





EDITORIAL UNIVERSIDAD DE CALDAS

Palinología colombiana

métodos, aplicaciones y estado del conocimiento

Andrés Pardo Trujillo
Angelo Plata Torres
Clemencia Gómez González



Catalogación en la fuente, Biblioteca Universidad de Caldas

Pardo Trujillo, Andrés

Palinología colombiana: Métodos, aplicaciones y estado del conocimiento / Andrés Pardo Trujillo,
Angelo Plata Torres,

Clemencia Gómez Gonzáles. – Manizales: Universidad de Caldas, 2021.
234 p. : ils. – (Libros de Texto)

ISBN: 978-958-759-285-6

Palinología-Colombia/Paleobotánica/ Botánica-Colombia/ Polen/ Esporas/ Plata Torres, Angelo, coautor/
Gómez Gonzáles, Clemencia, coautora/Tit./ CDD 571.845 2 /P226

Reservados todos los derechos

© Universidad de Caldas

© Andrés Pardo Trujillo

ORCID: 0000-0001-9678-6818

© Angelo Plata Torres

ORCID: 0000-0001-8509-0567

© Clemencia Gómez González

ORCID: 0000-0002-3674-9369

Primera edición: 2021

Libros de investigación

ISBN: 978-958-759-285-6

ISBN pdf: 978-958-759-287-0

ISBN e-pub: 978-958-759-286-3

Editorial Universidad de Caldas

Calle 65 N.º 26-10

Manizales, Caldas –Colombia

<https://editorial.ucaldas.edu.co/>

Editor: Luis Miguel Gallego Sepúlveda

Coordinadora editorial: Ángela Patricia Jiménez Castro

Corrección de estilo: Jorge Iván Escobar

Diseño de colección: Luis Osorio Tejada

Diagramación de páginas: Natalia Aguirre Henao

Diseño de cubierta: Luis Osorio Tejada

Impreso y hecho en Colombia

Printed and made in Colombia

Todos los derechos reservados. Este libro se publica con fines académicos. Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta publicación, así como su circulación y registro en sistemas de recuperación de información, en medios existentes o por existir, sin autorización escrita de la Universidad de Caldas.

Universidad de Caldas | Vigilada Mineducación. Creada mediante Ordenanza Nro. 006 del 24 de mayo de 1943 y elevada a la categoría de universidad del orden nacional mediante Ley 34 de 1967. Acreditación institucional de alta calidad, 8 años: Resolución N.º 17202 del 24 de octubre de 2018, Mineducación.

Foto de cubierta: *Grimsdalea magnaclavata*, un espécimen de polen fósil con afinidad botánica a palmas, común en ambientes transicionales del Mioceno medio al Plioceno. La microfotografía fue tomada en el microscopio electrónico ambiental de barrido del laboratorio del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES), desde una muestra del Mioceno superior en un pozo perforado por la ANH en el Caribe colombiano. La imagen se intervino usando una técnica de coloreado digital en Photoshop por Angelo Plata.

CONTENIDO

Prologue	25
Introducción	29

Capítulo 1

Conceptos generales	31
Definición de palinología y análisis de polen	31
Tipo de materia orgánica y palinomorfos hallados en láminas palinológicas	32
Aplicaciones de la palinología	38
Estudios paleoecológicos y paleoambientales	38
Bioestratigrafía y biocronología	42
Estudio de mieles (melitopalinología)	42
Aeropalinología (alergias y cosechas)	45
Palinotaxonomía	47
Lluvia polínica	47
Palinología forense	47
Arqueopalinología	48
Ventajas y limitaciones del uso de la palinología en sus diferentes aplicaciones	48
Asociaciones, revistas y otros aspectos relacionados con palinología en el Trópico/América	49
Glosario	50

Capítulo 2

Producción, dispersión y preservación de los palinomorfos	51
Ciclos de vida de las plantas	51
Briófitas	52
Pteridófitas	52
Plantas con semilla (espermatofita)	54
Producción, dispersión, sedimentación y preservación de los palinomorfos terrestres	57
Tipos de ambientes que preservan la materia orgánica	65
Turberas	65
Lagos	66
Ríos, deltas, estuarios, llanuras mareales, albuferas	68
Suelos	68

Preservación del polen y las esporas	70
Evolución térmica de la materia orgánica	70

Capítulo 3

Colección y tratamiento de muestras para análisis palinológicos y otras técnicas de datación de sedimentos	73
Métodos de muestreo	73
Muestreo de rocas en afloramientos y pozos para estudios palinológicos	73
Muestreo en turbas y sedimentos	77
Muestreo en cuevas para estudios arqueológicos	78
Lluvia polínica actual para estudios ambientales del Cuaternario	79
Muestreo de botones florales para estudios botánicos	80
Transporte y almacenamiento de los núcleos de perforación obtenidos en turberas	81
Descripción de los núcleos y muestreo	81
Tratamiento químico de las muestras para palinología	84
Actividades en el tratamiento químico de las muestras	84
Almacenamiento de las muestras	84
Conteo de los palinomorfos para análisis estadísticos	92
Representación de los datos palinológicos	94
Dataciones radiométricas en depósitos sedimentarios	94
Carbono 14	96
Datación por el método de huellas de fisión	98
Datación por el método U/Pb en circones	98
Otros métodos	100

Capítulo 4

Bases para el estudio morfológico del polen y las esporas	103
Morfología del polen	105
Estructura de la pared	105
Agregación	108
La polaridad	108
Simetría	109
Forma del contorno	109
Tipos de aperturas	111
Ornamentación de la pared	115
Diferencias morfológicas entre el polen de gimnospermas y angiospermas	116
Morfología de las esporas	116
Forma externa (o "amb")	119

Polaridad y simetría	119
Estructuras superficiales haptofíticas	119
Estratificación de la pared	120
Modificaciones estructurales	123
Taxonomía y nomenclatura de polen y esporas	126
Presentación de los datos en estudios palinológicos	126
Tipos de diagramas polínicos	128
Diagrama acumulado	128
Diagrama compuesto	128
Histogramas individuales por taxón	128
Diagramas de influjo	129
Zonación de los diagramas	129

Capítulo 5

Palinología en Colombia	131
Precámbrico	137
Paleozoico	137
Cámbrico	137
Ordovícico	138
Silúrico	139
Devónico-Carbonífero	139
Pérmico	139
Mesozoico	141
Triásico y Jurásico	141
Cretácico	141
Cretácico Inferior	145
Cretácico Superior	148
Cenozóico	152
Paleógeno	154
Neógeno	166
Cuaternario	174
Algunas consideraciones finales	184
Paleopalinología y palinología del Cuaternario	184
Desarrollo de la palinología en el país	184

