www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasia.htm Caldasia 31(1):105-121. 2009

CYCLUSPHAERA EN EL CENOZOICO DE COLOMBIA Y SU SUPUESTO ORIGEN MARINO

Cyclusphaera in the Cenozoic of Colombia and its supposed marine origin

ANDRÉS PARDO-TRUJILLO
Universidad de Caldas, Departamento de Ciencias Geológicas, calle 65 # 26-10, Manizales, Colombia. andres.pardo@ucaldas.edu.com, apardo66@yahoo.com

CARLOS A. SÁNCHEZ
Calle 49A # 27 B 43, Manizales, Colombia. cablue152003@yahoo.com

RESUMEN

Se describe la presencia de *Cyclusphaera* en los depósitos de las formaciones Amagá (valle del Río Cauca) y La Paz (cuenca del Valle Medio del Magdalena). La revisión de los trabajos realizados en Colombia indica que hubo una tergiversación por parte de Schuler & Doubinger (1970) de la información original de Elsik (1966) acerca de la asociación de este género con elementos marinos, la cual ha sido empleada por investigadores colombianos para realizar interpretaciones paleoambientales. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que este palinomorfo se halla comúnmente en bajo porcentaje pero asociado a materia orgánica y microfósiles terrestres o de agua dulce (e.g. polen, esporas y *Pediastrum*). El estudio biométrico de los especímenes colombianos indica que su diámetro ecuatorial es notablemente inferior a los ejemplares descritos para el Campaniano del Perú y de algunas especies del Cretácico inferior de Argentina, en donde recientemente se ha probado una relación entre *Cyclusphaera* y las coníferas. Se presenta la distribución mundial de este género desde el Cretácico temprano hasta el Neógeno.

Palabras clave. *Cyclusphaera*, Amagá, Valle Medio del Magdalena, Cenozoico, paleoambiente.

ABSTRACT

The occurrence of *Cyclusphaera* in Amagá (Cauca Valley) and La Paz (Middle Magdalena Valley basin) formations was studied. The genus *Cyclusphaera* has been incorrectly used as an indicator of marine conditions. Schuller & Doubinger (1970) did a mistake in the translation of Elsik (1966) about the association of this genus with marine palynomorphs. The data obtained in this study show that *Cyclusphaera* is often found in low percentages and associated with terrestrial organic matter and terrestrially-derived microfossils (e.g. pollen, spores and *Pediastrum*). *Cyclusphaera* equatorial diameter of the Amaga and La Paz formations is notably smaller than the species described in the Campanian of Peru and some early Cretaceous species from Argentina, where recently has been proved a relationship between *Cyclusphaera* and the conifers. A world distribution of *Cyclusphaera* from the early Cretaceous to Neogene is also presented.

Key words. *Cyclusphaera*, Amagá, Middle Magdalena Valley, Tertiary, paleoenvironment.

INTRODUCCIÓN

El género *Cyclusphaera* Elsik 1966 fue empleado para referirse a un particular tipo de palinomorfo que se encuentra en las rocas de la Formación Vivian del Campaniano del Perú (Elsik, 1966). La especie tipo, *Cyclusphaera euribei*, se encuentra comúnmente en el residuo palinológico y fue descrita como: "spherical to oval to discoid sporomorph with two large openings on opposite sides of the body, giving the overall appearance of a hoop or tire" (trad. "un esporomorfo esférico a ovalado, con dos grandes aperturas en sus lados opuestos, que le dan una apariencia de aro o neumático"). En cuanto a su afinidad biológica, el autor no encontró un equivalente moderno; sin embargo resalta que: "the accompanying sporomorph assemblage contains no hystrichosphaerids, dinoflagellates, or microforams which might have indicated a marine origin of the problematicum" (Elsik 1966, p. 563); trad. "la asociación palinológica acompañante no contiene histricosféridos (antiguo nombre empleado para los acritarcos), dinoflagelados o foraminíferos que pudieran indicar un origen marino".

En Colombia Schuler & Doubinger (1970) realizaron un estudio palinológico de la Formación Amagá (departamento de Antioquia), en donde se reportó la presencia de *Cyclusphaera* cf. *euribei*. Sin embargo, estos autores tergiversaron lo expresado por Elsik (1966) indicando que: "Elsik trouve ces sporomorphes avec des Hystrichosphaeridées, des dinoflagellés… indiquant une origin marine" (Schuler & Doubinger, 1970, p. 448). (Trad: "Elsik encontró estos esporomorfos junto con Histricosféridos, dinoflagelados…indicando un origen marino"). Estos autores, sin embargo señalan que (trad.) "las formas (de *Cyclusphaera*) encontradas en la Cuenca de Amagá no están acompañadas por organismos marinos" ("les formes trouvées dans le Bassin d'Amaga ne sont pas accompagnées par des organisms marins"). El error de traducción de Schuler y Doubinger fue aun más acentuado por Escobar (1983, p. 124), quien describe a *Cyclusphaera* cf. *euribei* de la Formación Amagá como "Hystrichosphaeridies de los dinoflagelados de origen marino" y lo usa para interpretar condiciones de sedimentación cercanas a la costa. Esta idea ha sido empleada por autores posteriores que han estudiado la palinología de la Formación Amagá (e.g. Zegarra, 1993).

Este trabajo tiene como objeto, además de aclarar esta confusión, mostrar los resultados de dos investigaciones palinológicas realizadas en depósitos del Cenozoico colombiano donde *Cyclusphaera* se encuentra de manera frecuente: el Valle Medio del Magdalena (Formación La Paz) y el sector norte del Valle del Cauca (Formación Amagá). La asociación de palinofacies y los datos sedimentológicos disponibles permiten sugerir que *Cyclusphaera* se encuentra en depósitos continentales en concordancia con las observaciones realizadas en el Cretáceo del Perú (Elsik, 1966). La especie colombiana puede ser, sin embargo, diferenciada de *Cyclusphaera euribei*, con base en su diámetro ecuatorial.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

La Formación Amagá fue estudiada en la quebrada La Sucia (5º 58'4''Norte 75º41'1.75''Oeste) en cercanías de la mina de carbón Palomos (municipio de Fredonia, departamento de Antioquia), en el flanco occidental de la Cordillera Central (figura 1). En este sitio se levantó una columna estratigráfica a escala 1:500 usando una poligonal abierta con cinta y brújula. Esta sección fue escogida debido a sus buenas condiciones de acceso, exposición casi continua y complicaciones estructurales menores (Sierra, com. pers.).

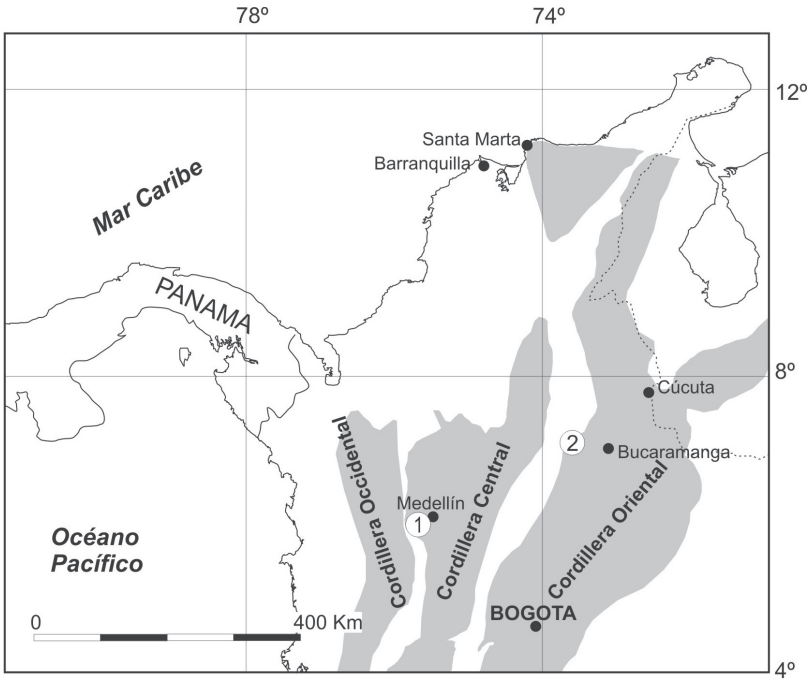


Figura 1. Mapa de localización de las secciones estudiadas. 1: Quebrada La Sucia (valle del Río Cauca); 2: Cerro La Paz (Valle Medio del magdalena). En gris: principales cadenas montañosas.

