



Universidad de Caldas

RECONSTRUCCIÓN AMBIENTAL DE LOS ÚLTIMOS 160 AÑOS EN EL
MAAR DE SAN DIEGO Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS EL NIÑO-
OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)

TESIS QUE PRESENTA **JULIO ANDRÉS SIERRA GIRALDO**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Manizales, Caldas, Colombia (junio, 2023)



Universidad de Caldas

RECONSTRUCCIÓN AMBIENTAL DE LOS ÚLTIMOS 160 AÑOS EN EL
MAAR DE SAN DIEGO Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS EL NIÑO-
OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)

TESIS QUE PRESENTA **JULIO ANDRÉS SIERRA GIRALDO**
PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRIGIDA POR **SUSANA VELÁSQUEZ FRANCO, Ph.D**
CODIRIGIDA POR **LUZ AMPARO TRIANA MORENO, Ph.D**

Manizales, Caldas, Colombia (junio, 2023)



Universidad de Caldas

Aprobación final del documento de tesis de grado:

“RECONSTRUCCIÓN AMBIENTAL DE LOS ÚLTIMOS 160 AÑOS EN EL MAAR DE SAN DIEGO Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)”

Nombre

Firma

Director:

Susana Velásquez Franco

Codirector

Luz Amparo Triana Moreno

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Caldas, Corpocaldas y al Departamento de Geografía de la Universidad de Utah y Museo de Historia Natural de Utah por financiar el proyecto Integrando Disturbios por Variabilidad y Cambio Climático al Plan de Manejo del Área Protegida Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego (Samaná, Caldas), Fase I, desde donde se realizó esta investigación.

A Juan Mauricio Posada Herrera, Andrés Felipe Bohórquez, Santiago Guzmán, David Sanín, Luis Fernando Giraldo y Angy Caro, por su apoyo en la determinación de algunas muestras botánicas y a Luis Miguel Álvarez, por permitir el acceso las colecciones del Herbario de la Universidad de Caldas (FAUC) y dar un espacio para esta investigación. A la profesora Carolina Feuillet por su constante apoyo con el uso del espacio y equipos del Laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas. A Mauricio Reyes del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES por su constante apoyo y paciencia en el procesamiento de las muestras palinológicas. A David Gutiérrez por la determinación de algunas muestras botánicas y su apoyo en los análisis estadísticos del Capítulo I.

A Blake Wellard, Kendra Babitz, Carlos Vargas, Daniela Velásquez y Wilmar Herrera Correa por su apoyo durante la fase de campo y a los habitantes de San Diego por su amabilidad y permitírnos ingresar en su territorio. A Diana Sánchez, por su apoyo y constantes críticas y aportes a esta investigación, las cuales me permitieron entender y pensar en función del pasado.

A Jairo Andrés Orozco Agudelo por todo el apoyo durante las diferentes fases de este proyecto, desde la fase de campo, determinación de muestras, apoyo en el análisis florístico y sobre todo por su amistad y el acompañamiento durante todo este tiempo, que me permitieron avanzar en momentos complicados.

A Natalia Castaño Rubiano, por sus consejos y sobre todo por escucharme cuando lo necesitaba.

A mis directoras, Susana Velásquez Franco y Luz Amparo Triana Moreno, por darme la oportunidad de participar en esta investigación, por toda su paciencia, apoyo y todo lo enseñado durante este tiempo.

A mi familia, a mis padres y a mi hermano por estar siempre pendientes, a Ron y a Durazno por sus constantes terapias de tranquilización, pero sobre todo a mi esposa Luisa Fernanda Villada, por su apoyo, paciencia y constante amor durante estos dos largos años.

DEDICATORIA

Dedicado a mi esposa Luisa Fernanda Villada, por su amor, por inspirar tranquilidad, por ser paciente, por su apoyo durante todo este tiempo. Y por permitirme caminar junto a ella durante este ratico de existencia.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Excepto cuando es explícitamente indicado en el texto, el trabajo de investigación contenido en esta tesis fue efectuado por Julio Andrés Sierra Giraldo como estudiante de la Maestría en Ciencias Biológicas entre septiembre de 2021 y junio de 2023, bajo la supervisión y orientación de Susana Velásquez Franco y Luz Amparo Triana Moreno.

Los resultados y discusiones realizadas en esta tesis no han sido utilizados anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizadas para tales fines en el futuro.

Candidato(s): Nombre Julio Andrés Sierra Giraldo



Director de tesis: Nombre Susana Velásquez Franco



Codirector de tesis: Nombre Luz Amparo Triana Moreno

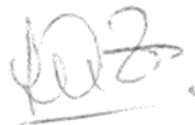


TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	10
CAPITULO I	12
ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA DEL DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO LAGUNA DE SAN DIEGO (CALDAS, COLOMBIA)	12
CAPITULO II	33
MORFOLOGÍA DEL POLEN Y LAS ESPORAS DE LA LAGUNA DE SAN DIEGO (CALDAS, COLOMBIA)	33
CAPITULO III	85
RECONSTRUCCIÓN AMBIENTAL DE LA DINAMICA DE LA VEGETACION EN EL VOLCAN DE SAN DIEGO (COLOMBIA) DURANTE LOS ÚLTIMOS 160 AÑOS BASADOS EN ANÁLISIS PALINOLÓGICO	85
CONSIDERACIONES FINALES	109

LISTA DE TABLAS

Capítulo I

Tabla 1 – Diversidad (qD) florística en cuatro coberturas vegetales del área protegida Laguna de San Diego.	19
---	----

Capítulo III

Tabla 1 – Descripción litológica del núcleo SDL-Fc2 (0–5.2 cm).	89
Tabla 2 – Datos de edad de cada una de las muestras evaluadas entre 0–5.2 cm del núcleo SDL-Fc2 de la Laguna de San Diego. Cal yr BP: Años radiocarbono calibrados antes del presente	90
Tabla 3 – Eventos ENOS registrados entre 2020–1852 (Quinn 1993; CPC 2023; Webb 2023) en los rangos de tiempo asociados a las profundidades estudiadas.	91

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1 – Coberturas vegetales presentes en el Distrito de Manejo Integrado de Laguna de San Diego. Fuente RUNAP (2022); Velasquez-Franco (2022). 14
- Figura 2 – Índice de valor de importancia (IVI) en cada cobertura vegetal evaluada. 16
- Figura 3 – a-i. Algunas especies con mayores valores del IVI – a-b. *Cedrela odorata* (Meliaceae); c-d. *Gutteria punctata* (Annonaceae); e-g. *Pourouma bicolor* (Urticaceae); h-i. *Psidium guajava* (Myrtaceae). (Fotos: L. J.A. Sierra-Giraldo). 17
- Figura 4 – a-h. Algunas especies con mayores valores del IVI – a-b. *Hedyosmum cf. racemosum* (Chloranthaceae); c-e. *Jacaranda copaia* (Bignoniaceae); f-h. *Vismia macrophylla* (Hypericaceae). (Fotos: L. J.A. Sierra-Giraldo). 18
- Figura 5 – Distribuciones alimétricas para los individuos con DAP ≥ 2.5 cm en las diferentes coberturas vegetales evaluadas. 19
- Figura 6 – Distribuciones diamétricas para los individuos con DAP ≥ 2.5 cm en las diferentes coberturas vegetales evaluadas. 19
- Figura 7 – Valores de diversidad 4D en las diferentes coberturas vegetales evaluadas. 20

Capítulo II

- Figura 1 – Distrito de Manejo Integrado (DMI) Laguna de San Diego. Fuente RUNAP (2022); Velasquez-Franco (2022). 35
- Figura 2 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Lycopodiaceae: *Palhinhaea cernua* (Ev: 1; Pv: 2–4). Selaginellaceae: *Selaginella flabellata* (Ev: 5; Gv: 6–7; Pv: 8–9). Blechnaceae: *Blechnum occidentale* (Gv: 10; Ev: 11); *Blechnum polypodioides* (Ev: 12–13); *Salpichlaena volubilis* (Ev: 14; Gv: 15). Cyatheaceae: *Alsophila cuspidata* (Pv: 16–18); *Alsophila imrayana* (Ev: 19; Pv: 20); *Cyathea lockwoodiana* (Pv: 21–22); *Cyathea cardenasii* (Pv: 23–24). Dryopteridaceae: *Polybotrya caudata* (Gv: 25–26; Pv: 27). Gleicheniaceae: *Sticherus bifidus* (Gv: 28; Ev: 29). Hymenophyllaceae: *Trichomanes elegans* (Gv: 30–31). Nephrolepidaceae: *Nephrolepis brownii* (Gv: 32; Ev: 33). Polypodiaceae: *Campyloneurum nitidissimum* (Ev: 34–35). 40
- Figura 3 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Polypodiaceae: *Campyloneurum aff. repens* (Ev: 1–2); *Microgramma persicariifolia* (Ev: 3, 5; Gv: 4); *Pleopeltis bombycina* (Ev: 6–8); *Pecluma hygrometrica* (Ev: 9–10); *Serpocaulon articulatum* (Gv: 11–12; Ev: 13). Pteridaceae: *Pityrogramma calomelanos* (Gv: 14; Ev: 15; Pv: 16); *Pteris biaurita* (Pv: 17–19). Thelypteridaceae:

Macrothelypteris torresiana (Gv: 20–21; Ev: 22); *Meniscium serratum* (Ev: 23–24; Gv: 25); *Meniscium falcatum* (Gv: 26–28). Annonaceae: *Guatteria ucayalina* (Gv: 29; Pv: 30; Ev: 31). Chloranthaceae: *Hedyosmum racemosum* (Gv: 32–35). 45

Figura 4 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Piperaceae: *Piper pulchrum* (Gv: 1–3); *Piper umbellatum* (Gv: 4–7). Alismataceae: *Limnocharis flava* (Gv: 8, 9, 11). Araceae: *Philodendron subhastatum* (Gv: 10, 15). Arecaceae: *Aiphanes horrida* (Gv: 12–14); *Asterogyne martiana* (Gv: 16–17). Commelinaceae: *Tripogandra serrulata* (Gv: 18–22). Costaceae: *Costus lasius* (Gv: 22–23). Cyperaceae: *Cyperus laxus* (Gv: 24–27). Anacardiaceae: *Mangifera indica* (Pv: 28–29; Ev: 30–31); *Ochoterena colombiana* (Ev: 32–33; Pv: 34–35). 47

Figura 5 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Anacardiaceae: *Tapirira guianensis* (Pv: 1; Ev: 2). Apocynaceae: *Mandevilla callista* (Gv: 3–4); *Mandevilla hirsuta* (Gv: 5–6). Asteraceae: *Baccharis nitida* (Pv: 7–8; Ev: 9); *Chromolaena odorata* (Pv: 10–12); *Critoniella acuminata* (Pv: 13–15). Bignoniaceae: *Jacaranda copaia* (Ev: 16; Pv: 17–18); *Spathodea campanulata* (Pv: 19, 21; Ev: 20). Boraginaceae: *Cordia nodosa* (Pv: 22–23). Calophyllaceae: *Marila podantha* (Gv: 24; Pv: 25). Clusiaceae: *Clusia haughtii* (Pv: 26–27; Gv: 28). Euphorbiaceae: *Acalypha diversifolia* (Gv: 30, 35); *Acalypha macrostachya* (Gv: 29, 34); *Alchorneopsis floribunda* (Pv: 31–32; Ev: 33). 51

Figura 6 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Fabaceae: *Albizia carbonaria* (Gv: 1–2); *Crotalaria nitens* (Pv: 3; Ev: 4; Gv: 5); *Inga oerstediana* (Gv: 6–7); *Inga samanensis* (Gv: 8–9); *Inga thibaudiana* (Gv: 10–11); *Mucuna mutisiana* (Ev: 12–13; Pv: 14). Gentianaceae: *Chelonanthus alatus* (Gv: 15, 20). Gesneriaceae: *Codonanthopsis crassifolia* (Pv: 16–17); *Kohleria hirsuta* (Pv: 18; Ev: 19); *Nautilocalyx bracteatus* (Pv: 21; Ev: 22). Hypericaceae: *Vismia baccifera* (Ev: 23–24; Pv: 25); *Vismia macrophylla* (Pv: 26–27; Gv: 28). Lecythidaceae: *Gustavia speciosa* (Pv: 29–30; Ev: 34–35). Malvaceae: *Hibiscus spathulatus* (Gv: 31–33). 55