Bibliografía	187
---------------------	------------

Anexos	215
---------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Microfotografía de la materia orgánica recuperada de un sedimento del Mioceno de la Cuenca Sinú-San Jacinto, (Caribe colombiano). Se observan diferentes tipos de fragmentos estructurados (fitoclastos) y polen de <i>Zonocostites</i> (Rhizophoraceae), típico de vegetación de manglar. Su abundancia sugiere un ambiente de depósito litoral.....	33
Figura 1.2. Diferentes tipos de palinofragmentos hallados en depósitos de la cuenca de los Llanos Orientales (Formación Chipaque del cretáceo). A. Materia orgánica amorfa; B. Materia orgánica amorfa en luz normal y fluorescente; C. Resina, D. Pellet fecal; E. Cutícula; F. Fitoclasto no estructurado; G. Fitoclasto opaco equidimensional; H. Fitoclasto opaco acicular; I. Fitoclasto amorfizado bioestructurado; J. Fitoclasto amorfizado no bioestructurado; K-L. Fitoclastos translúcidos estructurados; M. Fitoclasto translúcido bioestructurado tipo escalariforme.....	34
Figura 1.3. Tipos de palinomorfos. Polen: A. <i>Bombacacidites baculatus</i> ; B. <i>Jandufouria Minor</i> ; espora: C. <i>Psilatriteles</i> sp.; D. <i>Polypodiisporites speciosus</i> ; hongos: E. Hifa de hongo; F. Espora de hongo; algas, G. <i>Botryococcus</i> spp., H. <i>Pediastrum</i> spp., I. <i>Concentricystes</i> spp., helecho acuático: J. <i>Azolla</i> spp.; dinoflagelados: K. <i>Dinogimnium microgranulosum</i> , L. <i>Spiniferites</i> sp. M. <i>Cerodinium diebeli</i> ; acritarcos: N. <i>Striatotheca</i> sp. O. <i>Poligonium</i> sp.; revestimiento orgánico de foraminíferos: P. foraminífero helicoidal, Q. foraminífero lineal; zooclastos: R. Escolecodontos, S. Quitinozoos, T. Huevo de copépodo-crustáceo, U. Escama de élitro de insecto.	37
Figura 1.4. Aplicaciones de la palinología en paleoecología y clima (ver la explicación en el texto).	39
Figura 1.5. Estudio paleoecológico y paleoambiental en un depósito del Cuaternario realizado a partir de la palinología	41
Figura 1.6. A y B, aplicación de la palinoestratigrafía en la exploración de hidrocarburos....	43
Figura 1.7. Esquema de la zonación palinológica para el Cenozoico del norte de Suramérica-Colombia, usando únicamente los rangos estratigráficos de las especies más importantes de polen y esporas.....	44
Figura 1.8. Aplicación de la palinología en la identificación de las especies que causan polinosis (E: enero; F: febrero; M: Marzo, etc...)	46
Figura 2.1. Ciclo de vida de una briofita (Polytrichaceae)	53
Figura 2.2. Ciclo de vida de un helecho isósporo, esporofito de <i>Pleopeltis macrocarpa</i> (Polypodiaceae)	53
Figura 2.3. A. Ciclo de vida de una gimnosperma, <i>Cupressus lusitanica</i> (Cupressaceae). B. Ciclo de vida de una angiosperma, <i>Senna tora</i> (Fabaceae).....	56
Figura 2.4. Modelo actual de producción, dispersión, sedimentación, preservación e interpretación de polen	58
Figura 2.5. Escala granulométrica de Wentworth con los rangos de tamaños polen y esporas.....	60

Figura 2.6. Curva teórica de acumulación de polen desde un punto fuente con cierta elevación y bajo condiciones meteorológicas promedio.....	60
Figura 2.7. Distribución de diferentes tipos de palinomorfos terrestres y marinos en el delta del río Orinoco.....	62
Figura 2.8. Distribución porcentual de los principales tipos de materia orgánica hallados en los sedimentos recientes de la bahía de Tumaco (Pacífico colombiano).....	65
Figura 2.9. Comportamiento del polen en el perfil de una turbera	65
Figura 2.10. Comportamiento del polen en los lagos	67
Figura 2.11. Ambientes de depósito fluviales y costeros en donde se pueden acumular sedimentos finos ricos en materia orgánica (flecha roja). En verde: áreas emergidas; azul claro: agua dulce o salobre; azul oscuro: agua marina. A. Ciénagas asociadas a la llanura de inundación de un río (río Magdalena, Colombia); B. Lagos y pantanos en la llanura de un delta dominado por procesos fluviales (río Mississippi, USA), C. Zonas de desbordamiento en una llanura de un delta dominado por procesos fluviales y mareas (río Mahakam, Borneo), D. Zonas pantanosas en un delta dominado por las mareas (río Fly, Papua, Nueva Guinea), D. Laguna costera de un delta dominado por mareas y olas (río Copper, Alaska); E Llanura de un delta dominado por olas (delta de Pao, Brasil).....	69
Figura 2.12. Campos teóricos de estabilidad de pH-Eh para la preservación de los tipos más comunes de fósiles terrestres en suelos.....	69
Figura 2.13. Tipo de materia orgánica, carbones e hidrocarburos con el incremento de la temperatura. Los cambios en la coloración de las paredes de las esporas permiten establecer el índice de color de esporas (ICE) y su equivalencia con el índice de reflectancia de la vitrinita (Ro). Los valores de ICE se estiman con la ayuda de un microscopio de luz transmitida.....	71
Figura 2.14. Cambios de coloración, fluorescencia y transformación de partículas de materia orgánica mediante la técnica de hidropirólisis. El índice de coloración de esporas (ICE) usa como referencia la escala de Collins (Robertson Group, 1991). Ro, Reflectancia de la vitrinita. °C/H, grados centígrados/horas	72
Figura 3.1. Descripción y muestreo de rocas en afloramientos. Izquierda. Medida del espesor de los estratos con un bastón de Jacob en afloramientos del Mioceno de la cuenca del Patía. Derecha: Geólogo describiendo las características de las rocas del Mioceno de la isla Gorgona (Pacífico colombiano). Las letras corresponden a los diferentes tipos de materiales sedimentarios, H: Facies heterolíticas, Cm ³ : Conglomerados, Am: Areniscas masivas, Ap: Areniscas con laminación paralela	74
Figura 3.2. Levantamiento de una columna estratigráfica y toma de muestras en un afloramiento de rocas sedimentarias del Mioceno del Pacífico colombiano usando cuerdas de seguridad (La Chorrera, bahía de Tumaco). Esquema de columna estratigráfica (gris: lodolitas; amarillo: arenitas). Cada cuadro en la escala corresponde a 50 cm.....	75
Figura 3.3. Toma de muestras en un pozo. Izquierda, taladro de perforación; derecha, descripción y muestreo de núcleos en la antigua Litoteca Nacional (Instituto Colombiano de Petróleo, Piedecuesta, Santander).....	76
Figura 3.4. Izquierda, muestreo de turbera con sonda rusa; Laguna Seca, Parque Nacional Natural Chingaza. Derecha, perforación en el humedal Medellincito (Mistrató, cordillera Occidental) y aspecto del núcleo recuperado	77

Figura 3.5. Aparatos empleados para muestrear turbas y sedimentos. A. Perforador Ruso; se muestra en vista de planta como se obtiene el núcleo de turba con el giro de la cámara de sedimento el cual es retenido con la ayuda de la placa de recubrimiento B. Corazonador Livingstone.....	78
Figura 3.6. Detalle de muestreo de sedimentos, cueva de la Buena Pinta, yacimiento Arqueopaleontológico Pinilla del Valle (Madrid). En la imagen izquierda se muestra el detalle de toma de una muestra y en la imagen derecha se observan los diferentes niveles en donde fueron tomados sedimentos, con intervalos regulares de muestreo	79
Figura 3.7. Muestreo de Briofitos, importantes repositorios de lluvia polínica actual	80
Figura 3.8. Izquierda, muestreo y conservación de botones florales. Derecha, separación de anteras.....	81
Figura 3.9. Proceso de preservación y transporte del material palinológico obtenido en una turbera. a. núcleo de sedimento, b. trasvase del núcleo a un tubo de PVC, señalando la base y el techo, c. protección con papel aluminio, d. almacenamiento en una caja para transporte con su respectiva etiqueta, e. transporte.....	82
Figura 3.10. Núcleo perforado en el humedal El Triunfo (parque nacional Los Nevados), donde se aprecian intercalaciones de turba con niveles de cenizas volcánicas (base a la derecha de la fotografía). B-C. Formato estándar de descripción y representación de la columna en un programa de dibujo vectorial.	83
Figura 3.11. Método de preparación de rocas sedimentarias para extraer muestras palinológicas	85
Figura 3.12. Método de preparación de carbones para extraer muestras palinológicas.....	88
Figura 3.13. Método de preparación de paleosuelos para extraer muestras palinológicas..	89
Figura 3.14. Método de preparación de botones florales para extraer muestras palinológicas	90
Figura 3.15. Método de preparación de briofitos para extraer muestras palinológicas	91
Figura 3.16. Formato recomendado para marcar las láminas palinológicas antes de montar el vidrio cubreobjetos y etiquetas para los tubos de almacenamiento de los residuos orgánicos.....	92
Figura 3.17. Gráfico de Rittenhouse. Permite calcular la desviación estándar de una especie de polen teniendo en cuenta el número de granos contados y su frecuencia en porcentaje. La línea roja punteada indica que en una muestra en donde se contaron 300 palinomorfos (<i>abcisa</i>), una especie que represente el 2 % del total de la asociación tendría una desviación estándar de un poco más de 20	93
Figura 3.18. Método de conteo de granos de polen.....	95
Figura 3.19. Curva de decaimiento radioactivo en un mineral que contiene isótopos inestables. Nótese que en cada vida media el porcentaje de isotopos padre se reduce a la mitad con respecto a la anterior	95
Figura 3.20. Rango de temperatura de cierre en diferentes métodos radiométricos y tipos de minerales. Amarillo: 0-~400° C; Naranja: ~300-600° C; Rojo: ~500-1000° C.....	96
Figura 3.21. Generación constante de Carbono 14 en la atmósfera superior por el bombardeo de neutrones, estos convierten átomos de nitrógeno en Carbono 14 por la expulsión de un protón. Parte del Carbono 14 puede ser incorporado en organismos cuyos remanentes pueden ser datados	97
Figura 3.22. Curva de decaimiento radioactivo del carbono 14. Las edades indicadas corresponden a los periodos de tiempo que transcurren en cada vida media	97