Se seleccionaron 25 muestras de lodolitas carbonosas para el estudio palinológico, once tuvieron buen recobro de palinomorfos; las catorce restantes resultaron estériles o con menos de 25 granos por lámina. Como este trabajo tenía un enfoque principalmente bioestratigráfico, se omitió el estudio de carbones ya que usualmente contienen una mayor representación de la vegetación local.

El material estudiado de la Formación La Paz se obtuvo en el "Cerro La Paz", cerca al Río Sogamoso (flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo, 7° 5' 48.38" Norte- 73° 23' 59.33" Oeste, departamento de Santander, figura 1). La sección se realizó a partir de nueve perforaciones elaboradas para el proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso (pozos IC-PE-2, IC-FA-3, IC-TD-1, IC-CC7, IC-CC-12, IC-CC-2, IC-FA-4, IC-FP-1, SD-D-8D). Los pozos fueron descritos en detalle por Pardo (1997); el cálculo de su espesor real, el muestreo y análisis palinológico detallado fue realizado por el primer autor. Ochenta muestras de lodolitas fueron seleccionadas para el análisis; de estas solo 19 pudieron ser empleadas para el estudio bioestratigráfico debido a la escasez de palinomorfos con respecto a los detritos vegetales en la mayoría de las láminas estudiadas. Las muestras fueron tratadas con una técnica estándar: rompimiento de 25 gr de roca en finas piezas más o menos equidimensionales (1-2 mm). Ataque de la fracción mineral con HCl para eliminar los carbonatos y HF para los silicatos (24 horas). Tamizado del residuo usando una malla de 12 µm. Oxidación de la muestra con HNO_3 y montaje de las láminas usando hydroxylethyl celulosa (HEC) para homogenizar las partículas orgánicas en el cubreobjetos y

euparal o bálsamo de Canadá para fijarlo permanentemente sobre el portaobjetos.

Cada muestra se analizó con un objetivo de inmersión de 40 X usando un microscopio de luz transmitida (Zeiss Axioscop). Se contaron más de 200 palinomorfos por nivel estratigráfico, aunque en algunos casos no fue posible alcanzar este número debido a la abundancia restos vegetales que "diluyen" los microfósiles. Los datos fueron consignados en tablas Excel con los conteos del número de palinomorfos por muestra y se calcularon sus porcentajes relativos. Posteriormente se agruparon las especies de polen y esporas en categorías generales con el fin de obtener una idea de sus variaciones en el tiempo. Se seleccionaron cinco categorías (tablas 1 y 2): 1) Angiospermas (excluyendo palmas); 2) Palmas; 3) Gimnospermas; 4) Esporas de pteridofitas y briofitas; 5) *Cyclusphaera*. Este último fue además representado independientemente indicando el número de granos contados y porcentaje relativo para cada nivel estratigráfico (figura 2). Para el estudio biométrico de *Cyclusphaera* se utilizaron tres parámetros: el diámetro ecuatorial (De), el diámetro del poro (Dp) y el espesor de la pared en su región ecuatorial (Ee). Algunos ejemplares poseen una forma ovalada, y por tanto se midió el largo (Dp (l)) y ancho (Dp (A)) del diámetro ecuatorial (figura 3, tabla 3).

Tabla 1. Número de palinomorfos contados (izquierda) y porcentajes relativos de angiospermas (excluyendo palmas), palmas, gimnospermas, esporas de pteridofitas y *Cyclusphaera* hallados en la Formación Amagá (derecha).

Número de la muestra	Metros por debajo del techo de la secuencia	Otras angiospermas	Palmas	Gimnospermas	Esporas	*Cyclusphaera*	Total polen
AM-1	6,9	30	16	1	180	1	228
AM-2	7,8	91	11	2	198	0	302
AM-3	9,3	27	2	0	257	0	286
AM-4	10,5	99	5	0	179	0	283
AM-7	14,9	55	0	0	261	6	322
AM-12	30,1	2	7	0	248	1	258
AM-19	85,4	21	6	0	235	0	262
AM-20	90,5	118	12	0	71	0	201
AM-23	106,1	78	15	0	128	0	221
AM-24	108,5	113	26	0	76	0	215
AM-25	111,9	92	30	0	179	0	301

Número de la muestra	Metros por debajo del techo de la secuencia	Otras angiospermas	Palmas	Gimnospermas	Esporas	*Cyclusphaera*	Total
AM-1	6,9	13,2	7,0	0,4	78,9	0,4	100,0
AM-2	7,8	30,1	3,6	0,7	65,6	0,0	100,0
AM-3	9,3	9,4	0,7	0,0	89,9	0,0	100,0
AM-4	10,5	35,0	1,8	0,0	63,3	0,0	100,0
AM-7	14,9	17,1	0,0	0,0	81,1	1,9	100,0
AM-12	30,1	0,8	2,7	0,0	96,1	0,4	100,0
AM-19	85,4	8,0	2,3	0,0	89,7	0,0	100,0
AM-20	90,5	58,7	6,0	0,0	35,3	0,0	100,0
AM-23	106,1	35,3	6,8	0,0	57,9	0,0	100,0
AM-24	108,5	52,6	12,1	0,0	35,3	0,0	100,0
AM-25	111,9	30,6	10,0	0,0	59,5	0,0	100,0

Tabla 2. Número de palinomorfos contados (izquierda) y porcentajes relativos de angiospermas (excluyendo palmas), palmas, gimnospermas, esporas de pteridofitas y *Cyclusphaera* en la Formación La Paz (derecha).

Número de la muestra. Entre paréntesis se encuentra el número empleado en la columna de la figura 2	Metros por debajo de la muestra ubicada en el techo de la secuencia	Otras angiospermas	Palmas	Gimnospermas	Esporas	*Cyclusphaera*	TOTAL
(19)SD-D-8D(9,06)	0	43	14	0	17	0	74
(18)SD-D-8D(44,9)	30,8	85	3	0	55	1	144
(17)IC-FP-1(18,53)	52,8	41	138	8	34	1	222
(16)IC-FP-1(91,4)	116,5	69	36	0	30	2	137
(15)IC-FP-1(156,52)	171,4	57	16	0	3	0	76
(14)IC-FP-1(165,6)	179,1	21	15	0	31	4	71
(13)IC-FP-1(174,2)	187,1	80	55	0	564	0	699
(12)IC-FA-4(34,2)	222,6	25	31	1	30	2	89
(11)IC-FA-4(48,85)	235	87	68	1	4	3	163
(10)IC-FA-4(73,85)	257	34	19	0	15	0	68
(9)IC-FA-4(101,38)	280,7	84	23	1	22	7	137
(8)IC-CC-7(9,5)	312,6	99	19	1	104	38	261
(7)IC-CC-7(11,6)	314,8	66	7	3	57	4	137
(6)IC-CC-12(37,75)	323,6	105	14	1	112	2	234
(5)IC-FA-3(6,12)	345,2	55	29	2	86	6	178
(4)IC-FA-3(17,1)	353,5	54	13	1	84	2	154
(3)IC-FA-3(64,85)	390,3	97	26	1	33	2	159
(2)IC-PE-2(12,6)	464	251	111	0	22	2	386
(1)IC-PE-2(22.5)	472	180	86	0	2	0	268