Figura 7 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Melastomataceae: *Bellucia pentamera* (Pv: 1; Ev: 2); *Chaetogastra longifolia* (Gv: 3; Ev: 4; Pv: 5); *Graffenrieda galeottii* (Ev: 6; Pv: 7); *Miconia aponeura* (Pv: 8–9; Ev: 10); *Miconia dolichorrhyncha* (Ev: 11; Pv: 12); *Miconia domociliata* (Ev: 13; Pv: 14–15); *Miconia minutiflora* (Ev: 16; Pv: 21); *Miconia octona* (Pv: 17; Ev: 18); *Miconia ostrina* (Pv: 19; Ev: 20); *Miconia rubescens* (Ev: 22–23); *Miconia serrulata* (Pv: 24–25); *Miconia sulcaulis* (Gv: 26; Pv: 31). Moraceae: *Ficus americana* (Gv: 27–28). Myristicaceae: *Virola sebifera* (Gv: 29–30). Myrtaceae: *Psidium guajava* (Pv: 32–33; Ev: 34); *Schizocalyx bracteosus* (Gv: 35; Pv: 36). 58

Figura 8 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Ochnaceae: *Cespedesia spathulata* (Ep: 1; Gv: 2). Olacaceae: *Heisteria acuminata* (Gv: 3–4). Passifloraceae: *Passiflora biflora* (Gv: 6–7, 11–12); *Passiflora vitifolia* (Gv: 5, 8–10). Peraceae: *Pera colombiana* (Pv: 13, Gv: 14–15). Phytolaccaceae:

- Phytolacca rivinoides* (Ev: 16, 21; Pv: 17, 22; Gv: 18, 23). Rubiaceae: *Palicourea guianensis* (Gv: 24–28); *Palicourea quadrilateralis* (Gv: 29–33); *Psychotria monsalvae* (Ev: 34; Pv: 35). 61
- Figura 9 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. Rutaceae: *Citrus limon* (Pv: 1–2; Ev: 7; Gv: 13). Salicaceae: *Casearia arborea* (Ev: 3–4; Gv: 5); *Hasseltia floribunda* (Gv: 8; Pv: 9–10). Sapindaceae: *Cupania cinerea* (Gv: 11, 17). Sapotaceae: *Pouteria multiflora* (Gv: 6, 12, 18). Solanaceae: *Witheringia solanacea* (Ev: 14; Pv: 15–16). Urticaceae: *Cecropia obtusifolia* (Gv: 20–22); *Cecropia peltata* (Gv: 23, 26–29). Violaceae: *Gloeospermum sphaerocarpum* (Gv: 24; Pv: 25, 30). Vitaceae: *Cissus erosa* (Ev: 31–34; Pv: 35); *Cissus verticillata* (Ev: 36–37; Pv: 38–40). 64
- Figura 10 – Distribución del tamaño (μm) del polen y las esporas para las 101 especies registradas. a). Diámetro ecuatorial en vista ecuatorial, b). Eje polar en vista ecuatorial. 67
- Figura 11 – Tipos de aberturas registradas en las 101 especies registradas y su presencia respecto a la proporción de especies. 68
- Figura 12 – Distribución por familia de los tipos de apertura para las 101 especies registradas. 68
- Figura 13 – Tipos de ornamentación registradas en las 101 especies registradas y su presencia respecto a la proporción de especies. 70
- Figura 14 – Distribución por familia de los tipos de ornamentación para las 101 especies registradas. 71

Capítulo III

- Figura 1 – Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego. Los puntos magenta representan la localización de las parcelas de vegetación y el punto amarillo el sitio de nucleación del SDL-Fc2. 87
- Figura 2 – Modelo de edad para el núcleo SDL102_Fc2 de la Laguna de San Diego. Las distribuciones por edades calibradas (Cal yr BP) se muestran en azul. El color gris oscuro indica las edades más probables. Las líneas punteadas externas muestran intervalos de confianza del 95 %; la línea roja central representa el mejor modelo único basado en la edad media ponderada para cada profundidad. Se presenta la representación litológica para los primeros centímetros (0–5.2 cm) y las tasas de acumulación (yr/cm). 90
- Figura 3 y 4 – Diagrama de polen y esporas del núcleo SLD-Fc2 de la Laguna de San Diego mostrando a) porcentajes individuales de algunos taxones y b) concentraciones de estos taxones. De izquierda a derecha: profundidad (cm); edad (Cal yr BP); litología; porcentajes relativos (a) y concentraciones (b) de los taxones de polen y esporas más importantes; sumatoria por gremio ecológicos: heliófitas efímeras, heliófitas durables y esciófitas parciales; y las zonas por grupos de palinomorfos (CONISS). 96 y 97
- Figura 5 – Taxones de polen y esporas más representativos de la Laguna de San Diego. 1–12. Registros en sedimentos entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SLD-Fc2-2020. 1–2. *Acalypha*. 3–4. *Alchornea*. 5–6. Asteraceae. 7 y 12. Melastomataceae. 8. Arecaceae. 9. *Cecropia*. 10. *Cyperus*. 11. *Danaea*. 13. *Piper*.

14. *Salpichlaena*. 15. Poaceae (cf. *Urochloa*). 16. *Vismia*. Registros en la colección de referencia de San Diego. 17–20. *Cyperus*. 21–24. *Cecropia*. Las barras indican 10 μm . 98

Figura 6 – Análisis de componentes principales (ACP). Agrupamiento de las variables climáticas (ENOS), datos instrumentales (precipitación - mm) y no instrumental (escorrentía – porcentaje de Titanio) entre 0–1.1 cm de profundidad (2020–1994). 99

LISTA DE ANEXOS

Capítulo I

Anexo 1 – Valores del IVI y categorías UICN (2022-2) para las especies de plantas registradas en parcelas tipo Gentry en el área protegida Laguna de San Diego (Samaná, Colombia). 29

Capítulo II

Anexo 1 – Variaciones de tipos de apertura, ornamentación, unidades de dispersión de polen y esporas, medidas (μm) del eje polar en vista ecuatorial, diámetro ecuatorial en vista ecuatorial y del diámetro ecuatorial en vista polar de las 101 especies registradas en la Laguna de San Diego. EP = Eje polar en vista ecuatorial. EE = diámetro ecuatorial en vista ecuatorial. DE = diámetro ecuatorial en vista polar. 81

Capítulo III

Anexo 1 – Datos climáticos (CRU 4.5; Quinn 1993; CPC 2023; Webb 2023), valores de titanio y especies más dominantes entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SLD-Fc2 de la Laguna de San Diego. Σ : Sumatoria. \bar{X} : Media. σ^2 : Varianza. 108

RESUMEN

Los disturbios hacen parte del funcionamiento de los ecosistemas, siendo estos de origen natural o antrópico. Así mismo, los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) provocan cambios en la precipitación media mensual y anual histórica, generando disturbios en el ambiente. La palinología es una herramienta útil para reconstruir los cambios ambientales históricos, donde a partir del análisis del registro polínico es posible observar la relación entre factores ambientales como el clima, los disturbios ecosistémicos y la respuesta de la vegetación. Es así como el Maar de San Diego es de gran interés, ya que los sedimentos de los Maares proporcionan un registro adecuado para el estudio del clima histórico. Por lo que este estudio fue guiado por la pregunta de investigación ¿Qué taxones de plantas pueden ser sensibles a las variaciones climáticas provocadas por los eventos ENOS durante los últimos 160 años en la Laguna de San Diego? y ¿Cuáles de estos taxones reflejan cambios en la vegetación como respuesta a diferentes tipos de disturbios? Por esta razón, en el Capítulo I se realiza la descripción de la estructura y diversidad florística del Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego, donde se registraron 517 individuos, 100 especies y 42 familias botánicas; en el Capítulo II se realiza la descripción morfológica del polen y las esporas con el fin de construir la colección de referencia, donde se presentan descripciones morfológicas para 53 familias, 78 géneros y 101 especies y en el Capítulo III se presenta la reconstrucción ambiental de la dinámica de la vegetación en el DMI Laguna de San Diego durante los últimos 160 años, siendo Poaceae, *Tripogandra* y *Salpichlaena* los taxones que dominaron durante La Niña y *Cecropia*, *Vismia* y *Piper* los que fueron más dominantes durante El Niño, así mismo, se documenta su correlación con eventos climáticos en la región, donde se lograron capturar cambios en la vegetación y en el clima a partir de proxies palinológicos y elementales.

Palabras clave: Flora, maar, palinología, reconstrucción ambiental, ENSO

ABSTRACT

Disturbances are part of ecosystems functioning, whether they are of natural or anthropogenic origin. Similarly, El Niño-Southern Oscillation (ENSO) events cause changes in historical monthly and annual average precipitation, leading to disturbances in the environment. Palynology is a useful tool for generating reconstructions of historical environmental changes, where through the analysis of pollen records, it is possible to observe the relationship between environmental factors such as climate, ecosystem disturbances, and vegetation response. This is why the San Diego Maar is of great interest, as the sediments from Maars provide a suitable record for studying historical climate. Therefore, during this study we want to know which plant taxa may be sensitive to climatic variations caused by ENSO events during the last 160 years in the Laguna de San Diego? and Which of these taxa reflect changes in vegetation in response to distinct types of disturbances? For this reason, Chapter I provides a description of the structure and floristic diversity of the DMI Laguna de San Diego, where 517 individuals, 100 species and 42 botanical families were recorded; in Chapter II, a morphological description of pollen and spores is conducted to build the reference collection, where morphological descriptions are presented for 53 families, 78 genera and 101 species and the Chapter III presents the environmental reconstruction of vegetation dynamics in the DMI Laguna de San Diego over the past 160 years, with Poaceae, *Tripogandra* and *Salpichlaena* being the taxa that dominated during La Niña and *Cecropia*, *Vismia* and *Piper* being the most dominant during El Niño, also, its correlation with climatic events in the region is documented, where changes in vegetation and climate were captured using palynological and elemental proxies.

Keywords: Environmental reconstruction, flora, maar, palynology.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cambios en la vegetación pueden ser ocasionados por diferentes tipos de disturbios, los cuales interrumpen el funcionamiento de los ecosistemas (White & Pickett 1985), siendo estos de origen natural, como la actividad volcánica o lluvias torrenciales o antrópico como la deforestación y el conflicto armado (Turner 2010; Právālie 2018; Velásquez-Franco 2020). Por otro lado, la fase cálida y la fase fría de los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) provocan cambios en la precipitación media mensual y anual histórica en esta región del planeta, los Andes del norte (Jaramillo 2005), donde la fase cálida se expresa con déficits de lluvia que pueden generar sequía y la fase fría se expresa con excesos de precipitación o de lluvia generando inundaciones, deslizamientos, entre otros (Álvarez & Poveda 2022). Es así como la palinología es una herramienta fundamental para generar bioestratigrafía y reconstrucciones de cambios ambientales históricos (Martínez *et al.* 2021), ya que el polen se deposita y preserva de forma natural en ambientes lacustres y al lograr la determinación y cuantificación de los palinomorfos se puede interpretar la señal polínica (García-M *et al.* 2011), además, a partir del análisis del registro polínico, es posible observar la relación entre factores ambientales como el clima, los disturbios ecosistémicos y la consecuente respuesta de la vegetación. En Colombia, el análisis palinológico del pasado reciente se ha realizado a partir de registros sedimentarios de lagos, turberas y pantanos ubicados principalmente por encima de los 2000 m de altitud (Hooghiemstra & Flantua 2019). Por lo que se hace necesario evaluar los registros sedimentarios provenientes de lagunas a menor altitud que potencialmente hayan capturado la respuesta de comunidades vegetales de altitudes medias y bajas.

Es así como la Laguna de San Diego, uno de los dos Maares reportados para Colombia, resulta de gran interés para este tipo de estudios, ya que es conocido que los sedimentos de los Maares proporcionan un registro adecuado para el estudio del clima histórico (Wu *et al.* 2019) y es probable que sus sedimentos alberguen información de la historia climática de la región, la cual puede ser conocida con la elección adecuada de indicadores biológicos y geoquímicos para capturar la señal climática y la respuesta de la vegetación a potenciales cambios en el régimen de disturbios de origen climático y antrópico. Por lo que durante este estudio se quiere conocer ¿Qué taxones de plantas pueden ser sensibles a las variaciones climáticas provocadas por los eventos ENOS durante los últimos 160 años en la Laguna de San Diego? y ¿Cuáles de estos taxones reflejan cambios en la vegetación como respuesta a diferentes tipos de disturbios?