Figura 3.23. Vista microscópica de las trazas de fisión en un cristal de apatito. Cada huella es el resultado del daño producido por la fisión espontánea de un átomo de ²³⁸ U. El número de huellas por unidad de área es proporcional a la edad del mineral.....	99
Figura 3.24. Izquierda: Distribución de edad U/Pb de 93 circones detríticos obtenidos en un nivel de arenisca del Pacífico colombiano (pozo Majagua-1). Derecha fotos de catodoluminiscencia donde se observa la forma y estructura de algunos de los cristales de circón. Los agujeros representan el sitio donde se realizó la datación por ablación laser. Los colores representan la posible fuente de los circones para diferentes intervalos de edad. La población más joven de circones, en este caso 8,4 Ma representa la edad máxima que puede tener la muestra. Los análisis bioestratigráficos de foraminíferos y nanofósiles calcáreos indican que esta edad es muy cercana a la de la sedimentación.....	99
Figura 3.25. Rangos de edad de diferentes métodos de datación empleados en los depósitos del Cuaternario.....	101
Figura 4.1. Relaciones filogenéticas de las plantas vasculares y resumen de la distribución estratigráfica de los principales grupos. En blanco se encuentran los grupos que producen esporas y en diferentes tonos de gris los que producen polen.	104
Figura 4.2. Comparación de las nomenclaturas de Punt et al. (1994); Erdtman (1986) y Faegri y Iversen (1989) de los componentes de la exina. Diferentes tipos de estructuras presentes en la pared del polen de angiospermas. a: intactado o atectado (sin tectum); b: semitectado, con el tectum desarrollado parcialmente; c: tectado-perforado con pequeñas aperturas; d: tectado, con el tectum desarrollado por completo sobre la columela	106
Figura 4.3. Nomenclatura basada en la posición de los elementos morfológicos en la tétrade. La figura ilustra la posición de las aperturas (en este caso tres colpos dibujados solo en un individuo) con respecto al eje polar y el plano ecuatorial, a la derecha una tétrade de Ericaceae	107
Figura 4.4. Tipos de agregación más común de granos de polen en fase de desarrollo o en dispersión. Mónade (A), polen reciente de Melastomataceae; díada (B), polen fósil <i>Dicheiropollis etruscus</i> ; tétrade (C-E), polen reciente de Ericaceae; tétrade lineal; políade (D) polen reciente de Leguminosae Mimosoideae.....	107
Figura 4.5. Tipos de polaridad. Apolar (A), <i>Multiporopollenites pauciporatus</i> (Chenopodiaceae); anisopolar- heteropolar (B), <i>Monoporopollenites</i> sp. (Poaceae); isopolar (C), <i>Retitricolpites simplex</i> (Sapotaceae).....	108
Figura 4.6. Tipos de simetría en granos de polen. Asimétrico (A), <i>Magnaperiporites spinosus</i> (Convolvulaceae); bilateral (B), <i>Retidiporites magdalenensis</i> (Proteaceae/ Bromeliaceae); radial (C), <i>Jandoufouria minor</i> (Malvaceae). Las líneas punteadas representan los planos de simetría	109
Figura 4.7. Términos empleados para describir la forma externa de granos de polen y esporas en vista polar y ecuatorial.....	110
Figura 4.8. Tipos de aperturas comunes en los granos de polen	111
Figura 4.9. Definición de algunos tipos de aperturas en los granos de polen y de algunos elementos morfológicos relacionados. En la vista de perfil la capa de color gris oscuro corresponde a la nexina y la gris claro a la sexina. El vestíbulo y atrio son espacios vacíos representados por el color blanco.....	113
Figura 4.10. Diferentes tipos de ornamentaciones presentes en los granos de polen y la manera de visualizarlos con la ayuda de un microscopio óptico	115

Figura 4.11. A. Tétrade con disposición tetraédrica en esporas con simetría radial; B: Tétrade tetragonal en esporas con simetría bilateral; C: Espora trilete (vista proximal); D: Espora monolete (vista proximal).....	119
Figura 4.12. Diferentes tipos de contornos (amb) presentes en las esporas. A. Circular; B. Subtriangular convexa; C. Triangular; D. Subtriangular cóncava; E. Subtriangular con lados cóncavos y ápices expandidos lateralmente; F. Elíptica-ovalada	119
Figura 4.13. A. Términos empleados para describir esporas triletes y monoletes en vista proximal. B. Espora trilete en vista ecuatorial con sus diferentes partes; C. Espora monolete en vista ecuatorial con algunos de sus elementos (laesura no indicada).	120
Figura 4.14. Nomenclatura de las capas de la pared en esporas fósiles y características de su estructura interna.....	121
Figura 4.15. Corte transversal de dos esporas con cavas (flechas)	121
Figura 4.16. Nomenclatura de las diferentes características superficiales presentes en la pared de las esporas. A. Laevigada; B. Escabrada; C. Perforada; D. Foveolada; E. Vermiculada; F. Granulada; G. Verrugada; H. Pilada; I. Baculada; J. Conada; K. Equinada; L. Cristada (cristate); M. Rugulada; N. Reticulada; O. Cicatricosa; P. Canaliculada	123
Figura 4.17. Modificaciones estructurales de la pared de ciertas esporas. A. Cingulum (arriba: vista polar; abajo: vista ecuatorial); B. Zona (arriba: vista ecuatorial; abajo: vista polar); C. Pátina (arriba: vista ecuatorial; abajo: vista polar); D. Aurícula o valva (vista polar); E. Torus (vista polar); F. Kyrtocono (vista polar); G. Corona (vista polar).	124
Figura 4.18. Ejemplo de un diagrama polínico del humedal El Triunfo (Parque Nacional Natural Los Nevados).....	127
Figura 4.19. Diferentes tipos de diagramas usados para graficar los datos palinológicos. A. Diagrama acumulado; B. Diagrama compuesto; C. Histogramas individuales por taxón ...	129
Figura 5.1. Mapa de cuencas sedimentarias y algunas de las principales fallas de Colombia (Barrero et al., 2007). Los colores representan las cuencas agrupadas por regiones mencionadas en el texto y en las figuras 5.2 y 5.3.....	133
Figura 5.2. Distribución temporal de los estudios palinológicos publicados para el Precámbrico-Paleozoico en Colombia. Las regiones mencionadas en la carta se encuentran ubicadas en el mapa con diferentes colores	134
Figura 5.3. Distribución temporal de los estudios palinológicos publicados para el Cretácico y Cenozoico en Colombia. Las regiones mencionadas en la carta se encuentran ubicadas en el mapa con diferentes colores	135
Figura 5.4. Zonaciones palinológicas empleadas en el norte de Suramérica.....	136
Figura 5.5. Mapa de cuencas sedimentarias de Colombia, en donde se indican los sitios en donde se han realizado publicaciones palinológicas del Precámbrico y Paleozoico	140
Figura 5.6. Paleogeografía de la esquina NW de Suramérica durante el Cretácico.....	142
Figura 5.7. Mapa de cuencas sedimentarias de Colombia en donde se indican los sitios en donde se han realizado publicaciones palinológicas del Cretácico. COC: Cordillera Occidental; CC: Cordillera Central; COR: Cordillera Oriental.....	143
Figura 5.8. Zonación palinológica propuesta para el Cretáceo de Colombia.....	144
Figura 5.9. Diagrama Palmas-Angiospermas-Helechos (PAF, por sus siglas en inglés). Muestra el porcentaje relativo de grupos seleccionados de palinomorfos de los depósitos de carbón del Cretáceo superior-Mioceno de Colombia. Las letras representan las zonas palinológicas propuestas por el autor.....	155