Número de la muestra. Entre paréntesis se encuentra el número empleado en la columna de la figura 2	Metros por debajo de la muestra ubicada en el techo de la secuencia	Otras angiospermas	Palmas	Gimnospermas	Esporas	*Cyclusphaera*	TOTAL
(19)SD-D-8D(9,06)	0	58,1	18,9	0,0	23,0	0,0	100,0
(18)SD-D-8D(44,9)	30,8	59,0	2,1	0,0	38,2	0,7	100,0
(17)IC-FP-1(18,53)	52,8	18,5	62,2	3,6	15,3	0,5	100,0
(16)IC-FP-1(91,4)	116,5	50,4	26,3	0,0	21,9	1,5	100,0
(15)IC-FP-1(156,52)	171,4	75,0	21,1	0,0	3,9	0,0	100,0
(14)IC-FP-1(165,6)	179,1	29,6	21,1	0,0	43,7	5,6	100,0
(13)IC-FP-1(174,2)	187,1	11,4	7,9	0,0	80,7	0,0	100,0
(12)IC-FA-4(34,2)	222,6	28,1	34,8	1,1	33,7	2,2	100,0
(11)IC-FA-4(48,85)	235	53,4	41,7	0,6	2,5	1,8	100,0
(10)IC-FA-4(73,85)	257	50,0	27,9	0,0	22,1	0,0	100,0
(9)IC-FA-4(101,38)	280,7	61,3	16,8	0,7	16,1	5,1	100,0
(8)IC-CC-7(9,5)	312,6	37,9	7,3	0,4	39,8	14,6	100,0
(7)IC-CC-7(11,6)	314,8	48,2	5,1	2,2	41,6	2,9	100,0
(6)IC-CC-12(37,75)	323,6	44,9	6,0	0,4	47,9	0,9	100,0
(5)IC-FA-3(6,12)	345,2	30,9	16,3	1,1	48,3	3,4	100,0
(4)IC-FA-3(17,1)	353,5	35,1	8,4	0,6	54,5	1,3	100,0
(3)IC-FA-3(64,85)	390,3	61,0	16,4	0,6	20,8	1,3	100,0
(2)IC-PE-2(12,6)	464	65,0	28,8	0,0	5,7	0,5	100,0
(1)IC-PE-2(22.5)	472	67,2	32,1	0,0	0,7	0,0	100,0

Tabla 3. Parámetros biométricos obtenidos en los ejemplares de *Cyclusphaera scabrata* de la Formación La Paz.

Número del pozo-número de la lámina	Coordenada England Finder (EF)	Diámetro ecuatorial (largo). De (l)	Diámetro ecuatorial (ancho). De (A)	Diámetro de poro	Engrosamiento de la exina en el ecuador	Coordenadas microscopio Olympus
IC-PE-2 (12,6)-56058	N50-3	31	31	9	2	52,1x18,9
IC-FA-3(64,85)-56133	C42-1	44	44	22	1	51,5x8,5
IC-FA-3(64,85)-55764 (ICP)	F49-4	46	25	19	2	44x21
IC-FA-3 (6,12)-55771	K45	42	42	22	1,5	48,3x15,5
IC-FA-3 (6,12)-55771 ICP	R49-1	46	23	20	1,5	45x22
IC-CC-7 (11,6)-55846	U43-1	35	35	15	1,5	50,6x24,9
IC-CC-7 (11,6)-55846 ICP	F49-3	30	30	10	1	44,9x12

Continuación tabla 3.

Número del pozo-número de la lámina	Coordenada England Finder (EF)	Diámetro ecuatorial (largo), De (l)	Diámetro ecuatorial (ancho). De (A)	Diámetro de poro	Engrosamiento de la exina en el ecuador	Coordenadas microscopio Olympus
IC-CC-7 (9,5)-55847	L38-3	42	42	15	1	55,5x16,7
IC-CC-7 (9,5)-55847	G32-4	52	42	24	1	61 x 13
IC-CC-7 (9,5)-55847	U33-4	41	29	11	1	60x25
IC-CC-7 (9,5)-55847	Q-37	45	28	15	1,5	56,2x21,3
IC-CC-7 (9,5)-55847		32	32	11	<0,5	56x19,2
IC-CC-7 (9,5)-55847		36	24	14	0,5	53,1x20,1
IC-CC-7 (9,5)-55847		24	24	6	<0,5	51x23
IC-CC-7 (9,5)-55847		30	30	7	1	47,1x19,7
IC-CC-7 (9,5)-55847		50	21	22	2	46,2x18,1
IC-CC-7 (9,5)-55847		37	37	12	1	44,9x19
IC-CC-7 (9,5)-55847		43	29	13	1	43,8x19,6
IC-CC-7 (9,5)-55847		36	25	12	1	42,3x23,5
IC-CC-7 (9,5)-55847		40	40	14	1	41x20,8
IC-CC-7 (9,5)-55833		48	24	20	0,5	58,9x22
IC-CC-7 (9,5)-55833		32	32	8	0,5	59x20,9
IC-CC-7 (9,5)-55833		30	30	12	1,5	57X23,1
IC-CC-7 (9,5)-55833		31	31	14	<0,5	56,3X23
IC-CC-7 (9,5)-55833		30	30	10	1	56,1X25
IC-CC-7 (9,5)-55833		40	40	18	1	55,1X22,5
IC-CC-7 (9,5)-55833		46	16	10	1	54X24,9
IC-CC-7 (9,5)-55833		30	30	15	1	53X14
IC-CC-7 (9,5)-55833		34	25	10	1	51,2X28,9
IC-CC-7 (9,5)-55833		36	28	17	1	43,9X21,6
IC-CC-7 (9,5)-55833		33	33	15		41X24
IC-FA-4 (101,38)-55926		38	30	20	1	48,9x21,1
IC-FA-4 (101,38)-55926	J47-4	53	42	19	1,5	55,1x14,9
IC-FA-4 (101,38)-55926	F5-2	46	40	28	0,5	51,1x11,5
IC-FA-4 (101,38)-55882	L48	35	32	13	2	45,5x16,1
IC-FA-4 (48,85)-55973 ICP	O40-1	40	27	17	1,5	53,5x19
IC-FP-1 (165,6)-55980	O49-1	43	32	18	1,5	44,9x18,9
IC-FP-1 (91,4)-55019	T43-4	32	26	11	1,5	50,1x24,8
IC-FP-1 (91,4)-55019	N48-2	35	23	10	2	45,1x17,9
IC-FP-1 (18,53)-56024	W37-4	32	28	12	1	55,7x28

RESULTADOS Y DISCUSION

Estratigrafía de los depósitos estudiados

La descripción inicial de los depósitos cenozoicos con abundantes mantos de carbón en la región norte del Valle del Cauca la hizo Grosse (1926), quien los denominó "Terciario Carbonífero de Antioquia". La definición formal de la Formación Amagá se debe a González (1980) quien la separó en tres miembros (Superior, Medio e Inferior). Recientemente, Sierra *et al.* (2003) subdividieron esta unidad en miembros "Inferior" y "Superior" con base en criterios de estratigrafía secuencial.

La sección de la quebrada La Sucia posee 115 m de espesor y está compuesta por estratos de arenitas, lodolitas y mantos de carbón. Las arenitas se presentan en estratos que van desde centímetros hasta

10 m en espesor, de color gris verdoso, textura gruesa y laminación plana paralela e inclinada. Las lodolitas son de color verde oscuro a negro, con abundantes fragmentos de hojas y tallos pobremente preservados. Los estratos de carbón varían en espesor de unos pocos centímetros hasta 1 metro. Estratigráficamente, esta secuencia representa la base del miembro medio de la formación (sensu González, 1980) o la unidad 2 del Miembro Inferior de Sierra *et al.* (2003). Las facies descritas han sido interpretadas con base en criterios sedimentológicos como el producto de ambientes fluviales, que varían entre ríos trenzados y meándricos (Guzmán 1991, Correa & Silva 1999, Sierra *et al.* 2003).

El segundo intervalo estudiado corresponde a 500 m de sección que incluye principalmente a la parte superior de la Formación La Paz y la parte inferior de Formación Esmeraldas. La primera fue definida por geólogos de la Tropical Oil Company en 1923 (inédito), descrita y publicada por Wheeler (1935) y Morales *et al.* (1958); la segunda fue definida por geólogos de la Gulf Oil Company (en Wheeler, 1935).