Por esta razón, a continuación, se presentan tres capítulos, donde en el Capítulo I se realiza la descripción de los patrones de estructura, composición y diversidad florística actual en el DMI Laguna de San Diego, con el fin de reconocer que coberturas vegetales son más diversas, en que estados de sucesión vegetal se encuentran y que especies pueden indicar diferentes tipos de disturbios en la actualidad. En el Capítulo II

se realiza la descripción morfológica del polen y las esporas del DMI Laguna de San Diego, con el fin de construir la colección de referencia para comparar con los palinomorfos (polen y esporas) que se registren en los sedimentos de la laguna. Y en el Capítulo III se integra la información de los dos capítulos iniciales y se presenta la reconstrucción ambiental de la dinámica de la vegetación en el DMI Laguna de San Diego durante los últimos 160 años y se documenta su correlación con eventos climáticos predominantes en la región en este periodo de tiempo.

Referencias

Álvarez D & Poveda G (2022) Spatio temporal Dynamics of NDVI, Soil Moisture and ENSO in Tropical South America. *Remote Sens* 14(11): 2521.

García-M Y, Rangel-Ch J & Fernández D (2011) Flora palinológica de la vegetación acuática, de pantano y de la llanura aluvial de los humedales de los departamentos de Córdoba y Cesar (Caribe Colombiano). *Caldasia* 33(2): 573–618.

Hooghiemstra H & Flantua SGA (2019) Colombia in the Quaternary: An overview of environmental and climatic change. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38: 43–95.

Jaramillo R (2005) *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé. Chinchiná. 196 p.

Martínez C, Jaramillo C, Martínez-Murcia J, Crepet W, Cárdenas A, Escobar J, Moreno F, Pardo-Trujillo A & Caballero-Rodríguez D (2021) Paleoclimatic and paleoecological reconstruction of a middle to late Eocene South American tropical dry forest. *Global and Planetary Change* 205: 103617.

Prävālie R (2018) Major perturbations in the Earth's forest ecosystems. Possible implications for global warming. *185*: 544–571.

Velasquez-Franco S (2020) *Listening to Las Lagunas: A long-term perspective applied to environmental management in the Equatorial Andes*. Disertación doctoral. The University of Utah. Utah.

White P & Pickett S (1985) Natural disturbance and patch Dynamics: An introduction. Chapter 1. En: *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. White, P. y Pickett, S. (eds). Academic press. INC. Nueva Jersey. 472 p.

Wu J, Zhu Z, Sun C, Riouala P, Chu G & Liu J (2019) The significance of maar volcanoes for palaeoclimatic studies in China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383(1): 2–15.

CAPITULO I

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD FLORÍSTICA DEL DISTRITO DE MANEJO INTEGRADO LAGUNA DE SAN DIEGO (CALDAS, COLOMBIA)

Resumen

En los Andes se han transformado sus coberturas boscosas debido a actividades antrópicas, situación que se ve en Caldas (Colombia). El oriente de este departamento está influenciado por el valle del Magdalena, región que presenta una gran biodiversidad, condiciones climáticas y orográficas particulares y áreas protegidas. Sin embargo, existen algunas de estas áreas protegidas que carecen de muestreo florístico, tales como el DMI Laguna de San Diego, el cual presenta gran potencial para estudios sobre reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas. El objetivo de este capítulo fue registrar la flora del DMI Laguna de San Diego y analizar su diversidad, estructura y composición. Entre septiembre de 2021 y 2022 se establecieron cuatro parcelas tipo Gentry (0.4 ha) en Bosque denso (BD), Mosaico de pastos con espacios naturales (MPEN), Pastos limpios (PL) y Vegetación secundaria o en transición (VST). Se analizó el Índice de Valor de Importancia (IVI), la estructura y diversidad (0D) de cada cobertura vegetal. Las muestras botánicas fueron determinadas en el herbario FAUC. Se registraron 517 individuos, 100 especies y 42 familias botánicas. En BD la especie con mayor IVI fue *Pourouma bicolor* (20.9), en MPEN fue *Triplaris dugandii* (53.7), en PL fue *Psidium guajava* (75.6) y en VST fue *Guatteria punctata* (21.2). En el Bosque denso se registraron los valores más altos de diversidad en todos los órdenes (0D , 1D y 2D). Se resalta la importancia de promover estrategias de conservación de las coberturas vegetales Bosque denso y Vegetación secundaria o en transición ya que representan las más conservadas y diversas en este estudio.

Palabras clave: Áreas protegidas. conservación. especies en peligro. magdalena medio.

Introducción

Los ecosistemas andinos presentan ambientes con características excepcionales para los procesos de especiación y adaptación de las especies (Van der Hammen & Hooghiemstra 2001), lo cual propicia que en estos se registre una gran diversidad florística (Bernal *et al.* 2019) y diferentes tipos de biomas de montaña, en los que se ha evidenciado patrones de conectividad en respuesta a las fluctuaciones climáticas (Flantua *et al.* 2019). En Colombia, los Andes han sido importantes como soporte del desarrollo económico y cultural del país (Alvear *et al.* 2010), como es el caso del departamento de Caldas, el cual presenta un paisaje fragmentado a causa de actividades humanas que han transformado las coberturas boscosas con la extracción de maderas, el establecimiento de zonas agropecuarias y la minería (Álvarez *et al.* 2007).

El oriente del departamento de Caldas se encuentra influenciado por el Valle del Magdalena, región que se caracteriza por tener una gran biodiversidad (Hernández *et al.* 1992; Acosta-Galvis *et al.* 2006), presentar especies endémicas y en peligro de extinción (Benavides-Ossa *et al.* 2022), contar con condiciones climáticas y orográficas particulares (Torres-Sanches 2019), en donde se localiza la Provincia Volcano Tectónica San Diego-Cerro Machín, el Campo Volcánico Monogenético Samaná, con volcanes reconocidos como Maar de San Diego, El Escondido y Pela Huevos (Borrero *et al.* 2017; Monsalve *et al.* 2019; Sánchez-Torres *et al.* 2019, 2022). Además, se encuentran áreas protegidas como el Parque Nacional Natural selva de Florencia y el Distrito de Manejo Integrado (DMI) Laguna de San Diego en Samaná; el DMI El Meandro o Madre Vieja de Guarinocito y Reserva Natural Río Manso en La Dorada y el DMI Cuchilla de Bellavista en Victoria (Herrera *et al.* 2018).

Debido a esta gran biodiversidad, en el Magdalena Caldense se han realizado varios muestreos de flora en áreas boscosas cercanas a ríos, quebradas y embalses (Tapasco 2002; Restrepo 2003; Moreno 2006; Rojas *et al.* 2008; Cardona *et al.* 2010; Roncancio *et al.* 2011; Mendoza-Cifuentes 2011; Ramírez & Bohórquez 2013; Calonje *et al.* 2021; Sierra-Giraldo *et al.* 2022), sin embargo, existen áreas protegidas que carecen de muestreo florístico, tales como el DMI Laguna de San Diego, el cual presenta un gran potencial para estudios sobre reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas (Velasquez-Franco 2020). Por lo que, el objetivo de este capítulo fue registrar la flora del DMI Laguna de San Diego y analizar su diversidad, estructura y composición, ya que, el conocimiento de la flora actual es de gran importancia en los estudios paleoambientales, pues se cree que durante los últimos 20 millones de años los grupos de especies reconocidos en la paleoflora se presentan en los mismos nichos ecológicos, teniendo requerimientos climáticos similares a los del presente (Gonzales-Akre 2012).

En este sentido, conocer las patrones actuales de diversidad, estructura y composición de la flora del DMI Laguna de San Diego permitirá interpretar de manera más acertada como era el ambiente del pasado en este territorio y como este ha cambiado en el tiempo, además de ser base para futuros estudios en esta área protegida y apoyo para tomar decisiones para un adecuado ordenamiento de este territorio.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el volcán de San Diego (5.65 N, - 74.96 O) también conocido como la Laguna de San Diego (Figura 1), ubicada en el DMI Laguna de San Diego (Samaná, Caldas, Colombia) en la Zona Volcánica de los Andes del Norte, Provincia Volcano Tectónica San Diego-Cerro Machín (Murcia *et al.* 2018), en la vertiente oriental de la Cordillera Central, cuencas de los ríos Samaná Sur y La Miel entre 720

a 1100 m de altitud. El volcán monogenético de San Diego está conformado por La Laguna (maar) y El Cerro (domo volcánico). El maar de San Diego tiene una profundidad máxima de 56 m y fue originado por actividad freatomagmática hace aproximadamente 20000 años y El Cerro de San Diego tiene una altura máxima de 1100 m. y fue originado por la actividad magmática hacia el final del periodo explosivo hace 18000 años (Borrero *et al.* 2017). La Laguna de San Diego fue declarada DMI en el año 2011 y tiene una extensión aproximada de 757.28 ha (CORPOCALDAS 2011) y ha sido objeto de exploraciones mineroenergéticas que han resultado entre otros, en el conocimiento detallado del relieve del fondo de la laguna, batimetría realizada por el Servicio geológico Colombiano (Beltrán *et al.* 2017; Monsalve *et al.* 2023).

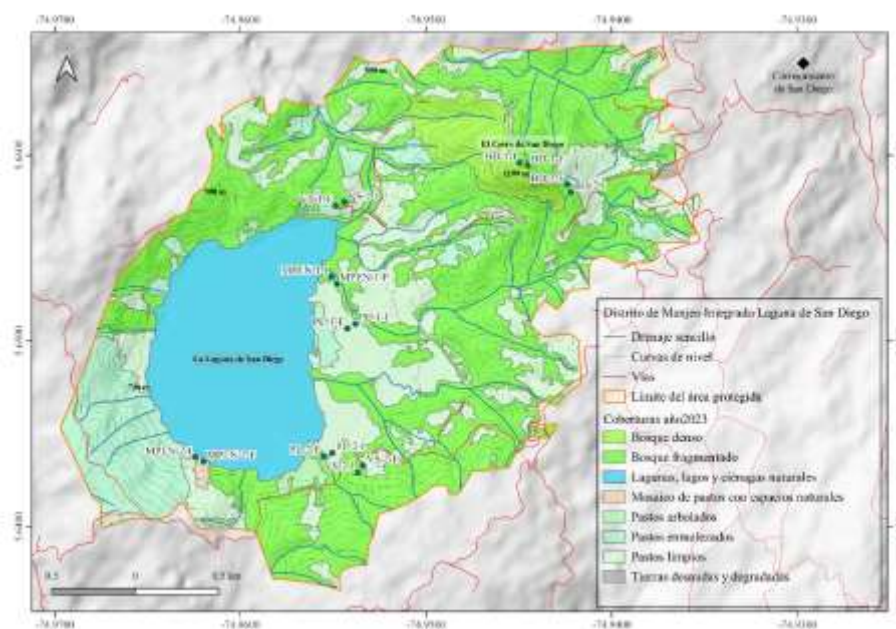


Figura 1 – Coberturas vegetales 2023 presentes en el Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego. Fuente Convenio 122 de 2021 Corpocaldas-Universidad de Caldas.

Toma de datos

La definición de las unidades de coberturas de la tierra se llevó a cabo a partir de los lineamientos establecidos en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), en donde se registraron las coberturas vegetales Bosque denso, Vegetación secundaria o en transición, Mosaico de pastos con espacios naturales y Pastos limpios. Entre septiembre de 2021 y septiembre de 2022, en cada una de las coberturas vegetales se realizaron parcelas de 0,1 ha (Gentry 1982) ubicadas de forma aleatoria y

perpendicular a la pendiente del terreno (Villareal et al. 2006), en donde se censaron todos los individuos con diámetro (DAP) ≥ 2.5 cm, medido a 1.3 m del suelo.