Figura 5.10. Zonación palinológica propuesta para el Cenozoico de los Llanos Orientales y el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental de Colombia. FAD: primera aparición, LAD: última aparición de algunas de las especies seleccionadas para definir las biozonas.....	156
Figura 5.11. Paleogeografía de la esquina NW de Suramérica durante el Eoceno-Oligoceno.....	158
Figura 5.12. Mapa de localización de las investigaciones palinológicas del Paleógeno publicadas en Colombia	159
Figura 5.13. Paleogeografía de la esquina NW de Suramérica durante Neógeno	167
Figura 5.14. Mapa de localización de los lugares donde se han desarrollado investigaciones palinológicas del Neógeno publicadas en Colombia.....	168
Figura 5.15. Mapa de localización de los lugares donde se han desarrollado investigaciones palinológicas del Cuaternario (I) publicadas en Colombia.....	179
Figura 5.16. Mapa de localización de los lugares donde se han desarrollado investigaciones palinológicas del Cuaternario (II) publicadas en Colombia.....	180
Figura 5.17. Mapa de localización de los lugares donde se han desarrollado investigaciones palinológicas del Cuaternario (III) publicadas en Colombia.....	181

LISTA DE PLANCHAS

Plancha 4.1. Tipos de aperturas de los granos de polen: Inaperturado: *Clavainaperturites microclavatus* (fósil), afinidad botánica Chloranthaceae, *Hedyosmum* sp.; monoporado: *Monoporopollenites annulatus* (fósil), afinidad botánica Poaceae; diporado: Onagraceae, *Fuchsia* sp. (actual); triporado: *Corsinipollenites psilatus* (fósil), afinidad botánica Onagraceae, *Ludwigia* sp.; estefanoporado: *Retistephanoporites crassiannulatus* (fósil), afinidad botánica Malvaceae, *Quararibea* sp.; periporado: *Multiporopollenites pauciporatus* (fósil), afinidad botánica Chenopodiaceae; monocolpado: *Psilamonocolpites* sp. (fósil), afinidad botánica Arecaceae; dicolpado: *Dicolpopollenites* sp. (fósil), sin afinidad botánica conocida; tricolpado: *Retitricolpites lorentae* (fósil), afinidad botánica Malvaceae, *Bombax* sp.; tetracolpado: *Catostemma* sp. (fósil), afinidad botánica Malvaceae; estefanocolpado: *Jandoufouria minor* (fósil), afinidad botánica Malvaceae, *Ctenolophonidites suigeneris* (fósil), afinidad botánica Apocynaceae, *Geissospermum* sp; tricolporado: Euphorbiaceae, *Euphorbia pulcherrima* (actual); estefanocolporado: *Psilastephanocolporites fissilis* (fósil), afinidad botánica Polygalaceae, *Polygala* sp, *Psilastephanocolporites* sp. (fósil), sin afinidad botánica conocida..... 112

Plancha 4.2. Aperturas especiales: Endocíngulo: *Stephanocolpites costatus* (fósil), afinidad botánica Apocynaceae; espiroaperturado: Acanthaceae, *Thumbergia alata* (actual); fenestrado-lofado: Asteraceae *Sonchus oleraceus* (actual); longaperturado: *Longapertites marginatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; parasyncolpado: Myrtaceae (actual), *Syndemicolpites typicus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; proxaperturado: *Proxapertites operculatus* (fósil), afinidad botánica Araceae, *P. psilatus* (fósil), afinidad botánica Araceae; syncolpado: *Syncolporites marginatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; tricotomosulcado: *Luminidites colombianensis* (fósil), afinidad botánica Arecaceae, *Phytelephas macrocarpa*..... 114

Plancha 4.3. Tipos de esculturas en los granos de polen: Baculado: *Spinizonocolpites baculatus* (fósil), afinidad botánica Arecaceae; clavado: *Clavamonocolpites macrogemmatus* (fósil), afinidad botánica Arecaceae; echinado: *Echitricolporites spinosus* (fósil), afinidad botánica Asteraceae; escabrado: *Scabratricolporites planetensis* (fósil), sin afinidad botánica conocida; estriado: *Striatopollis catatumbus* (fósil), afinidad botánica Leguminosae *Macrolobium angustifolium* - *Crudia* sp.; fosulado: *Foveotricolporites fossulatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; foveolado: *Foveotricolpites perforatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; gemado: *Gemmamonocolpites perfectus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; microperforado: *Perfotricolpites digitatus* (fósil), Convolvulaceae *Merreria* sp.; microreticulatus: *Retitricolpites microreticulatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; psilado: *Monoporopollenites annulatus* (fósil), afinidad botánica Poaceae; reticulado: *Bombacacidites araracuarensis* (fósil), afinidad botánica Malvaceae *Ceiba* sp.; rugulado: *Rugotricolpites intensus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; verrugado: *Verruperiporites denseverrucatus* (fósil); sin afinidad botánica conocida..... 117

Plancha 4.4. Estructuras especiales: Anulo: *Corsinipollenites psilatus* (fósil), afinidad botánica Onagraceae; arcos: *Alnipollenites* sp. (fósil), afinidad botánica Betulaceae *Alnus* sp.; areolas: *Multiareolites formosus* (fósil), afinidad botánica Acanthaceae *Justicia* sp.; atrio: Myricaceae *Myrica* sp. (actual); Costa-costilla: *Retitricolporites kaarsii* (fósil), afinidad botánica Euphorbiaceae *Dalechampia* sp., *Zonocostites ramonae* (fósil), afinidad botánica Rhizophoraceae *Rhizophora* sp.; eláteres: *Elaterosporites klaszii* (fósil), sin afinidad botánica conocida; margo: *Psilatricolporites marginatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida, *Margocolporites vanwijhei* (fósil), afinidad botánica Leguminosae *Caesalpinia bonducella*; opérculo: *Ranunculacidites operculatus* (fósil), afinidad botánica Euphorbiaceae *Alchornea* sp.; patrón croton: *Crotonidaepollenites reticulatus* (fósil), afinidad botánica Euphorbiaceae *Croton* sp.; plicas: *Ephedripites torosus* (fósil), afinidad botánica Ephedraceae, *Ephedripites regularis* (fósil), afinidad botánica Gnetales; sacos aeríferos, *Podocarpidites* sp. afinidad botánica Podocarpaceae, *Podocarpus* sp.; vestíbulo: Betulaceae *Betula* sp. (actual)..... 118

Plancha 4.5. Tipos de esculturas en esporas: Baculada: *Cicatricosisporites baculatus* (fósil), afinidad botánica Anemiaceae *Anemia phyllitidis*; cicatricosada: *Cicatricosisporites eocenicus* (fósil), afinidad botánica Schizaeaceae, *Cicatricosisporites dorogensis* (fósil), afinidad botánica Anemiaceae *Anemia* sp. *Mohria* sp.; conada: *Polypodiisporites echinatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; cristada: *Cicatricosisporites cristatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; escabrada: *Scabratriletes granularis* (fósil), sin afinidad botánica conocida; espinosa: *Echitriletes acanthotriletoides* (fósil), sin afinidad botánica conocida; estriada: *Striatriletes saccolomoides* (fósil), sin afinidad botánica conocida; foveolada: *Foveotriletes ornatus* (fósil), afinidad botánica Lycopodiaceae *Huperzia crassa*; granulada: *Laevigatosporites granulatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; laevigada: *Laevigatosporites tibuensis* (fósil), sin afinidad botánica conocida; pilada: *Baculatisporites* sp.1 Jaramillo y Dilcher, 2001 (fósil), sin afinidad botánica conocida; reticulado: *Retitriletes altimuratus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; rugulada: *Rugulatisporites maculosus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; vermiculada: *Nijssenosporites fossulatus* (fósil), afinidad botánica Pteridaceae *Pytirogramma* sp.; verrugada: *Verrucatotriletes etayoi* (fósil), sin afinidad botánica conocida. 122