La Formación La Paz está compuesta principalmente por estratos de areniscas con intercalaciones menores de lodolitas. Las primeras son de color gris-café, con estratificación inclinada plana y en artesa a diferentes escalas; localmente son frecuentes los intraclastos de lodo. Estas facies forman secuencias granodecrecientes, amalgamadas entre sí. Hacia la parte superior se hacen más frecuentes los niveles de conglomerados y areniscas conglomeráticas líticas, compuestas por cuarzo lechoso, chert negro y otros fragmentos sedimentarios de grano fino. Las lodolitas son de color gris a gris verdoso, micáceas, con abundantes restos de plantas mal preservados. Su espesor es variable a lo largo de la sección y puede ir de pocos centímetros a más de 5 m de espesor. Los últimos 44 m de la sección hacen parte de la Formación Esmeraldas. Están compuestos principalmente por lodolitas grises intercaladas con areniscas y conglomerados, seguidas por unos 25 m de lodolitas abigarradas de color gris-verde-rojo fuertemente bioperturbadas (figura 2).

Ocurrencia de *Cyclusphaera* en los depósitos estudiados

En la parte superior de la Formación La Paz *Cyclusphaera* se encuentra presente en 14 de las 19 muestras estudiadas para bioestratigrafía (figura 2). En ellas, la mayoría presenta porcentajes menores de 6 %, salvo en la muestra 8 donde se halló cerca del 15 %. Como fue señalado por Pardo-Trujillo (2001), la materia orgánica asociada al polen y esporas está compuesta exclusivamente por fragmentos vegetales (madera y cutículas), resina, lo que sumado a la presencia de *Pediastrum* en algunos niveles sugiere sedimentación en agua dulce. El polen de angiospermas domina en la mayoría de las muestras y se identificaron más de 150 morfotipos (Pardo-Trujillo *et al.*, 2003); las gimnospermas se hallaron en muy baja proporción y están representadas por granos algunos granos bisacados y de *Araucariacites*. Se pueden apreciar al menos dos picos importantes en el porcentaje relativo de esporas (figura 2). Estas variaciones pueden obedecer a fenómenos intra o extra-cuenca tales como cambios laterales en los medios de depósito, fluctuaciones climáticas o eustasia (e.g. Rull, 2000). Sin embargo, para reconocer los efectos regionales de los locales, es necesario contar con mayor número de secciones y con elementos independientes de correlación a través de la cuenca. La asociación palinológica hallada en esta sección se ubica en la zona *Monoporites annulatus* de Germeraad *et al.* (1968) o la zona Mi-01 (*Spirosyncolpites spiralis*) de Jaramillo y Rueda (2004) de edad Eoceno.

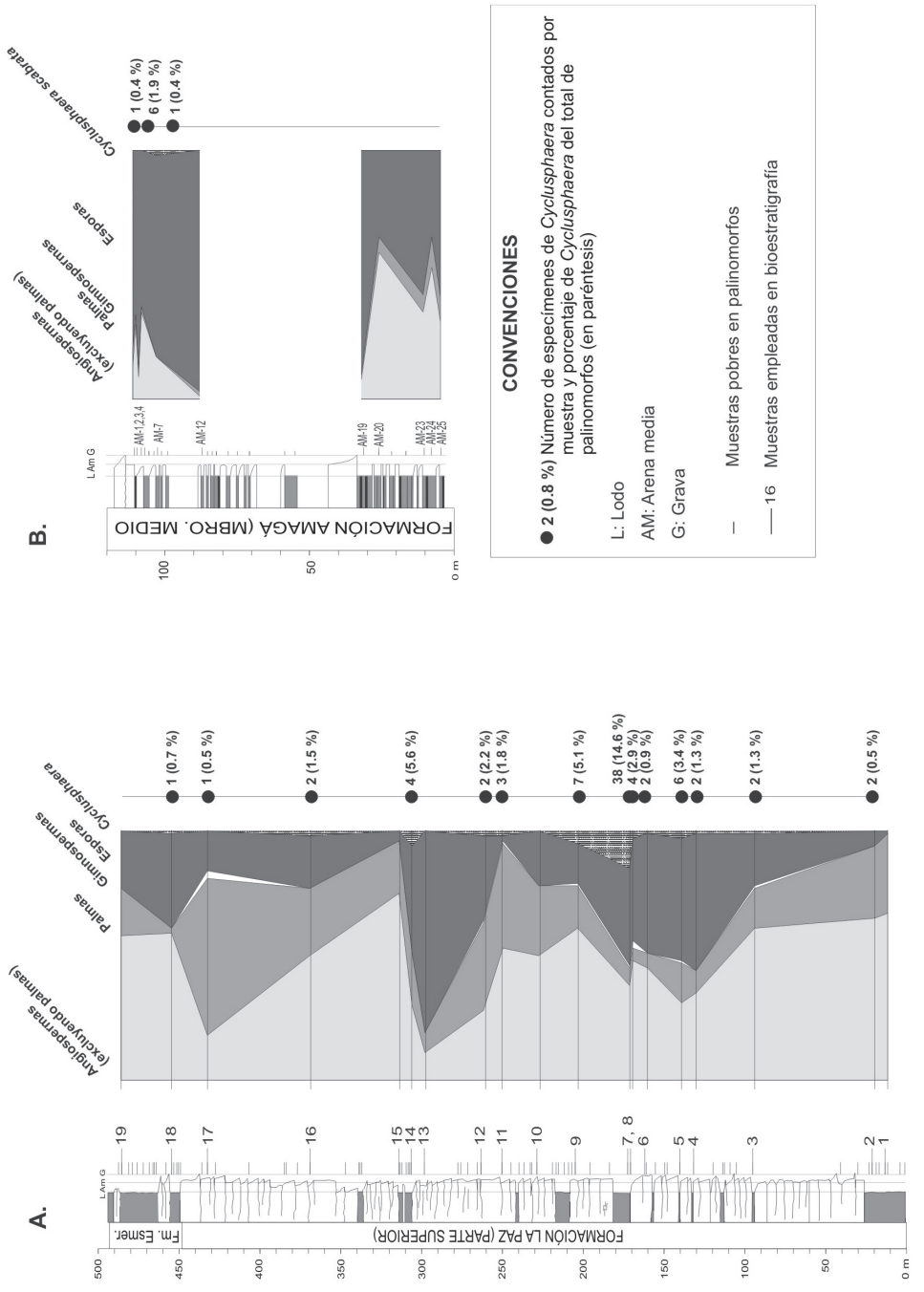


Figura 2. Columnas estratigráficas, distribución porcentual de grupos de palinomorfos y ocurrencia de *Cyclusphaera* en las secciones estudiadas. A: Cerro La Paz (Valle Medio del Magdalena); B: Quebrada La Sucia (valle del Río Cauca).

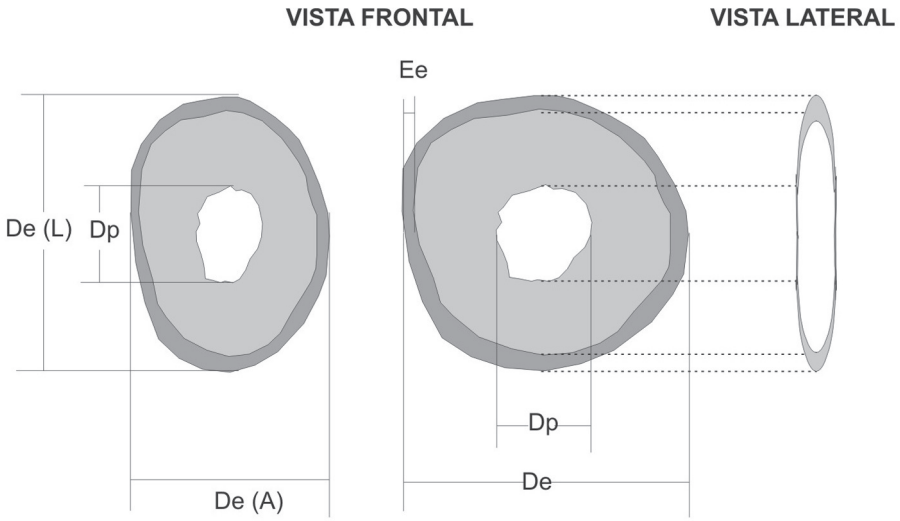


Figura 3. Parámetros biométricos empleados en los ejemplares de *Cyclusphaera scabrata* de la Formación La Paz (Valle Medio del Magdalena). La vista lateral es hipotética ya que nunca se observaron ejemplares en esta posición. De (L): Diámetro ecuatorial (largo); De (A): Diámetro ecuatorial (ancho); Dp: diámetro de poro.