Para el cálculo del índice de valor de importancia – IVI ((DeR + FreRel + DoRel) se determinaron el área basal mediante la ecuación $AB = \pi/4(DAP)^2$ (Franco-Rosselli *et al.* 1997). Para cada especie se calculó la densidad relativa DeRel = (número de individuos por especie/número total de individuos en la comunidad) x 100, la frecuencia relativa (FreRel): (Número de parcelas en las que se encuentra la especie/número de parcelas totales) x 100 (Rangel-Ch. & Velásquez 1997) y la dominancia relativa DoRel = (ΣAB de todos los individuos de la especie/ ΣAB de toda la comunidad) x 100 (Finol 1976). Para evaluar la distribución del diámetro y la altura se construyeron intervalos de clase, mediante la ecuación $C = (X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}})/m$, donde C= amplitud del intervalo; m= $1 + 3.3 \log N$; N: No. De individuos (Rangel-Ch. & Velásquez 1997).

La diversidad se calculó con el número efectivo de especies qD (Hill 1973; Jost 2006; Cultid-Medina & Escobar 2019), donde q_0 , corresponde a la riqueza efectiva, la cual es una medida de la cantidad de especies únicas y distintas presentes en una comunidad; q_1 , corresponde al número efectivo de especies igualmente comunes y es equivalente al exponencial de la entropía de Shannon y q_2 , corresponde al número efectivo de especies dominantes y es equivalente al inverso del índice de Simpson (Jost 2006, 2018). La diversidad fue calculada con el paquete entropart (Marcon & Herault 2015) en el software estadístico R (R Core Team 2022) y el software estadístico online iNEXT (Chao *et al.* 2016). La cobertura de muestreo se calculó en el paquete iNEXT (Hsieh *et al.* 2022) del software estadístico R. El perfil de diversidad fue creado con intervalos de confianza del 95% a partir de 2000 simulaciones de bootstrap en el paquete entropart (Marcon & Herault 2015).

Las muestras botánicas fueron determinadas con el uso de bibliografía especializada (Gentry 1996; Vargas 2002; Cardona *et al.* 2010; David *et al.* 2014; Idárraga *et al.* 2016), consulta de herbarios virtuales (ICN 2004; HUA 2017) y por comparación con muestras del herbario de la Universidad de Caldas (FAUC). La nomenclatura fue validada con la herramienta TNRS v4.1 (Boyle 2013) y en POWO (2023).

Resultados y discusión

En total fueron registrados 517 individuos, 100 especies y 42 familias botánicas (Anexo 1). Las familias más representativas fueron Melastomataceae (14 spp.), Lauraceae y Rubiaceae con 7 spp. cada una. En la cobertura vegetal Bosque denso las especies con mayores valores del IVI fueron *Pourouma bicolor* Mart. (20.9), *Marila podantha* Cuatrec. (18.1) y *Hedyosmum cf. racemosum* (14.6); en Mosaico de pastos con espacios naturales fueron *Triplaris dugandii* Brandbyge (53.7), *Nectandra* sp. 1 (51.9), *Cedrela odorata* L. (42.4) y *Vismia macrophylla* Kunth (37.1); en Pastos limpios fueron *Psidium guajava* L. (75.6) y *Myrsine*

coriacea (Sw.) Roem. & Schult. (59.4) y en Vegetación secundaria o en transición fueron *Gutteria punctata* (Aubl.) R.A. Howard (21.2), *Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don (20.2) y *Graffenrieda galeottii* (Naudin) L.O.Williams con 19.5 (Figura 2, Figura 3 y Figura 4).

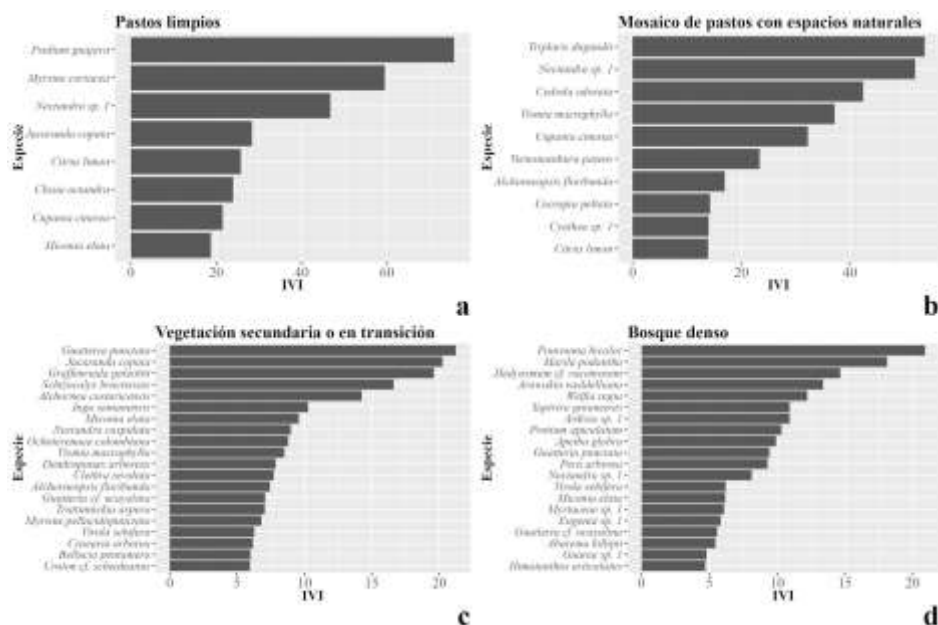


Figura 2 – Índice de valor de importancia (IVI) en cada cobertura vegetal evaluada.

Que especies Heliófitas durables (Finegan 1996) como *Hedyosmum cf. racemosum*, *Marila podantha* Cuatrec. y *Pourouma bicolor* Mart., presenten los mayores valores de IVI en el Bosque denso indica que esta cobertura vegetal se encuentra en una sucesión intermedia, ya que, estas especies son de vida relativamente larga, pueden tener un crecimiento entre rápido, regular y alcanzar grandes dimensiones, tanto en diámetro como en altura (Sánchez *et al.* 2007). Esto puede ser debido a diferentes tipos de disturbios característicos en la zona, tales como lluvias torrenciales y rayos (Turner 2010; Albrecht *et al.* 2016; Torres-Sánchez 2019), pero también debido a la deforestación que se puede llevar a cabo en el morro del DMI Laguna de San Diego. Sin embargo, la presencia de especies esciófitas como *Virola sebifera* Aubl. (Myristicaceae) y *Welfia regia* H.Wendl. (Arecaceae) refleja un cierre del dosel y el establecimiento de especies tolerantes a la sombra (Yepes *et al.* 2010) por lo que el Bosque denso podría estar experimentando perturbaciones frecuentes que mantienen a esta cobertura vegetal en un estado dinámico entre etapas de sucesión intermedia y avanzada (Connell 1973; Holl 2023).

En la Vegetación secundaria o en transición, predominan especies Heliófitas efímeras y Heliófitas durables (Finegan 1996) tales como *Alchornea costaricensis* Pax & K.Hoffm. (Euphorbiaceae), *Graffenrieda galeottii* (Naudin) (Melastomataceae), *Gutteria punctata* (Aubl.) R.A. Howard (Annonaceae), *Inga samanensis* Uribe (Fabaceae) y *Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don (Bignoniaceae), las cuales se caracterizan

presentar crecimiento rápido y regular, ciclo de vida relativamente corto a largo y se encuentran frecuentemente en claros recientes (Sánchez *et al.* 2007), estando presentes desde la sucesión temprana hasta los bosques secundarios y tardíos (Montagnini 2000; Kunert *et al.* 2015; Sánchez *et al.* 2018), indicando que en esta cobertura vegetal se presenta un adecuado curso de la sucesión vegetal, en dirección a estados más avanzados, donde el dosel del bosque se cierra y permite el establecimiento de especies tolerantes a la sombra (Guariguata & Ostertag 2002).

La presencia de especies Heliófitas efímeras como *Triplaris dugandii* Brandbyge (Polygonaceae), *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) y *Myrsine coriacea* (Sw.) Roem. & Schult. (Myrsinaceae) en Mosaico de pastos con espacios naturales y en Pastos limpios, indica que estas coberturas vegetales se encuentran en estado de sucesión temprana, donde dominan las especies pioneras y no está formado un dosel, además, la presencia de especies esciófitas como *Cedrela odorata* (Meliaceae) es un reflejo del uso del suelo en estas coberturas, donde son características las prácticas de tala selectiva, dejando en pie árboles de grandes diámetros y alturas (Figura 5 y Figura 6).

En relación con las clases altimétricas y diamétricas (Figura 5 y Figura 6), en Bosque denso y Vegetación secundaria o en transición la mayoría de los individuos se agruparon en las categorías diamétricas y altimétricas iniciales, reflejando un comportamiento de “J” invertida, presentando un descenso en la abundancia a medida que aumentan las categorías (Galeano 2001), lo cual permite la generación de un banco de plántulas, sotobosque y dosel, llevando a una mayor complejidad estructural en estas coberturas vegetales (Guariguata & Ostertag 2002). Mientras que en Mosaico de pastos con espacios naturales y en Pastos limpios, dominaron individuos de gran altura en la clase IV (Mosaico de pastos con espacios naturales) y de grandes diámetros en la clase III (Pastos limpios), así, este patrón de J invertida fue menos evidente, en donde árboles aislados de grandes diámetros y alturas quedan aislados debido actividades de tala selectiva y ganadería, por lo que se registran especies como *Cedrela odorata* (Mosaico de pastos con espacios naturales) y *Jacaranda copaia* (Pastos limpios), las cuales únicamente presentan individuos de grandes diámetros y alturas, pues debido al uso del suelo en las coberturas vegetales donde se registran y al predominio de pastos, se dificulta tanto la germinación de semillas, como el establecimiento y crecimiento de plántulas.

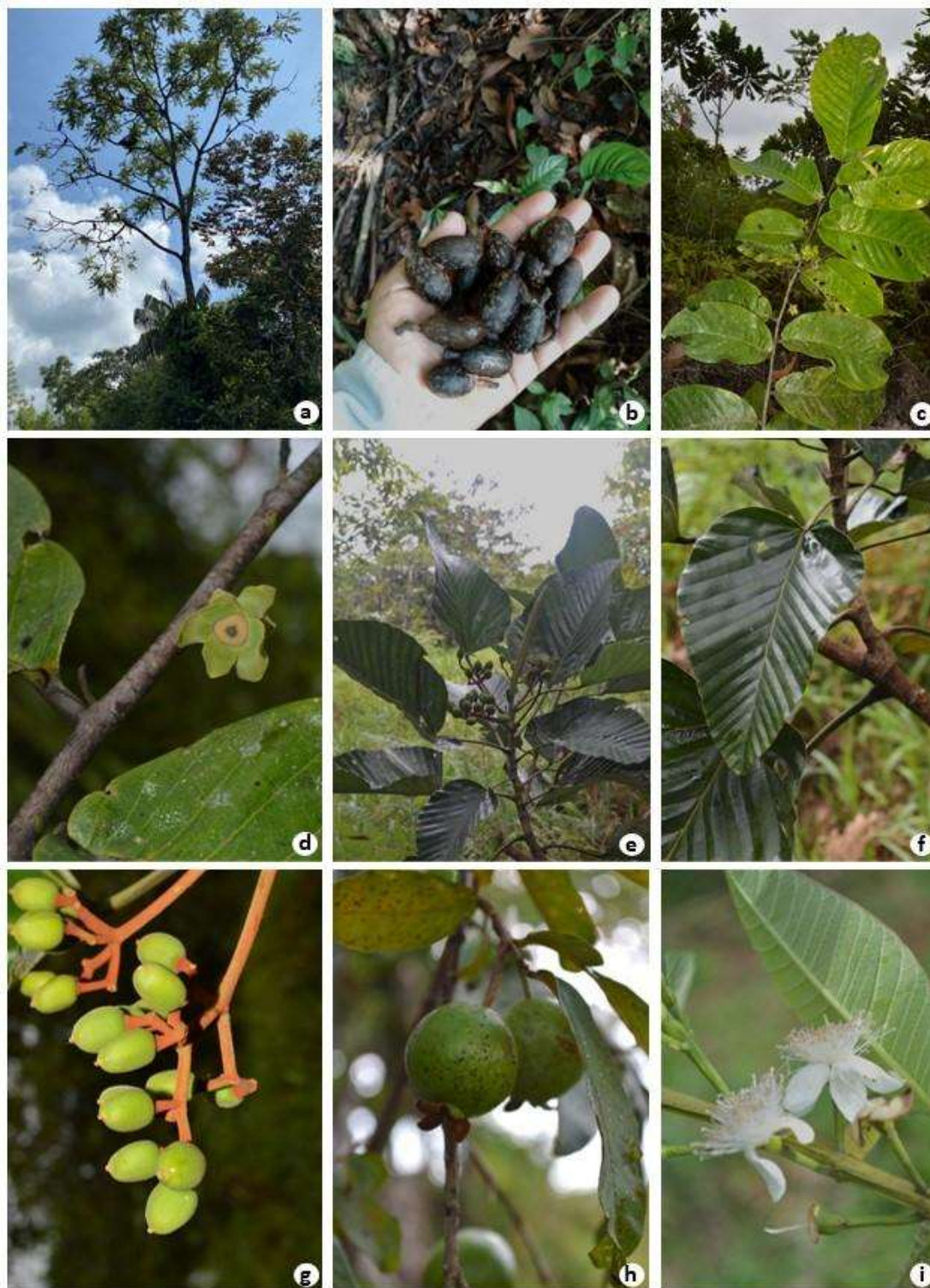


Figura 3 – a-i. Algunas especies con mayores valores del IVI – a-b. *Cedrela odorata* (Meliaceae); c-d. *Guatteria punctata* (Annonaceae); e-g. *Pourouma bicolor* (Urticaceae); h-i. *Psidium guajava* (Myrtaceae).