Plancha 4.6. Estructuras especiales en las esporas: Agujeros en la escútila: *Kuylisporites waterbolkii* (fósil), afinidad botánica Cyatheaceae *Hemitelia* sp.-*Cnemidaria* sp.; aurícula o valva: *Auritulinasporites* sp. (fósil) sin afinidad botánica conocida; cíngulo: *Cingulatisporites laevigatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; escútila: *Psilatriletes lobatus* (fósil), sin afinidad botánica conocida; pátina: *Nijssenosporites fossulatus* (fósil), afinidad botánica Pteridaceae *Pytirogramma* sp.; perisporium-perina: *Perinomonoletes* sp. (fósil), sin afinidad botánica conocida; torus-kirtomo: *Cyatheacidites annulatus* (fósil), afinidad botánica Dicksoniaceae, *Lophosoria cuadripinnata*, *Psilatriletes peruanus* (fósil), Pteridaceae *Pteris rangiferina*; zona: *Zlavisporis blanensis* (fósil), sin afinidad botánica conocida. 125

Plancha 5.1a. Palinomorfos del Berriasiano-Albiano, reportados para Colombia. fotografías tomadas en muestras de la Cordillera Oriental, Secciones Quebrada Lisgaura, vía vereda El Hato y vía San Andrés-Málaga, Formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente; Sección Quebrada San Antonio, Formación Une, y los pozos ANH-CON06-1X, ANH-CON07-1X; y la Cuenca Cesar-Ranchería, con los pozos ANH-CR-Montecarlo-1X; ANH-CR- El Cerro -1X, perforados por la ANH. La barra negra representa 20µm. Esporas: 1. *Aequitriradites* sp. Helby et al. 1987; 2. *Appendicisporites problematicus* (Burger) Singh, 1971; 3. *Cicatricosisporites venustus* Deak, 1963; 4. *Deltoidospora* sp. Jan du Chene et al. 1978; 5. *Dictyophyllidites* sp. Couper, 1958; 6. *Gleicheniidites apilobatus* Brenner, 1963; 7.

Gleicheniidites aptianus Llorens, 2008; 8. *Echinatisporis varispinosus* (Pocock) Srivastava, 1975; 9. *Impardecispora trioreticulosa* (Cookson and Dettmann) Venkatachala, Kar and Raza 1969; 10. *Microfoveolatosporites skottsbergii* (Selling, 1946) Srivastava, 1971; 11. *Verrucosisporites rotundus* Singh, 1964. Polen: 12-13. *Afropollis jardinus* (Brenner, 1968) Doyle, Jardine and Doerekamp, 1982; 14. *Alisporites* spp. Daugherty, 1941; 15-16. *Bennettitaepollenites* sp. Thiergart, 1949; 17. *Brenneripollis* sp. Ward, 1989; 18-19. *Classopollis classoides* (Pflug, 1953) Pocock and Jansonius, 1961; 20-22. *Classopollis* sp. Brenner and Bickoff, 1992; 23-24. *Dicheiopollis etruscus* Trevisan, 1971; 25. *Callialasporites dampieri* (Balme) Dev, 1961; 26. *Callialasporites trilobatus* (Balme) Dev, 1961; 27-28. *Elaterocolpites castelaini* (Jardine and Magloire, 1965) Jardine, 1967; 29-32. *Elaterosporites klaszii* (Jardine and Magloire, 1965) Jardine, 1967; 33. *Ephedripites* cf. *Jansonii* (Pocock, 1964) Muller, 1968; 34. *Ephedripites* aff. *Regularis* Azema and Boltenhagen, 1974; 35. *Ephedripites torosus* Madler, 1964; 36. *Echisetosporites irregularis* (Herngreen 1973) de Lima 1980; 37. *Vitreisporites pallidus* (Reissinger) Brenner, 1963. 146

Plancha 5.1b. Dinoflagelados: 1-2. *Circulodinium distinctum* (Deflandre and Cookson, 1955) Jansonius, 1986; 3. *Cribroperidinium muderongense* (Cookson and Eisenack, 1958) Davey, 1969; 4-5. *Microdinium* sp. Helby et al. 1987; 6-7. *Muderongia endovata* Riding, 2000; 8-9. *Muderongia perforata* Alberti, 1961; 10. *Oligosphaeridium complex* (White, 1842) Davey and Williams, 1966; 11-12. *Oligosphaeridium pulcherrimum* (Deflandre and Cookson, 1955) Davey and Williams, 1966; 13. *Oligosphaeridium totum* Brideaux, 1971; 14-15. *Pseudoceratium securigerum* Davey and Verdier, 1974; 16-20. *Subtilisphaera* grupo (Incluye *S. senegalensis* Jain and Millepied, 1973; *S. Pirnaensis* (Alberti, 1959) Jain and Millepied, 1973); 21. *Tanyosphaeridium variecalamum* Davey and Williams, 1966. 147

Plancha 5.2a. Palinomorfos del Cretácico tardío, Cenomaniano-Maastrichtiano, reportados para Colombia. fotografías originales tomadas en muestras de la cuenca Valle Superior del Magdalena (Pozo Olini); cuenca Cordillera Oriental (Sección Quebrada san Antonio y Pozo ANH-CON06-ST-S); y la cuenca Cesar-Rancheria con los pozos ANH-La Loma-1; perforados por la ANH. La barra negra representa 20µm. Esporas: 1. *Ariadnaesporites spinosus* Davey and Williams, 1966; 2. *Echitriteles intercolensis* Jaramillo et al. 2010; 3. *Foveotriteles margaritae* (van der Hammen, 1954) Germeraad et al. 1968; 4. *Gabonisporis vigorouxii* Boltenhagen, 1967; 5. *Hamulatisporis caperatus* (van Hoeken-Klinkenberg, 1964) Schrank 1994; 6. *Scabratriteles granularis* Jaramillo et al. 2010; 7. *Verrutriteles virueloides* Jaramillo et al. 2007; 8. *Zlivisporis blanensis* Pacltova, 1961. Polen: 9. *Araucariacites australis* Cookson, 1947; 10. *Bacumorphomonocolpites tausae* Sole de Porta, 1971; 11. *Buttinia andreevi* Boltenhagen, 1967; 12. *Clavatipollenites spheroidites* (Jardine and Magloire) Schrank, 2001; 13. *Colombipollis tropicalis* Sarmiento, 1992; 14. *Crusafontites grandiosus* Solé de Porta, 1971; 15-16. *Droseridites senonicus* Jardine and Magloire, 1965; 17. *Duplotriporites ariani* Sarmiento, 1992; 18-19. *Echimonocolpites protofranciscoi* Sarmiento, 1992; 20. *Echitriporites suescae* (van der Hammen, 1954) Cardenas, de la Parra and Espinoza-Campusano, 2019; 21. *Echitriporites trianguliformis* van Hoeken Klinkenberg, 1964; 22. *Echinoidites problematicus* Gonzalez, 1967; 23. *Periretisyncolpites giganteus* Kieser and Jan du Chene, 1979; 24. *Proteacidites dehaani* Germeraad et al. 1968; 25. *Proxapertites sulcatus* Jaramillo et al. 2010; 26. *Proxapertites verrucatus* Sarmiento, 1992; 27. *Spinizonocolpites baculatus* Muller, 1968; 28. *Stephanocolpites costatus* van der Hammen, 1954; 29. *Syndemicolpites typicus* van Hoeken-Klinkenberg, 1964; 30. *Syncolporites lisamae* van der Hammen, 1954; 31. *Tetradites umirensis* van der Hammen, 1954. 149