En la sección de la quebrada La Sucia, la presencia de *Cyclusphaera* se da en 3 de las 11 muestras estudiadas, con porcentajes que van entre el 0.3% y 1.9 %. Se encontraron asociadas a materia orgánica vegetal y a más de 60 especies de polen y esporas. El grupo más abundante es el de las esporas de pteridofitas (*Concavissimisporites fossulatus, Polypodiisporites* sp., *Psilatriletes* sp, *Verrutriletes* sp*, Laevigatosporites* sp. y *Verrucatosporites usmensis*). De los granos de polen de angiospermas, la especie más abundante es *Perisyncolporites pokornyi* (Malpighiaceae), y le siguen *Striatopollis* sp., *Mauritiidites franciscoi* var. *Minutus* (*Mauritia*, Arecaceae)*, Striatopollis catatumbus* (Fabaceae)*, Retitricolpites* sp. y *Retitrescolpites*? *irregularis* (Euphorbiaceae). Las gimnospermas están representadas por algunos granos bisacados.

Estos datos se compararon con la zonación de Jaramillo y Rueda (2004). La sección puede ubicarse entre las zonas Ca-04 (*Retitricolporites "esponjosus"*), indicado por la primera ocurrencia de *Magnastriatites grandiosus* y la zona Ca-08 (*Retistephanoporites minutiporus*) con base en la última ocurrencia de *Concavissimisporites fossulatus*. Por esta razón, se podría asignar un rango que edad que va desde el Oligoceno temprano hasta el Mioceno temprano a la sección. Los restos fósiles de hojas y tallos, la presencia de *Mauritiidites franciscoi,* la ausencia de palinomorfos marinos (e.g. dinoflagelados o foraminíferos) evidencian un carácter continental en la sedimentación del intervalo estudiado y está en concordancia con las interpretaciones basadas en estudios sedimentológicos (ver arriba).

Como fue mencionado anteriormente, en este trabajo no se estudiaron muestras de carbón. Sin embargo Escobar (1983) halló de manera frecuente *Cylusphaera* en cuatro mantos de carbón del miembro medio de la Formación Amagá (población de La Clarita, municipio de Amagá), con porcentajes van desde 0.7 a

6.7 %. De igual manera, Schuler & Doubinger (1970) hallaron valores entre 2 y 15 % en tres niveles de carbón de la mina El Silencio en la región de Amagá.

Comparación entre los especímenes de *Cyclusphaera* del Cenozoico de Colombia, Campaniano del Perú y Cretácico inferior de Argentina

En las muestras de Formación Amagá los granos de *Cyclsphaera* no se encuentran muy bien preservados; por tal motivo se estudiaron unos 40 especímenes de la Formación La Paz (tabla 3). Estos poseen una forma circular a ovalada, en algunos casos angular (plancha 1, foto 10), con un diámetro ecuatorial que oscila entre 24 y 53 µm (media 38.2 µm; 40 especímenes medidos) (figura 4A), diporados. Los poros son simples y poseen iguales dimensiones, que oscilan entre 6 y 28 µm de diámetro (media 14.8 µm; 40 especímenes medidos) (figuras 4B y C); en algunos ejemplares el borde del poro es irregular (plancha 1, foto 11). La exina posee un engrosamiento hacia la región ecuatorial que varía entre 0.3 y 2 µm de espesor. En luz transmitida la pared del grano es simple, no se observan estructura laminar o columelas en la exina. Su ornamentación es psilada a escabrada.

Aunque Elsik (1966) menciona la presencia frecuente de *Cyclusphaera euribei* en las rocas de la Formación Vivián (Campaniano del Perú), no presentó estudios biométricos. En general la forma, ornamentación, aperturas, estructura y engrosamiento de la pared son semejantes a los especímenes estudiados. Sin embargo, si se comparan los valores de diámetro ecuatorial obtenidos en la Formación Vivián (entre 50-110 µm y el holotipo posee 66 x 100 µm) con los de la Formación La Paz se puede apreciar que estos últimos son significativamente inferiores (figuras 4A y 5; plancha 1). En contraste, las características de los ejemplares estudiados se ajustan más a las indicadas por Jaramillo & Dilcher 2001 para *Cyclusphaera scabrata* descrita en las rocas del Eoceno de Colombia.

En los depósitos del Cretácico inferior de Argentina se han definido varias especies de *Cyclusphaera*: *C. psilata* Volkheimer & Sepúlveda 1976*, C. patagónica* Archangelsky *et al.* 1983*, C. crassa* Archangelsky *et al.* 1983 y *C.*(?) *radiata* Archangelsky *et al.* 1983. *C. scabrata* se diferencia claramente de estas especies por su menor engrosamiento ecuatorial de la pared (figura 5). Algunos ejemplares de *C. psilata* poseen un diámetro ecuatorial semejante a *C. scabrata*, sin embargo el valor medio se encuentra entre 62-65 µm para la primera (Archangelsky *et al.* 1983) y 39 µm para la segunda (Jaramillo & Dilcher, 2001 y éste trabajo). *C.* (?) *radiata* presenta un diámetro ecuatorial de 43(60-62) 87 µm y un anillo ecuatorial de 3(5)10 µm y la presencia de engrosamientos de la exina, a modo de pliegues, que se disponen radialmente y llegan cerca al ecuador (Archangelsky *et al.* 1983).

Distribución estratigráfica de *Cyclusphaera*

Cyclusphaera se ha hallado en depósitos del Jurásico superior al Neógeno en diferentes partes del mundo (figura 6). De acuerdo con la base de datos Palynodata Inc. (2008) y a la información presentada en este estudio, se han definido formalmente nueve especies (*C. crassa*, *C. doubingeri, C. euribei, C. intacta. C. patagonica, C. psilata C. radiata, C. scabrata* y *C. sutschanica*), ocho de ellas se encuentran restringidas a Gondwana (Argentina, Perú, Colombia, Atlántico Sur, Sur África, Gabón, Angola, Congo, Camerún, Egipto e India). Sólo dos presencias se mencionan en Laurasia: en el Cretácico Inferior de Rusia (Primorsk Kray, correspondiente a *C. sutschanica*) y en el Paleógeno de China (descrita sólo a nivel genérico) (Palynodata Inc., 2008).