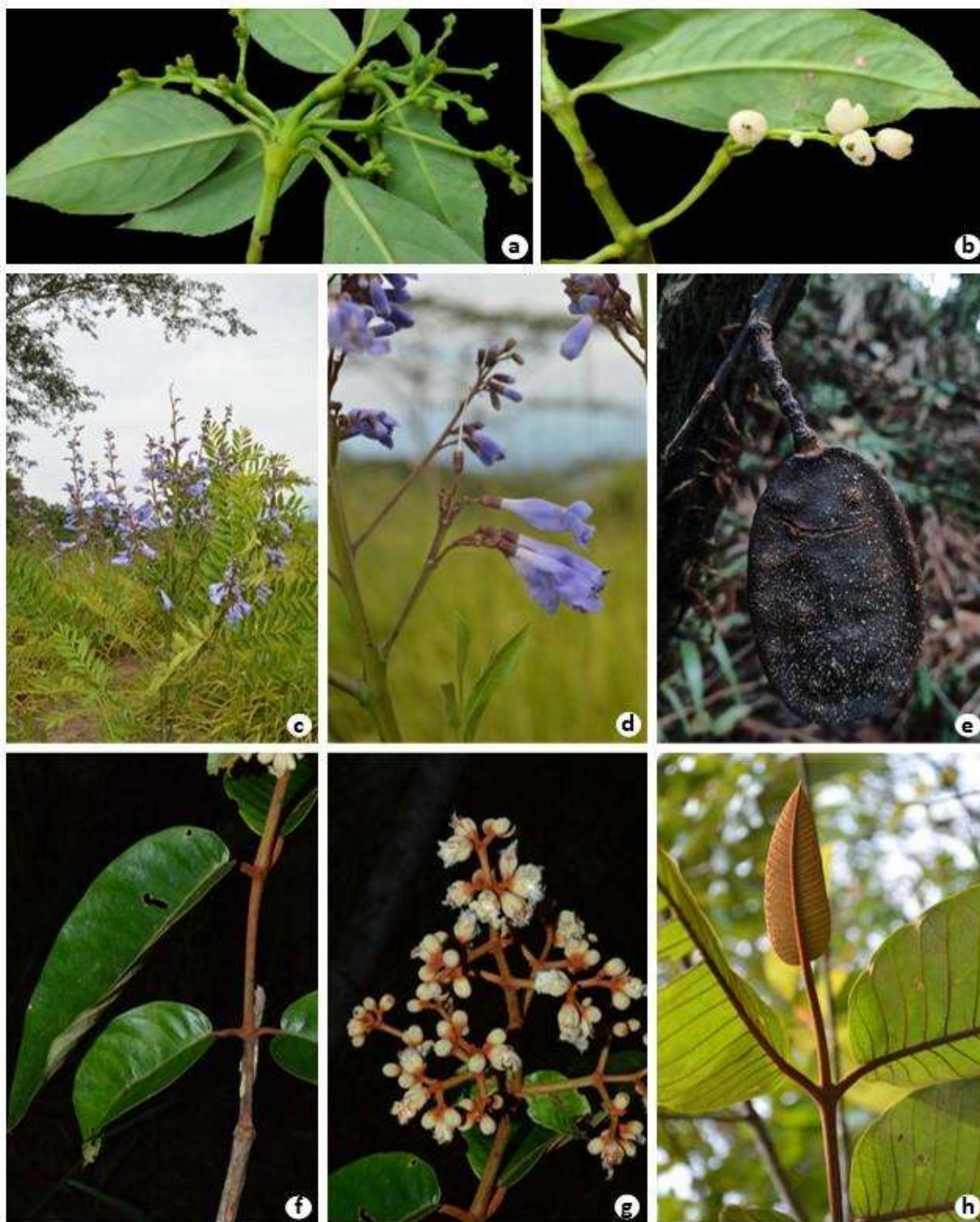


Figura 4 – a-h. Algunas especies con mayores valores del IVI – a-b. *Hedyosmum racemosum* (Chloranthaceae); c-e. *Jacaranda copaia* (Bignoniaceae); f-h. *Vismia macrophylla* (Hypericaceae).

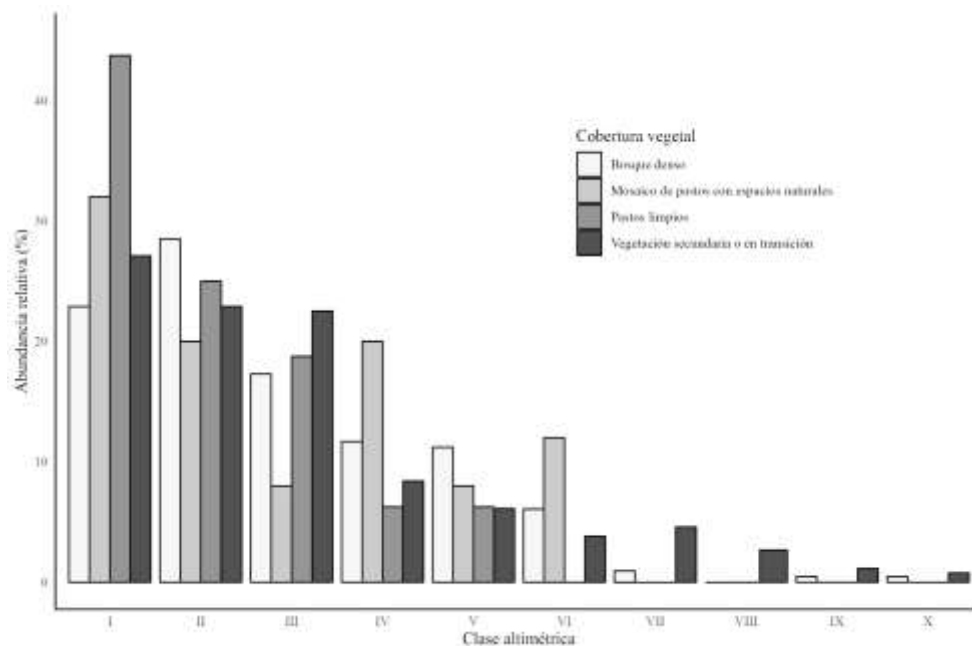


Figura 5 - Distribuciones altimétricas para los individuos con DAP \geq 2.5 cm en las diferentes coberturas vegetales evaluadas.

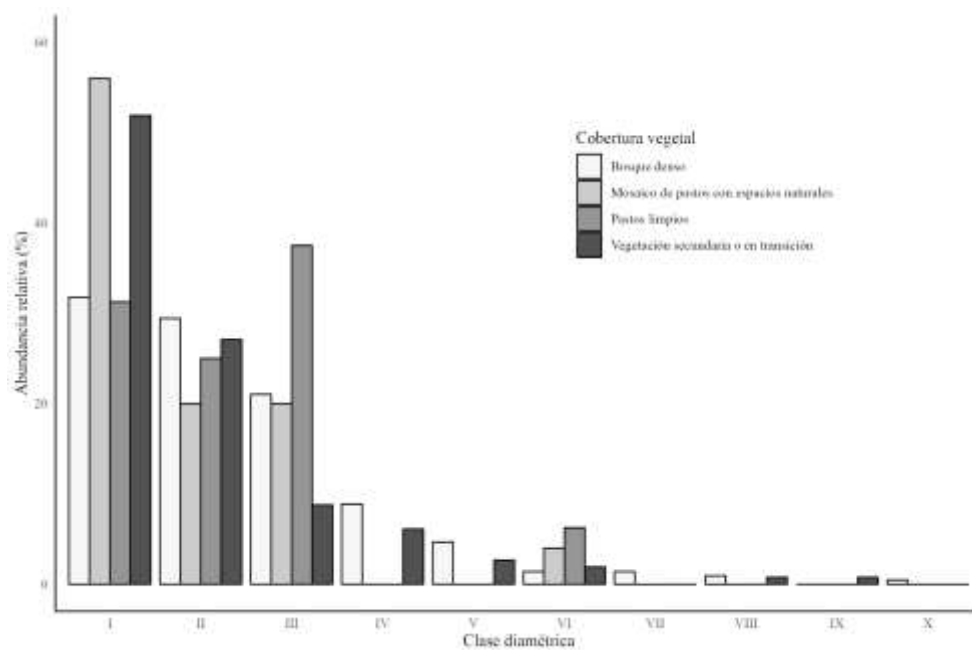


Figura 6 - Distribuciones diamétricas para los individuos con DAP \geq 2.5 cm en las diferentes coberturas vegetales evaluadas.

Respecto a la diversidad, esta se estimó y comparó bajo una cobertura de muestreo del 76.03%, ya que, para compararla entre las coberturas vegetales los valores deben estar bajo el mismo porcentaje de cobertura de muestreo, por lo que se siguieron las recomendaciones de Cultid-Medida & Escobar (2019) quienes mencionan que no se deben usar valores extrapolados asociados a más del doble de las abundancias observadas en las muestras menos completas y que la comparación se debe hacer usando la menor cantidad posible de valores extrapolados, por lo que se siguieron los valores reportados en el escenario de comparación 2 (Tabla 1 y Figura 7). En donde en el Bosque denso se registraron los valores más altos de diversidad en todos los órdenes (0D , 1D y 2D), seguido de denso Vegetación secundaria o en transición, mientras que los valores más bajos de diversidad se registraron en Mosaico de pastos con espacios naturales y en Pastos limpios.

Tabla 1 – Diversidad (qD) florística en cuatro coberturas vegetales del área protegida Laguna de San Diego.

Es	Cobertura vegetal	Método	Ab	Val. CobM	0D	1D	2D
1	Pl	Obs	16	63.47 %	8 ± 5.5	5.6 ± 5.4	4 ± 3.7
	Mpen	Obs	25	80.32 %	10 ± 6.4	7.7 ± 4.0	6.2 ± 3.0
	Vst	Obs	262	91.24 %	58 ± 14.5	32.2 ± 5.6	20.1 ± 4.3
	Bd	Obs	214	91.66 %	59 ± 8.6	40.4 ± 5.6	29.8 ± 5.5
2	Pl	Ext	32	76.03 %	13.1 ± 11.0	7.6 ± 6.2	4.4 ± 4.5
	Mpen	Int	28	76.03 %	8.3 ± 5.8	6.7 ± 3.6	5.6 ± 2.8
	Vst	Int	74	76.03 %	32.6 ± 6.8	23.5 ± 4.7	16.9 ± 3.5
	Bd	Int	87	76.03 %	40.3 ± 5.8	31.5 ± 4.8	24.8 ± 4.3

Bd: Bosque denso, Mpen: Mosaico de pastos en espacios naturales, Pl: Pastos limpios, Vst: Vegetación secundaria o en transición. Es: Escenario de comparación. Ext: Extrapolación, Int: Interpolación, Obs: Diversidad observada. Ab: Abundancia. Val.CobM: Valor de la cobertura de muestreo.