Plancha 5.2b. Dinoflagelados: 1. *Alisogymnium euclaense* (Cookson and Eisenack 1970) Lentin and Vozzhennikova, 1990; 2. *Andalusiella gabonensis* (Stover and Evitt, 1978) Wrenn and Hart, 1988; 3. *Andalusiella mauthei* Riegel 1974, Emend. Riegel and Sarjeant, 1982, Emend. Masare et al. 1996; 4. *Andalusiella romboides* (Boltenhagen 1977) Lentin and Williams, 1980, Emend. Masare et al. 1996; 5. *Canningia senonica* Clarke and Verdier, 1967; 6-7. *Cerodinium diebelii* (Alberti, 1959b) Lentin and Williams, 1987; 8. *Cerodinium granulostriatum* (Jain and Millepied, 1973) Lentin and Williams, 1987; 9. *Cerodinium pannuceum* (Stanley, 1965) Lentin and Williams, 1987; 10. *Circulodinium distinctum* (Deflandre and Cookson, 1955) Jansonius, 1986; 11. *Cordosphaeridium fribrospinosum* Davey and Williams, 1966. Emend. Davey, 1969; 12. *Coronifera oceanica* Cookson and Eisenack, 1958, Emend. May, 1980; 13. *Dinogymnium acuminatum* Evitt et al. 1967; 14. *Dinogymnium digitus* (Deflandre 1935) Evitt et al. 1967; 15. *Dinogymnium lamarense* Jaramillo and Yepes 1994; 16. *Dinogymnium microgranulosum* Clarke and Verdier, 1967; 17. *Dinogymnium undulosum* Cookson and Eisenack, 1970; 18. *Dinogymnium westralium* (Cookson and Eisenack, 1958) Evitt et al. 1967, Emend. May, 1977; 19-20. *Dinopterygium cladoideis* Deflandre, 1935; 21. *Glaphyrocysta perforata* Hultberg and Malmgren, 1985; 22. *Odontochitina operculata* (Wetzel, 1933) Deflandre and Cookson, 1955; 23. *Palaeocystodinium lidiae* (Gorka, 1963) Davey, 1969b; 24. *Palaeohystrichophora infusorioides* Deflandre 1935; 25-26. *Phelodinium tricuspe* (Wetzel, 1933a) Stover and Evitt, 1978; 27-28. *Senegalinium laevigatum* (Malloy, 1972) Bujak and Davies, 1983; 29-30. *Senegalinium bicavatum* Jain and Millepied, 1973; 31. *Yolkiniogymnium lanceolatum* (May, 1977) Lentin and Vozzhennikova, 1990. 150

Plancha 5.3a. Palinomorfos del Paleógeno. Paleoceno-Eoceno-Oligoceno, reportados para Colombia. Fotografías originales tomadas de pozos perforados por la ANH en la cuenca Sinú-San Jacinto en el caribe colombiano en los pozos ANH-Piedrasblancas-1X; ANH-Mohambo-1X; ANH-SanAntero-1X; ANH-SanJacinto-1; ANH-LaX-1A; ANH-SanCayetano-1; ANH-LaEstrella-1X; y de la Cuenca Cesar-Ranchería los pozos ANH-Cañaboba-1; ANH-Carretalito-1; ANH-LaEstación-1; ANH-LaLoma-2. La barra negra representa 20µm. Esporas. 1-2- *Cicatricosisporites dorogensis* Potonie and Gelletich, 1933; 3. *Cicatricosisporites eocenicus* (Selling, 1944) Jansonius and Hills, 1976; 4. *Concavissimisporites fossulatus* Dueñas, 1980; 5-6. *Foveotrilites concavoides* Jaramillo et al. 2007; 7. *Foveotrilites ornatus* Regali et al. 1974; 8. *Ischyosporites problematicus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 9. *Magnastriatites grandiosus* (Kedves and Sole de Porta, 1963) Dueñas, 1980; 10-11. *Polypodiaceoisporites fossulatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 12. *Polypodiisporites pachyexinatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 13. *Polypodiisporites usmensis* (van der Hammen, 1956a) Khan and Martin, 1972; 14. *Retitritiles sommeri* Regali et al. 1974. Polen: 15. *Baculamonocolpites hammenii* Jaramillo and Dilcher, 2001; 16. *Bombacacidites annae* (van der Hammen, 1954) Leidelmeier, 1966; 17. *Bombacacidites echinatus* Jaramillo et al. 2010; 18. *Bombacacidites gonzalezii* Jaramillo and Dilcher, 2001; 19. *Bombacacidites nacimientoensis* (Anderson, 1960) Elsik, 1968; 20. *Bombacacidites protofoveoreticulatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 21. *Bombacacidites simplireticulatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 22. *Bombacacidites soleaformis* Muller et al. 1987; 23. *Brevitricolpites macroexinatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 24. *Brevitricolpites microechinatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 25. *Corsinipollenites psilatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 26. *Corsinipollenites undulatus* (González) Jaramillo and Dilcher, 2001; 27. *Cricotriporites minutiporus* (Muller, 1968) Jaramillo and Dilcher, 2001; 28. *Clavatricolpites protoannemariae* Jaramillo and Dilcher, 2001; 29. *Ctenolophonidites lisamae* (van der

Hammen and García) Germeraad et al. 1968; 30. <i>Cyclusphaera scabrata</i> Jaramillo and Dilcher, 2001	162
Plancha 5.3b.	
1. <i>Diporopollis assamica</i> Dutta et al. 1970; 2. <i>Echimorphomonocolpites gracilis</i> González, 1967; 3. <i>Echimorphomonocolpites solitarius</i> González, 1967; 4-5. <i>Echitriporites trianguliformis</i> var. <i>Orbicularis</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 6. <i>Echitriporites variabilis</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 7-8. <i>Foveotricolpites perforatus</i> van der Hammen and García, 1966; 9-10. <i>Foveotricolporites etayoi</i> Jaramillo et al., 2010; 11. <i>Foveotricolporites fossulatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 12. <i>Foveotricolporites rugulatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001 ; 13. <i>Foveotriporites hammenii</i> González, 1967; 14. <i>Gemmastephanoporites polymorphus</i> Gonzalez, 1967; 15. <i>Gemmamonocolpites amicus</i> González, 1967; 16. <i>Gemmamonocolpites barbatus</i> González, 1967; 17. <i>Gemmamonocolpites dispersus</i> Sarmiento, 1992; 18. <i>Gemmamonocolpites gemmatus</i> (van der Hammen, 1954) van der Hammen and García, 1966; 19. <i>Grimsdalea minor</i> Dueñas, 1986; 20. <i>Horniella lunarensis</i> Jaramillo et al. 2007; 21. <i>Jandufouria minor</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 22. <i>Jandufouria seamrogiformis</i> Germeraad et al. 1968; 23. <i>Lanagiopollis crassa</i> (van der Hammen and Wymstra, 1964) Frederiksen, 1988; 24. <i>Longapertites proxapertitoides</i> var. <i>Proxapertitoides</i> van der Hammen and García, 1966; 25. <i>Longapertites proxapertitoides</i> var. <i>Reticuloides</i> van der Hammen and García, 1966; 26. <i>Longapertites vaneendenburgi</i> Germeraad et al. 1968; 27. <i>Luminidites colombianensis</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 28. <i>Margocolporites vanwijhei</i> Germeraad et al. 1968; 29. <i>Monocolpopollenites ovatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 30. <i>Momipites africanus</i> van Hoeken Klinkenberg, 1966; 31. <i>Multiporopollenites pauciporatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001.	163
Plancha 5.3c.	
1. <i>Nothofagidites huertasii</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 2-3. <i>Perforitricolpites digitatus</i> González, 1967; 4. <i>Perisyncolporites pokorny</i> Germeraad et al. 1968; 5. <i>Poloretitricolpites absolutus</i> (Gonzalez, 1967) Jaramillo and Dilcher, 2001; 6. <i>Proxapertites cursus</i> van Hoeken Klinkenberg, 1966; 7. <i>Proxapertites magnus</i> Muller et al. 1987; 8. <i>Proxapertites operculatus</i> (van der Hammen, 1954) van der Hammen, 1956; 9. <i>Psilabrevitricolporites simpliformis</i> van der Kaars, 1983; 10. <i>Psilatricolporites pachydermatus</i> Lorente, 1986; 11. <i>Racemonocolpites facilis</i> González, 1967; 12. <i>Racemonocolpites racematus</i> (van der Hammen, 1954) González, 1967; 13. <i>Retibrevitricolpites triangulatus</i> van Hoeken Klinkenberg, 1966; 14. <i>Retibrevitricolporites grandis</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 15. <i>Retibrevitricolporites speciosus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 16. <i>Retistephanocolpites angeli</i> Leidelmeyer, 1966; 17. <i>Retistephanocolpites angelicus</i> Gonzalez, 1967; 18. <i>Retistephanocolporites festivus</i> González, 1967; 19. <i>Retistephanoporites crassiannulatus</i> Lorente, 1986; 20. <i>Retistephanoporites minutiporus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 21. <i>Retitrescolpites baculatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 22-23. <i>Retitrescolpites? Irregularis</i> (van der Hammen and Wymstra, 1964) Jaramillo and Dilcher, 2001; 24. <i>Retitrescolpites magnus</i> (González, 1967) Jaramillo and Dilcher, 2001; 25. <i>Retitrescolpites saturum</i> (González, 1967) Jaramillo and Dilcher, 2001; 26. <i>Retitricolpites simplex</i> Jaramillo et al. 2014; 27. <i>Retitriporites poricostatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 28. <i>Rhoipites cienaguensis</i> (Dueñas, 1980) Barreda, 1997; 29. <i>Rhoipites guianensis</i> (van der Hammen and Wymstra, 1964) Jaramillo and Dilcher, 2001	164
Plancha 5.3d.	
1. <i>Rhoipites hispidus</i> (van der Hammen and Wymstra, 1964) Jaramillo and Dilcher, 2001; 2. <i>Rhoipites perprolatus</i> Rodríguez et al. 2012; 3. <i>Rhoipites planipolaris</i> Jaramillo et al., 2010; 4. <i>Scabraperiporites asymmetricus</i> Dueñas, 1980; 5. <i>Scabratricolporites planetensis</i> Dueñas, 1980; 6. <i>Spinizonocolpites breviechinatus</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 7. <i>Spinizonocolpites grandis</i> Jaramillo and Dilcher, 2001; 8.	