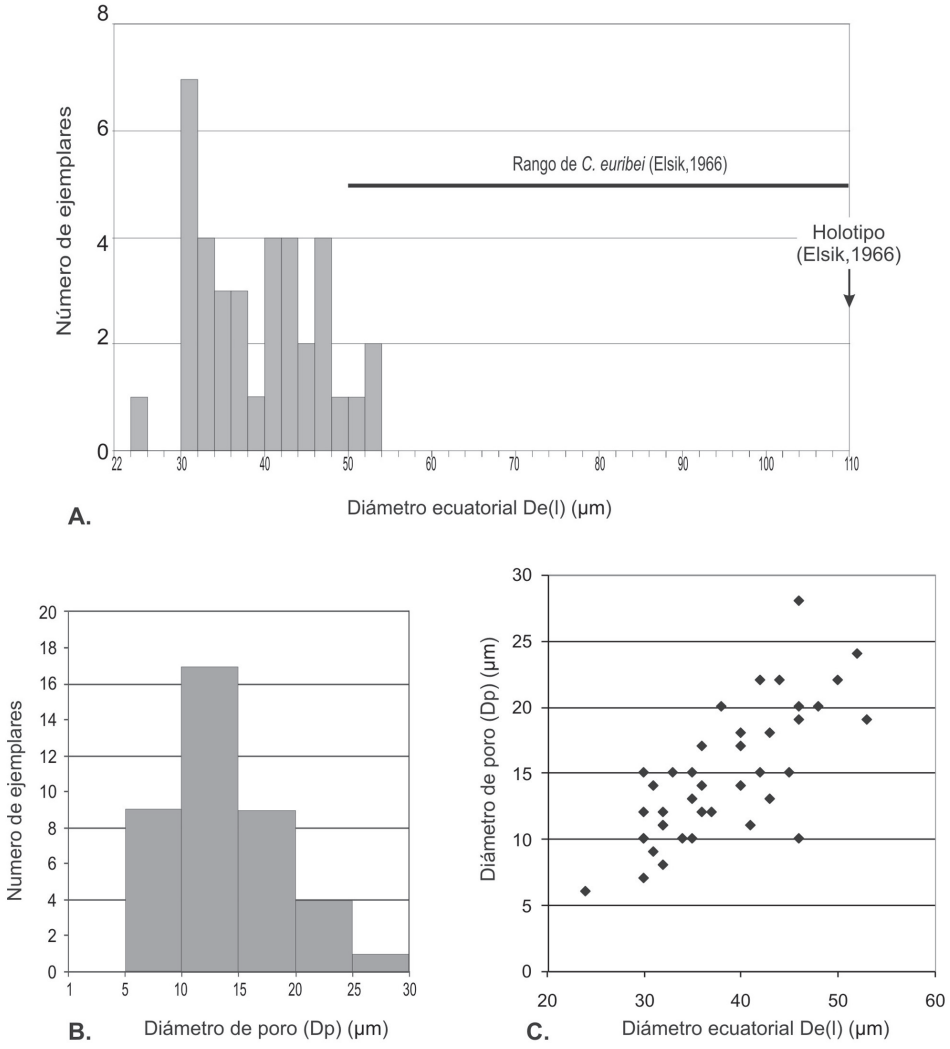
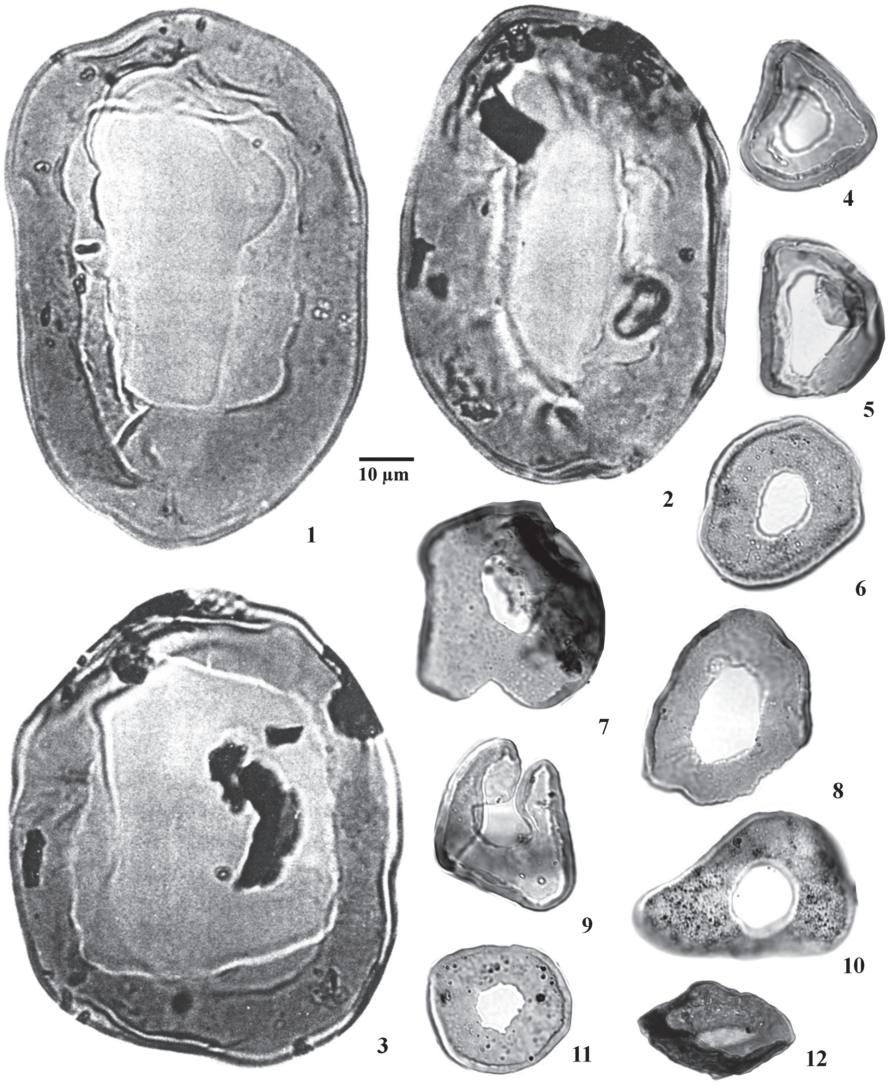


Figura 4. A: Distribución de los diámetros ecuatoriales (De (l)) de *Cycluspaera scabrata* en la Formación La Paz y comparación con el rango de *C. euribei* descritos por Elsik (1968) para el Cretáceo del Perú. B: Distribución del tamaño de máximo diámetro de poro medido en los especímenes de *C. scabrata*. C: Relación entre el diámetro ecuatorial (De (l)) y máximo diámetro de poro de los especímenes estudiados.

PLANCHA 1



1-3. Ejemplares de *Cyclusphaera euribei* de la Formación Vivian (Campaniano del Perú).
1. Holotipo. Tomado de Elsik (1966, plate IV, fig. 1); United States National Museum, no. 42313.
2. Paratipo. Tomado de Elsik (1966, plate IV, fig. 2); United States National Museum, no. 42313.
3. Tomado de Elsik (1966, plancha IV, fig. 4).
4-11. Ejemplares de *Cyclusphaera scabrata* obtenidos en la Formación La Paz (Eoceno del Valle Medio del Magdalena).
4. Muestra IC-PE-2(12.6), lámina No. 56058, referencia England Finder (EF) O50.
5. Muestra IC-CC-12 (37.75), lámina No. 55803(1), referencia England Finder (EF) Q59-4.
6. Muestra IC-FP-1(18.53), lámina No. 56024, referencia England Finder (EF) X38-3.
7. Muestra IC-CC-7(11.6), lámina 55846(1), referencia England Finder (EF) U43.
8. Muestra IC-FA-4(101.38), lámina 55926(1), referencia England Finder (EF) Q45-3.
9. Muestra IC-FP-1(91.4), lámina 55019, referencia England Finder (EF) U43-2.
10. Muestra IC-CC-7(9.5), lámina 55847(1), referencia England Finder (EF) U33-4.
11. Muestra IC-PE-2(12.6), lámina 55711(1), referencia England Finder (EF) F47-1.
12. *Cyclusphaera scabrata* de la Fm Amagá. Muestra AM-12.