El Bosque denso presentó el valor más alto de diversidad 0D (40.3), lo que indica que esta cobertura vegetal tiene la mayor riqueza efectiva de especies entre las coberturas vegetales muestreadas, seguida de Vegetación secundaria o en transición con un valor de 32.6, siendo Mosaico de pastos con espacios naturales la que presenta el menor valor con 8.3 (Tabla 1 y Figura 7). Así mismo, respecto a la entropía de Shannon (1D), el Bosque denso también fue la cobertura vegetal con el valor más alto (31.5), seguido por Vegetación secundaria o en transición con 23.5 (Tabla 1 y Figura 7). Esto indica que estas coberturas tienen una mayor diversidad en términos de riqueza de especies y una distribución más equitativa de la abundancia entre ellas. En contraste, Mosaico de pastos en espacios naturales tiene el valor más bajo de 1D (6.7). Respecto a la diversidad 2D , de nuevo el Bosque denso presenta los valores más altos (24.8), seguida por Vegetación secundaria o en transición (16.9), es decir, que estas coberturas vegetales tienen una mayor equitabilidad en la distribución de las especies y una menor dominancia de unas pocas especies, representando una estructura

de comunidad más diversa y equilibrada (Hill 1973; Jost 2006), en comparación con Pastos limpios (4.4) y Mosaico de pastos con espacios naturales (5.6), en donde hay una mayor dominancia de unas pocas especies y una distribución menos equitativa de la abundancia entre las especies, lo cual es característico en coberturas vegetales donde se llevan a cabo actividades agropecuarias.

Los intervalos de confianza de los diferentes valores de diversidad (0D , 1D y 2D) entre Bosque denso y Vegetación secundaria baja se superponen, indicando que no hay diferencias significativas de la diversidad entre estas dos coberturas vegetales (Figura 7), lo que apoya los resultados del Índice de Valor de Importancia (Figura 2), en donde se menciona que el Bosque denso se encuentra en estados de sucesión intermedia, con predominancia de especies pioneras.

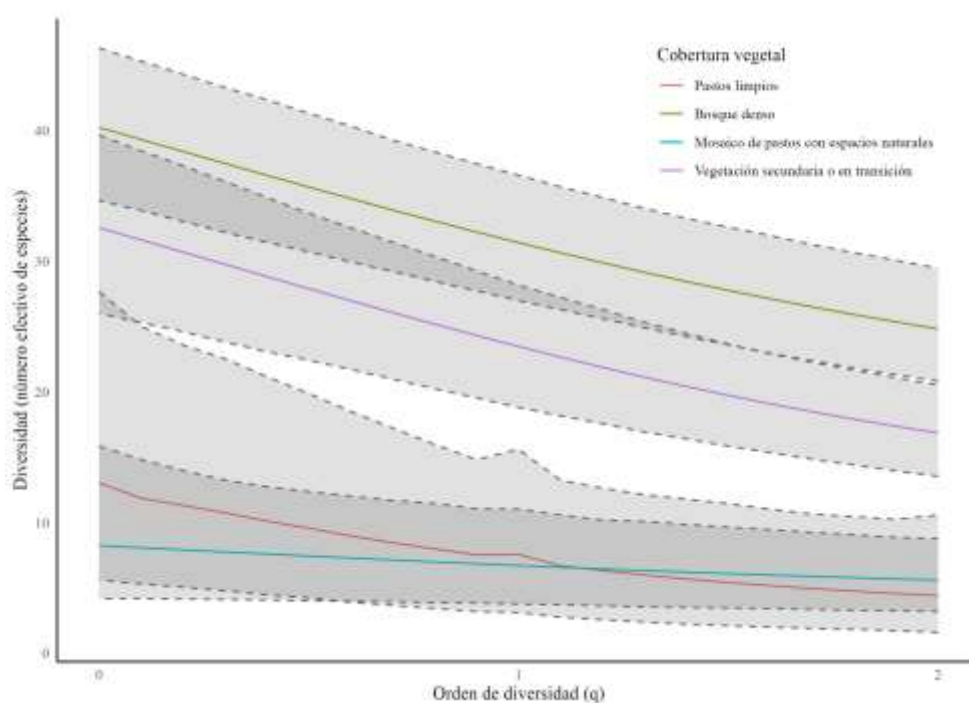


Figura 7 – Valores de diversidad qD en las diferentes coberturas vegetales evaluadas.

Se resalta la importancia de promover estrategias de conservación de las coberturas vegetales Bosque denso y Vegetación secundaria o en transición, las cuales se encuentran principalmente rodeando El Morro (bosque denso) y la pared del cráter (Vegetación secundaria o en transición), ya que, estas coberturas representan las más conservadas y diversas en este estudio, en donde se registran especies características de estados avanzados de sucesión vegetal (Guariguata & Ostertag, 2002), tales como *Aniba perutilis*, *Gustavia*

speciosa, *Virola sebifera* y *Welfia regia*. Además, en estas coberturas vegetales se registran 57 de las 62 especies que presentan alguna categoría de riesgo a la extinción (UICN 2022-2), es decir que estas albergan el 92% de las especies en peligro del DMI Laguna de San Diego (Anexo 1).

Referencias

Acosta-Galvis AR, Huertas-Salgado C & Rada M (2006) Aproximación al conocimiento de los anfibios en una localidad del Magdalena medio (departamento de Caldas, Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 30 (115): 291–303.

Álvarez LM, Sanín D, Alzate-Q NF, Castaño-Rubiano N, Mancera JC & González-O G (2007) Plantas de la región Centro-Sur de Caldas. Universidad de Caldas. 526 p.

Alvear M, Betancur J & Franco Rosselli P (2010) Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural los Nevados, Cordillera Central Colombiana. *Caldasia* 32(1): 39–63.

Albrecht RI, Goodman SJ, Buechler DE, Blakeslee RJ & Hugh JC (2016) “Where are the lightning hotspots on Earth?”. *American Meteorological Society* 2: 2051–2068.

Benavides-Ossa Y, Ramírez-Sanabria JI, Castaño-Rubiano N, Feuillet-Hurtado C, Castaño-Villa GJ & Aguirre-Acosta N (2022) Anti-personnel mines affect tree diversity in the Selva de Florencia National Natural Park, Colombia. *Parks* 28: 2. 10.2305/IUCN.CH.2022.PARKS-28-2YBO.en

Bernal R, Gradstein SR & Celis M (2019) Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
<http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>

Beltrán M, Matiz C, Torres R & Ordoñez M (2017) Batimetría Laguna de San Diego. XVI Colombian Geological Congress. August 28 – September 01. Santa Marta, Colombia.

Borrero C, Murcia H, Agustin-Flores J, Arboleda MT & Giraldo AM (2017) Pyroclastic deposits of San Diego maar, central Colombia: An example of a silicic magma-related monogenetic eruption in a hard substrate. In *Geological Society Special Publication* 446: 361–374.

Boyle B, Hopkins N, Lu Z, Raygoza JA, Mozzherin D, Rees T, Naim Matasci, Martha L Narro, William H Piel, Sheldon J McKay, Sonya Lowry, Chris Freeland, Peet R & BJ Enquist (2013) The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standardization of plant names. *BMC Bioinformatics* 14:16. doi:10.1186/1471-2105-14-16.

- Calonje M, Castro J, Coca Lf, Jaramillo D & Aristizabal, A (2021) Two new species of *Zamia* (Zamiaceae, Cycadales) from the Magdalena-Urabá moist forests ecoregion of northern Colombia. *Phytotaxa* 497(1): 001–019.
- Cardona N, David H & Hoyos S (2010) Flora de la Miel, Central Hidroeléctrica Miel I, Oriente de Caldas, Guía ilustrada. ISAGEN - Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia (HUA), Medellín, Colombia. 228 p.
- Chao AM (2016) User's Guide for iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Institute of Statistics, National Tsing Hua University, Hsin-Chu, Taiwan 30043. <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>.
- CITES. (2023). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES). <http://www.cites.org>.
- Connell JH (1978) Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199: 1302–1310.
- CORPOCALDAS (2011) Acuerdo de consejo directivo número 19 de 2011. Por medio del cual se delimita y declara el Distrito Regional de Manejo Integrado de Recursos Renovables “Laguna de San Diego” y se dictan normas para su uso y funcionamiento. Corporación Autónoma Regional de Caldas, Manizales. 4 p.
- Cultid-Medina CA & Escobar F (2019) Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica. In Moreno CE (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Libermex 175–202.
- David H, Díaz V, Urrea Lm & Cardona F (2014) Guía Ilustrada Flora Cañón del río Porce, Antioquia. EPM E.S.P. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia. 264 pp.
- Flantua SGA, O'Dea A, Onstein RE, Giraldo C & Hooghiemstra H (2019) The flickering connectivity system of the north Andean páramos. *Journal of Biogeography* 46:1808–1825.
- Finol H (1976) Estudio fitosociológico de las unidades 2 y 3 de la Reserva Forestal de Carapo, Estado de Barinas. *Acta Botánica Venezolana* 10(1-4): 15–103.
- Finegan B (1992) The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management* 47:295–321.
- Franco-Rosselli P, Betancur J, Fernández-Alonso JL (1997) Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Caldasia* 19(1-2): 206–207.

- Galeano G (2001) Estructura, riqueza y composición de plantas leñosas en el golfo de Tribugá, Chocó, Colombia. *Caldasia* 23(1): 213–236.
- Gentry AH (1982) Patterns of Neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology* 15: 1–84.
- Gentry AH (1996) A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú). University of Chicago press. Chicago, 337 p.
- Gonzales-Akre E (2012) Paleobotánica: Plantas del pasado geológico. En Sánchez-Villagra M (Ed): Venezuela Paleontológica. Evolución de la biodiversidad en el pasado geológico. Universität Zürich Paläontologisches Institut und Museum. 365 p.
- Guariguata M & Ostertag R (2002) Sucesión secundaria. En Guariguata M & Kattan GH (Eds.) Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago (Costa Rica). Libro Universitario Regional 56–90.
- Herrera A, Ballesteros H, Echeverry J, Rodríguez C (2018) Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Selva de Florencia. Parques Nacionales Naturales de Colombia. 146 p.
- Hernández J, Guerra AH, Quijano RO & Walschburger T (1992) Unidades biogeográficas de Colombia. En: Halffter G (Ed.). La diversidad biológica de iberoamérica I. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Instituto de Ecología. Primera Edición.
- Hill MO (1973) Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54(2): 427–432.
- Holl D (2023) Introducción a la restauración ecológica. CopIt arXives. <https://copitarxives.fisica.unam.mx/LT0003ES/LT0003ES.html>
- Hsieh TC, Ma KH & Chao A (2022) Package Interpolation and Extrapolation for Species Diversity. ‘iNEXT’ <https://cran.r-project.org/web/packages/iNEXT/iNEXT.pdf>
- HUA/Herbario Universidad de Antioquia (2017) Colecciones en línea. <http://www2.udea.edu.co/herbario/paginas/consultas/consultarEjemplares.iface>
- ICN/INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES (2004 y continuamente actualizado) Colecciones en línea. <http://www.biovirtual.unal.edu.co>.
- Idárraga P, Urrea LM, Roldán FJ, Cardona F (2016) Flora del Magdalena Medio: áreas de influencia de la Central Térmica Termocentro. ISAGEN – Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 270 p.

IDEAM (2010) Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C. 72 p.

Jost L (2006) Entropy and diversity. *Oikos* 113(2): 363–375.

Jost L (2018) ¿Qué entendemos por diversidad? El camino hacia la cuantificación. *Mètode Science Studies Journal* 98: 39–45.

Kunert N, Teóphilo L, Higuchi N, Santos J & Trumborea S (2015). Higher tree transpiration due to road-associated edge effects in a tropical moist lowland forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 213: 183–192.

Marcon E & Hérault B (2015) Entropart: An R package to measure and partition diversity. *Journal of Statistical Software* 67(8): 1–26.

Mendoza H (2011) *Meriania selvaflourensensis* (Melastomataceae) una nueva especie lianescente de Colombia. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 68(2): 249–252.

Moreno Oe (2006) Las bromeliáceas del Parque Nacional Natural Selva de Florencia. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas.