Spirosyncolpites spiralis González, 1967; 9. *Striatopollis catatumbus* (González, 1967) Takahashi and Jux, 1989; 10. *Striatopollis tenuistriatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 11. *Striatricolporites digitatus* Jaramillo and Dilcher, 2001; 12. *Tetracolporopollenites maculosus* (Regali et al. 1974) Jaramillo and Dilcher, 2001; 13. *Tetracolporopollenites transversalis* (Dueñas, 1980) Jaramillo and Dilcher, 2001; 14. *Ulmoideipites krempii* (Anderson, 1960) Elsik, 1968; 15. *Verruperiporites denseverrucatus* Dueñas, 1986; 16. *Verruperiporites paucumverrucatus* Dueñas, 1986; 17. *Zonocostites duquensis* Dueñas, 1980; 18. *Zonocostites minor* Jaramillo and Dilcher, 2001; 19. *Zonocostites ramonae* Germeraad et al. 1968..... 165

Plancha 5.3e. Dinoflagelados: 1. *Adnatosphaeridium multispinosum* Williams and Downie, 1966; 2. *Areosphaeridium arcuatum* Eaton, 1971; 3. *Cordosphaeridium fibrospinosum* Davey and Williams, 1966. Emend. Davey, 1969; 4. *Homotryblium floripes* (Deflandre and Cookson, 1955) Stover, 1975; 5. *Hystriocholpoma rigaudiae* Deflandre and Cookson, 1955; 6. *Lejeunecysta beninensis* Biffi and Grignani, 1983; 7. *Lejeunecysta brassensis* Biffi and Grignani, 1983; 8. *Lejeunecysta communis* Biffi and Grignani, 1983; 9. *Lejeunecysta globosa* Biffi and Grignani, 1983; 10. *Lejeunecysta granosa* Biffi and Grignani, 1983; 11. *Lejeunecysta lata* Biffi and Grignani, 1983; 12. *Lejeunecysta pulchra* Biffi and Grignani, 1983; 13. *Lingulodinium (machaerophorum) polyedra* (Stein) Dodge, 1989; 14. *Polysphaeridium subtile* Davey and Williams, 1966 emend. Bujak et al. 1980. 166

Plancha 5.4a. Palinomorfos del Neógeno. Mioceno-Plioceno, reportados para Colombia. Fotografías originales tomadas de pozos perforados por la ANH en la cuenca Sinú-San Jacinto en el Caribe Colombiano en los pozos ANH-LosPajaros-1X; ANH-LaCantera-1; ANH-P18; y de la Cuenca Cesar-Ranchería el Pozo ANH-Los Cerezos-1X. La barra negra representa 20µm. Esporas. 1. *Cicatricosisporites baculatus* Regali et al. 1974; 2. *Cingulatisporites laevigatus* Silva-Caminha et al. 2010; 3. *Crassoretitriletes vanraadshooveni* Germeraad et al. 1968; 4. *Cyatheacidites annulatus* Cookson, 1967; 5. *Kuylisporites waterbolkii* Potonie, 1956; 6-8. *Nijssenosporites fossulatus* Lorente, 1986; 9. *Polypodiaceoisporites? Amazonensis* Silva-Caminha et al. 2010; 10. *Psilatritiles lobatus* Hoorn, 1994b; 11. *Psilatritiles peruanus* Hoorn, 1994b; 12. *Retitritiles altimuratus* Silva-Caminha et al. 2010. Polen. 13. *Bombacacidites araracuarensis* Hoorn, 1994; 14. *Bombacacidites baculatus* Muller et al. 1987; 15. *Bombacacidites muinaneorum* Hoorn, 1993; 16. *Cichoreacidites longispinosus* (Lorente, 1986) Silva-Caminha et al. 2010; 17-18. *Clavainaperturites microclavatus* Hoorn, 1994b; 19. *Crassiectoapertites columbianus* (Dueñas) Lorente, 1986; 20. *Corsinipollenites collaris* Silva-Caminha et al. 2010; 21. *Corsinipollenites oculusnoctis* (Thiergart, 1940) Nakoman, 1965; 22. *Corsinipollenites scabratus* Silva-Caminha et al. 2010; 23-24. *Echiporiporites lophatus* (Silva-Caminha et al. 2010) Leite et al. 2020; 25. *Echitriporites cricotriporatiformis* Jaramillo et al. 2010; 26. *Echitricolporites spinosus* van der Hammen, 1956; 27-28. *Echitricolporites mceillyi* Germeraad et al. 1968; 29. *Fenestrites spinosus* van der Hammen, 1956; 30. *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad et al. 1968..... 175

Plancha 5.4b. Continuación. 1. *Magnaperiporites spinosus* González, 1967; 2. *Malvacipolloides maristellae* (Muller et al. 1987) Silva-Caminha et al. 2010; 3. *Multiareolites formosus* (van der Hammen, 1956) Germeraad et al. 1968; 4. *Multimarginites vanderhammeni* Germeraad et al. 1968; 5. *Pachydermites diderixi* Germeraad et al. 1968; 6-7. *Paleosantalaceapites cingulatus* Jaramillo et al. 2010; 8. *Proteacidites triangulatus* Lorente, 1986; 9. *Proxapertites tertiaria* van der Hammen and Garcia, 1966; 10. *Psilabrevitricolporites triangularis* (van der Hammen and Wymstra, 1964) Jaramillo and