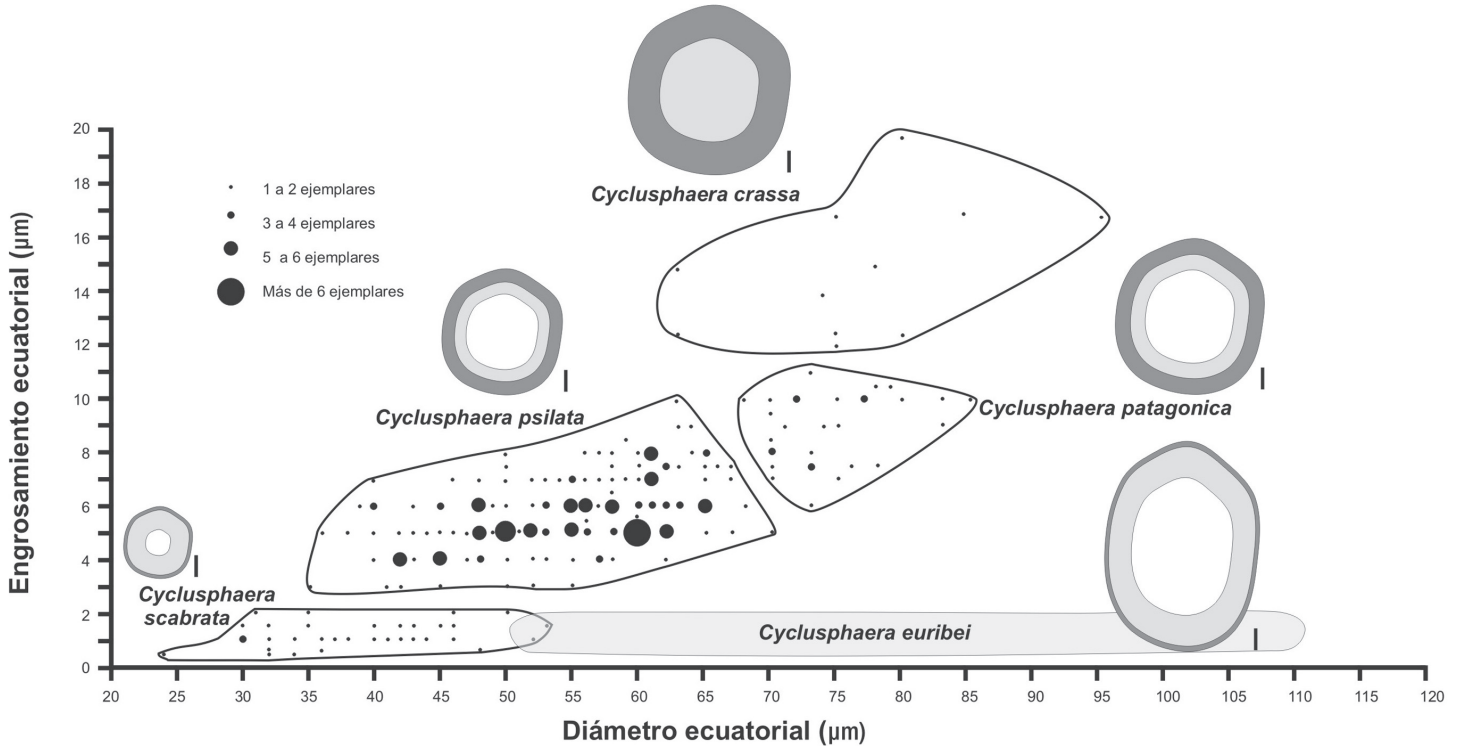


Figura 5. Relación entre diámetro ecuatorial y engrosamiento ecuatorial de la pared para las especies de *Cyclusphaera* descritas en Suramérica (excepto *C.* (?) *radiata*). La barra al lado de cada dibujo representa 10 µm.
Basado en datos de Archangelsky et al., (1983), Elsik (1966) y de este trabajo.

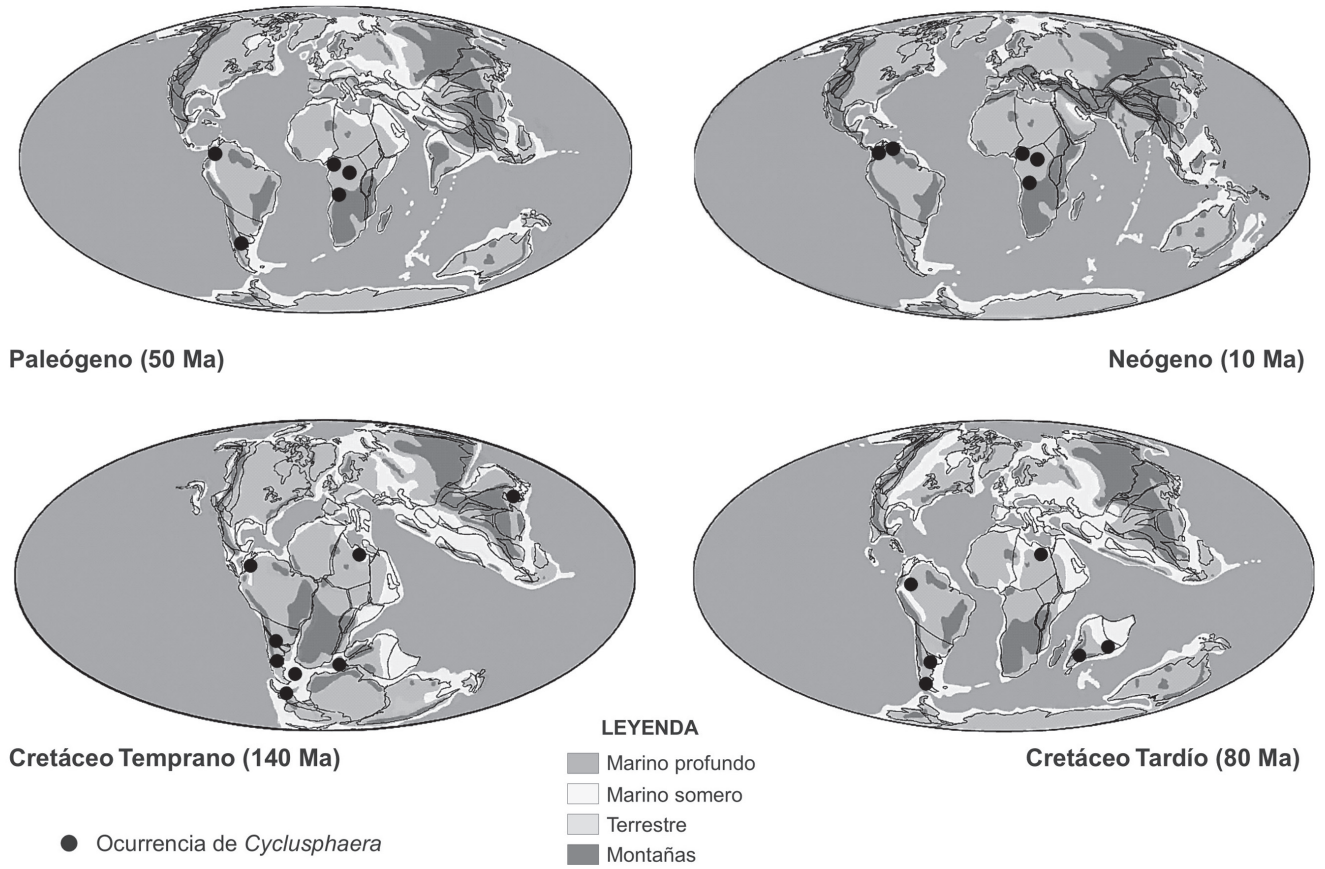


Figura 6. Distribución mundial de *Cyclusphaera* desde el Cretácico al Cenozóico (Palynodata Inc., 2008). Los mapas paleogeográficos son tomados de Scotese (1997). La localidad reportada para el Paleógeno de China no se encuentra localizada.

En Colombia se ha descrito recientemente una asociación de *Cyclusphaera* cf. *psilata, Interulobites triangularis, Classopolis, Callialasporites* y *Balmeiopsis limbatus* en depósitos del Cretácico inferior de la Cordillera Oriental (Formación Batá; Etayo-Serna *et al*. 2003). Esta corresponde a la localidad más septentrional donde se ha identificado *C. psilata*. *Cyclusphaera scabrata* tiene su primera ocurrencia en el Eoceno en las regiones del Catatumbo, Borde Llanero, sector norte de la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena (e.g. Jaramillo & Dilcher 2001, Pardo-Trujillo *et al.* 2003, Pardo-Trujillo 2004) y se extiende hasta el Mioceno (zona Ca 10.3 de Jaramillo & Rueda, 2004), de acuerdo con el estudio realizado por estos autores en varias secciones en el borde llanero (Jaramillo *et al.* 2006). En Venezuela Lorente (1986) menciona la presencia de formas muy semejantes a *Cyclusphaera* (incluida dentro de *Incertae sedis*, plate XXIII, figs. 16, 17), a lo largo de los depósitos del Neógeno de Venezuela.

Afinidad botánica de *Cyclusphaera*

Taylor *et al*. (1987) estudiaron varios ejemplares de *Cyclusphaera psilata* del Cretacico de Argentina usando un microscopio electrónico de barrido y señalan que estos granos poseen características morfológicas y estructurales tanto de angiospermas (e.g. apertura diporada y una estructura granular en la parte superior de la sexina semejante a una columela ordenada radialmente) como de gimnospermas (una nexina laminada y sin aperturas).