Monsalve ML, Ortiz ID & Norini G (2019) El Escondido, a Newly Identified Silicic Quaternary Volcano in the NE Region of the Northern Volcanic Segment (Central Cordillera of Colombia). *J. Volcanol. Geotherm. Res* 383: 47–62.

Monsalve M, Ortiz LM, & Vallejo AH. (2023). Morphology and general stratigraphy of the maar-type San Diego volcano, NE of Caldas, Colombia. *Boletín Geológico* 50(1): 1–23.

Montagnini F (2000) Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management* 134 (1-3): 257–270.

Murcia H, Borrero C & Németh K (2018) Overview and plumbing system implications of monogenetic volcanism in the northernmost Andes' volcanic province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383(1): 77–87.

POWO (2023) Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>

R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Ramírez J & Bohórquez AF (2013) Flora vascular de la reserva Riomanso (Norcasia - Caldas). Tesis de pregrado. Ingeniería agronómica. Universidad de Caldas.

Rangel JO & Velázquez A (1997) Métodos de estudio de la vegetación, pp. 59–87, en: Rangel JO, Lowy PD & Aguilar M (eds.). Colombia. Diversidad Biótica II. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Restrepo D (2003) Estructura y composición florística de un fragmento boscoso ubicado en el bosque de Florencia, Municipio de Samaná (Caldas). Instituto de Educación Superior Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas IES CINOC. Unidad de Técnicas Agropecuarias - Técnicas Forestales.

Rojas V, Estévez J & Roncancio N (2008) Estructura y composición florística de remanentes de bosque húmedo tropical en el oriente de caldas, Colombia. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 12 (1), 24–37

Roncancio N, Rojas W & Defler T (2011) Densidad poblacional de *saguinus leucopus* en áreas alteradas con diferentes características físicas y biológicas. Mastozoología Neotropical 18(1):105–117.

RUNAP (2022) Registro único de áreas protegidas de Colombia. Servicio Geológico Colombiano.

Sánchez SO, Islebe G & Hernández M (2007) Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. Foresta Veracruzana 9:17–26.

Sánchez D, Finegan B, Harvey C & Delgado D (2018). Tipos de bosques en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua. Recursos Naturales y Ambiente (51): 48–56.

Sánchez-Torres L, Toro A, Murcia H, Borrero C, Delgado R & GómezArango J (2019) El Escondido Tuff Cone (38 Ka): a Hidden History of Monogenetic Eruptions in the Northernmost Volcanic Chain in the Colombian Andes. Bull. Volcanol. 81: 71.

Sánchez-Torres L, Murcia H & Schonwalder-Ángel D (2022) The Northernmost Volcanoes in South America (Colombia, 5–6 ° N): The Potentially Active Samaná Monogenetic Volcanic Field. Front. Earth Sci. 10:880003.

Sierra-Giraldo Ja, Orozco-A Ja, Trujillo-Trujillo E & Castaño-Rubiano N (2022) New species of Anthurium sect. Calomystrium (Araceae) from Colombia. Phytotaxa Vol560(1): 119–127.

Tapasco J (2002) Evaluación de la regeneración de la biodiversidad en la reserva Selva de Florencia. Tesis de postgrado, Universidad de Caldas.

Torres-Sanchez H (2019) Humboldt y el rayo del Catatumbo: ¿mito o realidad? *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 43(168):382–387.

Turner MG (2010) Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91(10): 2833–2849.

UICN (2022-2) The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-2. <<http://www.iucnredlist.org>>.

Van Der Hammen T & Hooghiemstra H (2001) Historia y paleoecología de los bosques montanos andinos neotropicales. Instituto Nacional de Biodiversidad. Heredia, Costa Rica. 586 p.

Vargas W (2002) Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Universidad de Caldas, Manizales.

Velasquez-Franco S (2020) Listening to Las Lagunas: A long-term perspective applied to environmental management in the Equatorial Andes. The University of Utah. Inédito. Disertación doctoral.

Villarreal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, Mendoza H, Ospina M & Umaña, AM (2006) Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.

Yepes A, Del Valle J, Jaramillo S & Orrego S (2010) Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 58(1): 427–445.

Anexo 1 – Valores del IVI y categorías UICN (2022-2) para las especies de plantas registradas en parcelas tipo Gentry en el área protegida Laguna de San Diego (Samaná, Colombia). Se resaltan los valores más altos por cobertura vegetal.

Especie	AB	ABR	F	FR	D	DR	IVI	UICN
Bosque denso								
<i>Abarema killipii</i> (Britton & Killip) Barneby & J.	2	0.93	1	1.35	0.08	3.15	5.44	VU
<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	1	0.47	1	1.35	0	0.09	1.91	LC
<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	1	0.47	1	1.35	0.02	0.72	2.54	VU
<i>Annona mucosa</i> Jacq.	1	0.47	1	1.35	0.01	0.49	2.3	LC
<i>Apeiba glabra</i> Aubl.	2	0.93	1	1.35	0.19	7.63	9.92	LC
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	1	0.47	1	1.35	0.01	0.58	2.4	LC
<i>Arawakia weddelliana</i> (Planch. & Triana) L. Marinho	11	5.14	2	2.7	0.14	5.55	13.39	LC
<i>Ardisia</i> sp. 1	13	6.07	2	2.7	0.05	2.14	10.92	-
<i>Bactris pilosa</i> H.Karst.	2	0.93	1	1.35	0.01	0.56	2.84	-
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Ducke	2	0.93	1	1.35	0.01	0.27	2.56	LC
<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	2	0.93	2	2.7	0	0.19	3.82	LC
<i>Cestrum schlechtendalii</i> G. Don	3	1.4	1	1.35	0	0.18	2.94	LC
<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1	0.47	1	1.35	0.02	0.72	2.54	LC
<i>Clidemia ciliata</i> D.Don	1	0.47	1	1.35	0	0.16	1.98	-
<i>Cyathea</i> sp. 1	4	1.87	1	1.35	0.01	0.54	3.76	-
<i>Elaeagia pastoensis</i> L.E.Mora	3	1.4	1	1.35	0	0.16	2.92	LC
<i>Erythroxylum macrophyllum</i> Cav.	1	0.47	1	1.35	0.02	0.74	2.56	-
<i>Eugenia</i> sp. 1	4	1.87	2	2.7	0.03	1.26	5.84	-
<i>Gloeospermum sphaerocarpum</i> Triana & Planch.	4	1.87	1	1.35	0.01	0.3	3.52	LC
<i>Graffenrieda galeottii</i> (Naudin) L.O.Williams	3	1.4	1	1.35	0.01	0.46	3.22	LC
<i>Guarea</i> sp. 1	4	1.87	1	1.35	0.04	1.57	4.79	-
<i>Guatteria</i> cf. <i>ucayalina</i> Huber	3	1.4	1	1.35	0.07	2.81	5.57	LC
<i>Guatteria punctata</i> (Aubl.) R.A. Howard	8	3.74	2	2.7	0.07	2.99	9.43	LC
<i>Gustavia speciosa</i> (Kunth) DC.	1	0.47	1	1.35	0.02	0.97	2.79	VU
<i>Hedyosmum</i> cf. <i>racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G.Don	15	7.01	2	2.7	0.12	4.95	14.66	LC
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	5	2.34	1	1.35	0.03	1.01	4.69	LC
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	1	0.47	1	1.35	0.03	1.19	3.01	LC
<i>Ladenbergia</i> cf. <i>magdalenae</i> L.Andersson	4	1.87	1	1.35	0.03	1	4.23	LC
<i>Marila podantha</i> Cuatrec.	15	7.01	2	2.7	0.21	8.41	18.12	-
<i>Matisia</i> sp. 1	2	0.93	1	1.35	0.01	0.42	2.7	-
<i>Meriania hoyosii</i> (Wurdack) Almeda & Penneys	2	0.93	1	1.35	0.02	0.84	3.12	-

Especie	AB	ABR	F	FR	D	DR	IVI	UICN
<i>Miconia affinis</i> DC.	1	0.47	1	1.35	0	0.19	2.01	LC
<i>Miconia elata</i> (Sw.) DC.	4	1.87	2	2.7	0.04	1.6	6.17	-
<i>Miconia stenourea</i> Triana	1	0.47	1	1.35	0	0.03	1.85	-
<i>Myrsine pellucidopunctata</i> Oerst.	2	0.93	1	1.35	0.03	1.29	3.58	LC
Myrtaceae sp. 1	5	2.34	2	2.7	0.03	1.04	6.08	-
<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	2	0.93	1	1.35	0.01	0.43	2.72	LC
<i>Nectandra</i> sp. 1	4	1.87	1	1.35	0.12	4.9	8.12	-
<i>Neea amplifolia</i> Donn.Sm.	2	0.93	1	1.35	0	0.08	2.37	LC
<i>Oenocarpus mapora</i> H. Karst.	5	2.34	1	1.35	0.02	0.73	4.41	-
<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	2	0.93	1	1.35	0.01	0.36	2.64	-
<i>Pentagonia</i> cf. <i>angustifolia</i> C.M.Taylor	2	0.93	1	1.35	0.01	0.51	2.79	-
<i>Pera arborea</i> Mutis	7	3.27	2	2.7	0.08	3.32	9.29	-
<i>Perebea</i> cf. <i>xanthochyma</i> H.Karst.	1	0.47	1	1.35	0	0.05	1.87	LC
<i>Persea</i> sp. 1	1	0.47	1	1.35	0.01	0.6	2.42	-
<i>Piper arboreum</i> Aubl.	4	1.87	1	1.35	0.02	0.77	3.99	-
<i>Piper muncanum</i> C.DC.	1	0.47	1	1.35	0	0.04	1.86	LC
<i>Piper pulchrum</i> C.DC.	1	0.47	1	1.35	0	0.08	1.9	LC
<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	12	5.61	2	2.7	0.31	12.61	20.92	LC
<i>Pouteria multiflora</i> (A.DC.) Eyma	1	0.47	1	1.35	0	0.13	1.95	-
<i>Protium apiculatum</i> Swart	10	4.67	2	2.7	0.07	2.94	10.31	LC
<i>Psychotria</i> cf. <i>monsalveae</i> C.M.Taylor	1	0.47	1	1.35	0	0.03	1.85	LC
<i>Rinorea</i> sp. 1	1	0.47	1	1.35	0	0.02	1.84	-
<i>Schizocalyx bracteosus</i> Wedd.	2	0.93	2	2.7	0.01	0.25	3.89	LC
<i>Sphaeropteris</i> cf. <i>quindiensis</i> (H.Karst.) R.M.Tryon	2	0.93	1	1.35	0.01	0.59	2.88	-
<i>Talisia</i> sp. 1	2	0.93	1	1.35	0.01	0.26	2.54	-
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	4	1.87	2	2.7	0.16	6.35	10.92	LC
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	2	0.93	1	1.35	0.1	3.91	6.2	LC
<i>Welfia regia</i> H.Wendl.	10	4.67	2	2.7	0.12	4.85	12.23	-
Mosaico de pastos con espacios naturales								
<i>Alchorneopsis floribunda</i> (Benth.) Müll.Arg.	1	4	1	9.09	0.02	3.87	16.96	LC
<i>Cecropia peltata</i> L.	1	4	1	9.09	0	1.17	14.26	LC
<i>Cedrela odorata</i> L.	1	4	1	9.09	0.11	29.32	42.41	VU
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	1	4	1	9.09	0	0.81	13.91	LC
<i>Cupania cinerea</i> Poepp.	2	8	1	9.09	0.06	15.16	32.25	LC
<i>Cyathea</i> sp. 1	1	4	1	9.09	0	0.9	13.99	-
<i>Nectandra</i> sp. 1	7	28	1	9.09	0.06	14.88	51.97	-
<i>Triplaris dugandii</i> Brandbyge	5	20	1	9.09	0.1	24.62	53.71	LC
<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H.Rob.	3	12	1	9.09	0.01	2.29	23.38	LC