Dilcher, 2001; 11. <i>Psilastephanoporites herngreenii</i> Hoorn, 1993; 12. <i>Psilastephanoporites tesseroporus</i> Regali et al. 1974; 13. <i>Ladakhipollenites? caribbiensis</i> (Muller et al., 1987) Silva-Caminha et al 2010; 14-15. <i>Psilabrevitricolporites devriesii</i> (Lorente, 1986) Silva-Caminha et al 2010; 16. <i>Retitricolpites caquetanus</i> Hoorn, 1994; 17-18. <i>Retitriporites crotonicolumellatus</i> (Jaramillo et al., 2010) D'Apolito et al. 2020; 19. <i>Rugutricolporites intensus</i> Jaramillo et al. 2010; 20. <i>Stephanocolpites evansii</i> Muller et al. 1987. Dinoflagelados: 21. <i>Cribroperidinium tenuitabulatum</i> (Gerlach, 1961) Helenes, 1984, emend. Sarjeant 1984; 22. <i>Hystrichosphaeropsis obscura</i> Habib, 1972; 23. <i>Impagidinium patulum</i> (Wall, 1967) Stover and Evitt, 1978; 24. <i>Quadrina? condita</i> de Verteuil and Norris, 1992; 25. <i>Selenopemphix brevispinosa</i> Head et al. 1989; 26. <i>Selenopemphix dionaecysta</i> Head et al., 1989; 27. <i>Selenopemphix nephroides</i> (Benedek 1972) Benedek and Sarjeant, 1981; 28. <i>Selenopemphix quanta</i> (M. R. Bradford) Matsuoka, 1985; 29. <i>Tuberculodinium vancampoe</i> (Rossignol) Wall, 1967.	176
Plancha 5.5a. Palinomorfos del Cuaternario de Colombia. Fotografías cedidas por el profesor Hooghiemstra y corresponden a especies de plantas de bosque de montaña y páramo (2300-4300m.s.n.m) en los Andes Colombianos. La barra negra representa 20µm. Esporas. 1. Cyatheaceae; 2. <i>Isoetes</i> , Isoetaceae; 3. <i>Lycopodium</i> , Lycopodiaceae. Polen. 4. <i>Acalypha</i> , Euphorbiaceae; 5. <i>Alnus</i> , Betulaceae; 6. <i>Aragoa</i> , Plantaginaceae; 7. Asteraceae; 8. <i>Alchornea</i> , Euphorbiaceae; 9. <i>Borreria</i> , Rubiaceae; 10. Cactaceae; 11. Caryophylliaceae; 12. <i>Cecropia</i> , Urticaceae; 13. Chenopodiaceae; 14. <i>Clethra</i> , Clethraceae; 15. <i>Croton</i> , Euphorbiaceae; 16. Cyperaceae; 17. <i>Daphnopsis</i> , Thymelaeaceae; 18. <i>Dodonaea</i> , Sapindaceae; 19. <i>Drimys</i> , Winteraceae; 20. Ericaceae; 21. <i>Eugenia</i> , Myrtaceae; 22. <i>Gaiadendron</i> , Loranthaceae; 23. <i>Geranium</i> , Geraniaceae; 24. <i>Gentiana</i> , Gentianaceae; 25. <i>Gunnera</i> , Gunneraceae; 26. <i>Hedyosmum</i> , Chloranthaceae; 27. <i>Hypericum</i> , Hypericaceae; 28. <i>Hydrocotyle</i> , Araliaceae; 29. <i>Ilex</i> , Aquifoliaceae; 30. <i>Juglans</i> , Juglandaceae.	182
Plancha 5.5b. Polen. 1. <i>Lysipomia</i> , Campanulaceae; 2. <i>Ludwigia</i> , Onagraceae; 3. Melastomataceae; 4. <i>Miconia</i> , Melastomataceae; 5. <i>Monnina</i> , Polygalaceae; 6. <i>Myrica</i> , Myricaceae; 7. <i>Myriophyllum</i> , Haloragaceae; 8. <i>Myrsine</i> , Primulaceae; 9. Poaceae; 10. <i>Podocarpus</i> , Podocarpaceae; 11. <i>Potamogeton</i> , Potamogetanaceae; 12. <i>Polylepis</i> , Rosaceae; 13. <i>Polygonum</i> , Polygonaceae; 14. <i>Plantago</i> , Plantaginaceae; 15. Proteaceae; 16. <i>Puya</i> , Bromeliaceae; 17. <i>Quercus</i> , Fagaceae; 18. <i>Ranunculus</i> , Ranunculaceae; 19. <i>Rumex</i> , Polygonaceae; 20. <i>Sapium</i> , Euphorbiaceae; 21. <i>Symplocos</i> , Symplocaceae; 22. <i>Styloceras</i> , Buxaceae; 23. <i>Thalictrum</i> , Ranunculaceae; 24. <i>Typha</i> , Typhaceae; 25. <i>Urtica</i> , Urticaceae; 26. <i>Valeriana</i> , Caprifoliaceae; 27. <i>Vallea</i> , Elaeocarpaceae; 28. <i>Weinmannia</i> , Cunoniaceae.	183

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros agradecimientos a las personas que de una u otra forma han contribuido con el libro, en especial a dos revisores anónimos, quienes con sus aportes, comentarios, recomendaciones y sugerencias enriquecieron el contenido de este documento.

A Henry Hooghiemstra, profesor emérito de la Universidad de Ámsterdam, quien hizo una lectura ágil y respetuosa del documento, y lo enriqueció con observaciones, bibliografía y grandes aportes.

Agradecemos a Emile Roche, profesor de palinología en la Universidad de Lieja, por sus consejos y enseñanzas, así como por brindar generosamente algunas de las figuras presentadas en el libro. A Maurice Streel, Phillipe Steemans y Phillipe Gerriene (R. I. P.), grandes profesores y amigos de la Universidad de Lieja (Bélgica) y a José Antonio López-Sáez del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid. A María Blanca Ruíz Zapata, profesora de la Universidad de Alcalá de Henares (España) por ser una fuente de inspiración en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A los colegas Carlos Jaramillo, Javier Helenes, Carina Hoorn, Vladimir Torres, Orlando Rangel, Millerlandy Romero, Francys Carvajal, Lineth Contreras, Diana Ochoa, Fatima Leite, Silane Da Silva e Ingrid Romero quienes con sus valiosos aportes han contribuido a impulsar nuestro laboratorio de palinología. Damos un reconocimiento al grupo de Geociencias Oceánicas de la Universidad de Salamanca,

especialmente al profesor José Abel Flores por su apoyo incondicional durante la formación de algunos de los integrantes del IIES; aunque no son palinólogos nos han demostrado el poder que tiene la combinación de diferentes grupos de microfósiles para resolver problemas geológicos. Agradecemos especialmente al Dr. Hernando Dueñas, por brindarnos una colección palinológica de numerosos pozos estudiados durante su trabajo con la industria del petróleo. A Andrés Díaz, Jonathan Martínez, Edwin Ramírez, Valentina Ramírez, Jimena Giraldo, Juan David Vallejo, Paula López, Felipe Duque, Daniel Ríos, Rafael Castaño, Felipe Ruiz, Luisa Correa, Sergio Casas, Alba Jiménez, Santiago Amar, Alex Aricapa y Valentina Domínguez estudiantes de palinología en el transcurso de estos 10 años de construcción y aprendizaje. Agradecemos a Mauricio Reyes por la preparación de las láminas palinológicas usadas en este estudio. Agradecemos especialmente a Juan Pablo Betancur y Rubén Darío Hernández por su colaboración en la elaboración de algunas figuras. Gracias al comité editorial de la Universidad de Caldas y su esfuerzo por impulsar la publicación de obras de investigación.

Por último, y no menos valioso, agradecemos especialmente al Dr. Armando Zamora, director de la ANH, quien siempre creyó en la importancia de apoyar la investigación básica en las universidades del país y brindó los elementos necesarios para la creación del IIES en la Universidad de Caldas.

Prologue

It is an honour and a great pleasure to write introductory words to accompany the book entitled 'Palinología Colombiana' written by Andrés Pardo-Trujillo, Angelo Plata-Torres and Clemecia Gómez-González. It is the first modern textbook of palynology for the Spanish speaking part of the world. The book is richly illustrated and is prepared by a team of Colombian palynologists with a thorough understanding of environmental change along the geological time scale. Since the 1950s two Dutch palynologists have spent their successive careers uncovering the dynamic histories of Colombian ecosystems. It is a fortunate observation that a new cohort of young Colombian palynologists, trained in Colombia, The Netherlands, USA, Germany, and Switzerland is continuing palynological research. There is quite a difference between palynological studies in the temperate world and in the tropics. Palynologists from the Northern Hemisphere have to be trained to 'think tropical'.

Professor Thomas van der Hammen arrived for the first time in Colombia in 1952 after having obtained his PhD in geology and palynology in Leiden. I arrived in Colombia for the first time in 1976 after having obtained my master level training from Thomas van der Hammen. I started my PhD project about the palynological study of the deep core raised near the village of Funza. Being interested in the dynamic history of Colombia's ecosystems I visited and studied in the years afterwards the páramo, upper and lower Andean forest, rainforest