Del Fueyo y Archangelsky (2005), descubrieron, en depósitos del Aptiano (provincia de Santa Cruz, Argentina), polen comparable a *Cyclusphaera psilata* al interior de los microesporangios de una nueva especie de cono (*Alkastrobus peltatus*). Con base en criterios morfológicos de los esporangios y las semejanzas entre *Cyclusphaera, Balmeiopsis* y *Araucariacites,* los autores sugieren una afinidad con Araucariaceae. Aunque ya había sido sugerido por diferentes autores (e.g. Volkheimer & Sepúlveda, 1976), esta es la primera referencia en donde se establece una relación directa entre las coníferas y *Cyclusphaera*. Sin embargo, es necesario indicar que existen diferencias importantes en el rango bioestratigráfico y en la morfología de las especies de *Cyclusphaera* de Argentina y las del norte de Suramérica (Perú, Colombia y Venezuela). Por esta razón es necesario considerar la posibilidad de que puedan representar distintas entidades biológicas (véase además Savada, 1987). Un estudio de la morfología y ultraestructura de las diferentes especies al microscopio electrónico puede aportar información suplementaria para resolver este problema.

CONCLUSIONES

La relación establecida entre *Cyclusphaera* cf. *euribei* de la Formación Amagá y palinomorfos marinos se originó por una mala traducción de Schuler y Doubinger (1970) de la descripción original de Elsik (1966) para el Cretáceo del Perú. En los depósitos de la Formación La Paz y la Formación Amagá se hallan ejemplares de *Cyclusphaera* asociados exclusivamente a palinomorfos terrestres y detritos vegetales lo que está en concordancia con las observaciones de Elsik (1966).

Los especímenes de *Cyclusphaera* hallados en la Formación La Paz corresponden a la especie *C. scabrata* y puede diferenciarse de *C. euribei* con base en su diámetro ecuatorial. Esta especie posee su primera ocurrencia en el Eoceno de Colombia y se extiende hasta el Neógeno. Las especies de *Cyclusphaera* descritas en Argentina poseen un mayor engrosamiento ecuatorial de la pared y mayor diámetro ecuatorial que *C. scabrata*.

Cyclusphaera es un género registrado principalmente en Gondwana, con un rango

estratigráfico que va desde el Jurásico tardío al Neógeno. Recientemente se ha probado una relación botánica entre *C. psilata* y las coníferas. Sin embargo, un estudio morfológico detallado de las diferentes especies ayudará a establecer si hacen parte de la misma entidad biológica.

AGRADECIMIENTOS

AP: Gracias a la Universidad de Caldas (Manizales, Colombia) por el apoyo económico brindado. Al personal del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) por permitirme el estudio de las muestras de los núcleos del Río Sogamoso, especialmente a Fernando Muñoz y Enrique Olaya. A Emile ROCHE y Phillipe Steemans, (Universidad de Lieja, Bélgica), por su orientación durante el estudio del material de la Formación La Paz, el cual hizo parte de mi trabajo de PhD. Agradezco especialmente a Mirta Quatroccio del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (Argentina) por suministrarme diversos artículos sobre la palinología del Cretáceo de Argentina. CS: Este trabajo hizo parte del programa "Jóvenes Investigadores" de Colciencias, en convenio con el Instituto Colombiano del Petróleo ICP y la universidad EAFIT. Gracias al grupo de bioestratigrafía del ICP y al personal de la Universidad de EAFIT. Agradecemos los comentarios de dos revisores anónimos que ayudaron a mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

Archangelsky, S., Baldoni, A. Gamerro, J.C. & J. Seiler. 1983. Palinología Estratigráfica del Cretácico de Argentina Austral. II. Descripciones sistemáticas. Ameghiniana 20(3-4): 199-226.

Correa, L.G. & Silva, J.C., 1999. Estratigrafía y petrografía del Miembro Superior de la Formación Amagá en la sección El Cinco-Venecia-Quebrada la Sucia. Tesis Universidad EAFIT, Medellín. Inédito.

Del Fueyo, G.M. & Archangelsky, S., 2005. A new araucarian pollen cone with in situ *Cyclusphaera* Elsik from the Aptian of Patagonia, Argentina. Cretaceous Research 26: 757-768.

Elsik, W.C., 1966. New Sporomorph genera from the Upper Cretaceous of Perú. Pollen et Spores 8(3): 553-564.

Escobar, L.E., 1983. Estudio palinológico de la Formación Amagá. Boletín de Ciencias de la Tierra 7-8: 117-129.

Germeraad, J.H., Hopping, C.A. & Muller, J., 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. Review of Palaeobotany and Palynology 6: 189-348.

Guzmán, C.A., 1991. Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. Tesis M.Sc, Universidad Nacional, Medellín. Inédito.

Jaramillo, C. & Dilcher, D.L., 2001. Middle Paleogene palynology of central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. Palaeontographica B 285: 87-213.

Jaramillo, C. & Rueda, M., 2004. Impact of Biostratigraphy on Oil Exploration. III Convención Técnica Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo-ACGGP.

Lorente, M., 1986. Palynology and Palynofacies of the Upper Tertiary in Venezuela. J. Cramer, Berlín.

Morales, L.G. *et al.*, 1958. General Geology and Oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. In: L.G. Weeks (ed). Habitat of Oil. American Association of Petroleum Geologists-AAPG, Tulsa.

Palynodata Inc. 2008. Palynodata Datafile: 2006 version, with Introduction by J. M. White. Geological Survey of Canada Open File 5793. http://www.geopub.nrcan.gc.ca/moreinfo_e.php?id=225704. Abierto en abril de 2009.

Pardo, S., 1997. Estratigrafía y sedimentología de la Formación La Paz, Cerro La Paz, Valle Medio del Magdalena, Tesis Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Inédito.

Pardo-Trujillo, A., 2001. Estudio palinológico y palinofacial de la Formación La Paz (Eoceno del Valle Medio del Magdalena, Colombia). Resultados preliminares. Congress on tropical and sub-tropical palynology (America-Africa), Abstracts, La Habana (Cuba): 24.

Pardo-Trujillo, A., 2004. Paleocene-Eocene palynology and palynofacies from northeastern Colombia and western Venezuela, Ph.D. Thesis, Université de Liège, faculté de Sciences, Département de Géologie.

Pardo-Trujillo, A., Jaramillo, C.A. & Oboh-Ikuenobe, F., 2003. Paleogene palynostratigraphy of the eastern Middle Magdalena Valley, Colombia. Palynology 27: 151-174.

Rull, V., 2000. Ecostratigraphic study of Paleocene and early Eocene palynological cyclicity in northern South America. Palaios 15: 14-24.

Schuler, M. & Doubinger, J., 1970. Observations Palynologiques dans le Bassin D'Amaga (Colombie). Pollen et Spores 12(3): 429-450.

Scotese, C.R., 1997. Paleogeographic Atlas, PALEOMAP progress report 90-0497 Department of Geology, University of Texas, Arlington.

Sierra, G.M., Silva, J.C. & Correa, L.G., 2003. Estratigrafía secuencial de la Formación Amagá. Boletín Ciencias de la Tierra 15: 9-22.

Taylor, T.N., Zavada, M.S. & Archangelsky, S., 1987. The ultrastructure of *Cyclusphaera psilata* from the Cretaceous of Argentina. Grana 26: 74-80.

Volkheimer, W. & Sepúlveda, E., 1976. Biostratigraphische Bedeutung und mikrofloristische Assoziation von *Cyclusphaera psilata* n. sp., einer Leitform aus der Unterkreide des Neuquén Beckens (Argentinien), Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte 2: 97–108.

Wheeler, O.C. 1935. Tertiary stratigraphy of the Middle Magdalena Valley. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 87: 21-31.

Zavada, M.S. 1987. The occurrence of *Cyclusphaera* sp. in Southern Africa, VII simposio argentino de paleobotanica y palinología, Actas, pp. 101-105.

Zegarra, M. 1993. Estudio palinológico de la Formación Amagá en la cuenca de Sopetrán. Tesis Universidad Nacional de Colombia (Medellín). Facultad de Minas. Inédito.

Recibido: 14/06/2006
Aceptado: 08/05/2009