


Anexo 12: Significancia temporal de *Pediastrum* spp., Sección Río Loro-2. El eje X indica las abundancias de las especies. Las flechas verdes indican la profundidad en la que desaparecen los palinomorfos *E. protofranciscoi* y *S. baculatus*. La flecha azul indica la primera aparición de *Bombacacidites annae*. La abundancia de *Pediastrum* spp., ocurre entre la extinción de *Spinizonocolpites baculatus* y la primera aparición de *Bombacacidites annae*, posicionándolo en la zona T-02 de Jaramillo et al., (2010a).



Anexo 13: Microfotografías de las especies de *Pediastrum* y *Scenedesmus* spp. halladas en Diablito, Cerro Gordo-3 y Gonzales-1. 1-6, *Pediastrum boryanum*; 7-10, *Pediastrum duplex dúplex*; 11-16, *Pediastrum boryanum* afín a la variedad *perforatum*. De acuerdo a Komárek y Jankovská, podría tratarse de una nueva especie. 17-20, *Scenedesmus* spp.





Anexo 14: Reconstrucción paleoambiental generalizada, inferida a partir del análisis palinológico y palinofacial de las 4 localidades analizadas. Predominio de ambientes lacustres eutróficos dominados por *Pediastrum* spp., con abundante material vegetal estructurado, rodeados por una vegetación compuesta principalmente por Pteridófitos y representantes de las familias Araceae y Arecaceae. Modificado de Scafati et al., (2009).