Especie	AB	ABR	F	FR	D	DR	IVI	UICN
<i>Vismia macrophylla</i> Kunth	3	12	2	18.18	0.03	6.97	37.15	LC
Pastos limpios								
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	1	6.25	1	11.11	0.05	8.36	25.72	LC
<i>Clusia octandra</i> (Poepp.) Pipoly	1	6.25	1	11.11	0.04	6.56	23.93	-
<i>Cupania cinerea</i> Poepp.	1	6.25	1	11.11	0.02	4.11	21.47	LC
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	1	6.25	1	11.11	0.07	10.97	28.33	LC
<i>Miconia elata</i> (Sw.) DC.	1	6.25	1	11.11	0.01	1.35	18.72	-
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	3	18.75	2	22.22	0.11	18.49	59.46	-
<i>Nectandra</i> sp. 1	1	6.25	1	11.11	0.17	29.35	46.71	-
<i>Psidium guajava</i> L.	7	43.75	1	11.11	0.12	20.8	75.66	LC
Vegetación secundaria o en transición								
<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	1	0.38	1	1.35	0	0.05	1.78	LC
<i>Abarema killipii</i> (Britton & Killip) Barneby & J.	1	0.38	1	1.35	0	0.11	1.84	VU
<i>Alchornea costaricensis</i> Pax & K.Hoffm.	14	5.34	2	2.7	0.17	6.2	14.24	LC
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	1	0.38	1	1.35	0	0.03	1.76	LC
<i>Alchorneopsis floribunda</i> (Benth.) Müll.Arg.	3	1.15	2	2.7	0.1	3.6	7.44	LC
<i>Annona</i> sp. 1	2	0.76	1	1.35	0.01	0.2	2.31	-
<i>Arawakia weddelliana</i> (Planch. & Triana) L. Marinho	3	1.15	1	1.35	0.03	0.97	3.47	LC
<i>Bellucia pentamera</i> Naudin	6	2.29	1	1.35	0.06	2.36	6	LC
<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	5	1.91	2	2.7	0.04	1.57	6.18	LC
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	2	0.76	1	1.35	0.03	1.03	3.14	LC
<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	1	0.38	1	1.35	0	0.07	1.8	LC
<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	4	1.53	2	2.7	0.1	3.49	7.72	LC
<i>Croton</i> cf. <i>schiedeanus</i> Schltld.	7	2.67	1	1.35	0.05	1.94	5.96	LC
<i>Cupania cinerea</i> Poepp.	2	0.76	1	1.35	0	0.06	2.18	LC
<i>Cyathea</i> sp. 1	1	0.38	1	1.35	0.01	0.2	1.93	-
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	8	3.05	1	1.35	0.09	3.45	7.86	-
<i>Discophora guianensis</i> Miers	1	0.38	1	1.35	0	0.11	1.84	LC
<i>Graffenrieda galeottii</i> (Naudin) L.O.Williams	29	11.07	2	2.7	0.16	5.83	19.6	LC
<i>Gutteria</i> cf. <i>ucayalina</i> Huber	9	3.44	2	2.7	0.03	0.94	7.08	LC
<i>Gutteria punctata</i> (Aubl.) R.A. Howard	28	10.69	2	2.7	0.21	7.85	21.24	LC
<i>Hasseltia floribunda</i> Kunth	2	0.76	2	2.7	0.01	0.41	3.88	LC
<i>Henriettea fissanthera</i> (Gleason) Penneys et al.	1	0.38	1	1.35	0.01	0.26	2	LC
<i>Inga samanensis</i> Uribe	8	3.05	2	2.7	0.12	4.51	10.27	LC

Especie	AB	ABR	F	FR	D	DR	IVI	UICN
<i>Inga</i> sp. 1	1	0.38	1	1.35	0	0.04	1.77	-
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	7	2.67	2	2.7	0.41	14.87	20.25	LC
<i>Jacaranda hesperia</i> Dugand	1	0.38	1	1.35	0	0.08	1.81	LC
Lauraceae sp. 1	3	1.15	1	1.35	0.01	0.33	2.83	-
<i>Marila podantha</i> Cuatrec.	1	0.38	1	1.35	0	0.04	1.78	-
<i>Miconia affinis</i> DC.	4	1.53	1	1.35	0.02	0.61	3.49	LC
<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	1	0.38	1	1.35	0	0.06	1.79	LC
<i>Miconia elata</i> (Sw.) DC.	10	3.82	2	2.7	0.08	3.06	9.58	-
<i>Miconia megalantha</i> Gleason	1	0.38	1	1.35	0	0.03	1.76	LC
<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	2	0.76	1	1.35	0.01	0.33	2.45	LC
<i>Miconia</i> sp. 1	1	0.38	1	1.35	0.03	1.14	2.87	-
<i>Miconia subsessilifolia</i> Wurdack	5	1.91	1	1.35	0.01	0.36	3.62	VU
<i>Miconia tocooca</i> Michelang	1	0.38	1	1.35	0	0.04	1.78	-
<i>Mollinedia ovata</i> Ruiz & Pav.	1	0.38	1	1.35	0	0.02	1.76	LC
<i>Myrcia</i> sp. 1	5	1.91	1	1.35	0.02	0.91	4.17	-
<i>Myrsine pellucidopunctata</i> Oerst.	5	1.91	2	2.7	0.06	2.19	6.8	LC
<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	5	1.91	2	2.7	0.12	4.37	8.98	LC
<i>Nectandra</i> sp. 1	1	0.38	1	1.35	0.01	0.42	2.15	-
<i>Ochoterena</i> sp. 1	4	1.53	2	2.7	0.12	4.56	8.79	-
<i>Ocotea</i> sp. 1	2	0.76	1	1.35	0.05	1.7	3.82	-
<i>Oenocarpus mapora</i> H. Karst.	2	0.76	1	1.35	0.01	0.51	2.62	-
<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	5	1.91	1	1.35	0.01	0.47	3.73	-
<i>Pera arborea</i> Mutis	1	0.38	1	1.35	0.01	0.19	1.92	-
<i>Persea</i> sp. 2	1	0.38	1	1.35	0	0.06	1.79	-
<i>Piper pulchrum</i> C.DC.	3	1.15	1	1.35	0.01	0.31	2.81	LC
<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	4	1.53	1	1.35	0.01	0.54	3.42	LC
<i>Psychotria capitata</i> Ruiz & Pav.	1	0.38	1	1.35	0	0.03	1.76	-
<i>Pterandra colombiana</i> C.E.Anderson	1	0.38	1	1.35	0	0.02	1.75	NT
<i>Schizocalyx bracteosus</i> Wedd.	28	10.69	1	1.35	0.12	4.58	16.61	LC
<i>Sphaeropteris</i> cf. <i>quindiensis</i> (H.Karst.) R.M.Tryon	1	0.38	1	1.35	0.02	0.55	2.29	-
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	1	0.38	1	1.35	0.01	0.25	1.98	LC
<i>Trattinnickia aspera</i> (Standl.) Swart	1	0.38	1	1.35	0.15	5.32	7.06	LC
<i>Triplaris dugandii</i> Brandbyge	2	0.76	2	2.7	0.01	0.25	3.72	LC
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	7	2.67	1	1.35	0.06	2.25	6.27	LC
<i>Vismia macrophylla</i> Kunth	4	1.53	2	2.7	0.12	4.28	8.51	LC

AB: Abundancia, ABR: Abundancia relativa, F: Frecuencia, FR: Frecuencia relativa, D: Dominancia, DR: Dominancia relativa, IVI: Índice de valor de importancia, UICN: Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. LC: Preocupación menor, NT: Casi amenazada, VU: Vulnerable.

CAPITULO II

MORFOLOGÍA DEL POLEN Y LAS ESPORAS DE LA LAGUNA DE SAN DIEGO (CALDAS, COLOMBIA)

Resumen

El estudio de la morfología de los granos de polen y las esporas es una herramienta fundamental para realizar investigaciones sobre interacciones planta-animal, taxonomía, evolución y estudios paleoambientales. En Colombia se han realizado atlas palinológicos en páramo, selva altoandina, subandina y Amazonia, la necesidad de contar con este tipo de investigaciones en regiones como el Chocó, Orinoquía y Valle del Magdalena se debe a la diversidad biótica de estas regiones y al potencial uso de los atlas de polen en ellas. El objetivo de este estudio fue realizar la descripción morfológica del polen y las esporas del DMI Laguna de San Diego, ubicado en el Magdalena caldense. El procesamiento del polen y las esporas se realizó en el laboratorio de palinología del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES), las muestras botánicas fueron determinadas en el herbario FAUC, las fotografías fueron tomadas con un aumento de 100X en el Laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas. A cada especie se le calculó el promedio y la desviación estándar del diámetro ecuatorial, eje polar, diámetro ecuatorial en vista polar y se describieron los tipos de aperturas, ornamentación y caracteres como colpos, poros o columelas. Se presentan descripciones morfológicas para 53 familias, 78 géneros y 101 especies, distribuidas en licófitas (2), Helechos (22), Angiospermas basales (5), Monocotiledóneas (7) y Eudicotiledóneas (65). Se registran 14 tipos de aperturas dominadas por tricolporada (34.6%) y monolete (14.8%) y 12 tipos de ornamentación dominados por reticulada (47.5%) y psilada (16.8%). se espera que esta información pueda ser utilizada en investigaciones sobre reconstrucciones paleoambientales y de restauración ecológica en la región.

Palabras clave: Áreas protegidas, maar, palinología, Valle del Magdalena.

Introducción

Las floras palinológicas o atlas palinológicos se componen por la representación morfológica de los granos de polen y las esporas de una región biogeográfica determinada (Contreras-Duarte *et al.* 2006; García-M *et al.* 2011), estos atlas son esenciales en diferentes estudios ya que los palinomorfos presentan variaciones en sus formas, que llegan a ser diagnósticas y permiten la identificación de taxones en varios niveles de clasificación; estos caracteres son una herramienta fundamental para realizar diferentes estudios, entre los que se destacan la melisopalinología (Morcillo *et al.* 2010; Méndez *et al.* 2021); paleoecología (van der Sande *et al.*, 2023), describir el tipo de interacción planta-animal (Amaya-Márquez *et al.* 2001); conocer

relaciones taxonómicas y sistemáticas (Bogotá & Parra 2002; Ramírez-Valencia *et al.* 2013; Ramírez-Valencia & Sanín 2016; De Souza *et al.* 2019) y aspectos evolutivos de las especies (Wortley *et al.* 2015; Lu *et al.* 2015; Luo *et al.* 2015; Zhang *et al.* 2017; Yu *et al.* 2018; Tao *et al.* 2018). Además, debido a que los granos de polen y las esporas presentan características como producirse en grandes cantidades, tener un tamaño pequeño (microscópico) que les permite dispersarse por diferentes medios y presentar una pared resistente, son en una herramienta valiosa en estudios paleoambientales (Traverse 1988; Jain 2020; Pardo-Trujillo *et al.*, 2021).

La gran diversidad de plantas presente en los ecosistemas tropicales y la complejidad de sus relaciones ecológicas impone un reto en la creación de atlas de referencia de polen y esporas para distintas ecoregiones, de hecho, estos han sido poco investigados palinológicamente (Licciardi *et al.* 2009). En Colombia se han realizado varios atlas palinológicos en ecosistemas de alta montaña (Velásquez & Rangel 1995; Bogotá *et al.* 1996; Velásquez 1999; Bogotá 2002); y en la transición entre páramo y selva altoandina (Mercado-Gómez *et al.* 2007, 2011) de la Cordillera Oriental; otros en selva subandina de la Cordillera Central (Mercado-Gómez *et al.* 2015), otros en ecosistemas de menor altitud del Caribe Colombiano (García-M *et al.* 2011) y gran parte se han realizado en la región Amazónica, (Jiménez-B 1996; Jiménez-B *et al.* 1999; Rangel-Ch *et al.* 2001; Herrera & Urrego 1996; Fontes *et al.* 2019). La restricción de este tipo de estudios a las ecoregiones Andina, Caribe y Amazónica ponen en evidencia la necesidad de realizar investigaciones enfocadas en conocer la flora palinológica en regiones como el Chocó, Orinoquía y valles interandinos.

La creación de este atlas palinológico fue motivada por la necesidad de tener una colección de referencia de palinomorfos cuyas plantas ocurran en la transición de las ecoregiones del bosque montano del Valle del río Magdalena para ponerlo a disposición de estudios (paleo)ecológicos que se están llevando a cabo en la región. Por consiguiente, el objetivo de este capítulo fue realizar la descripción morfológica del polen y las esporas del Distrito de Manejo Integrado (DMI) Laguna de San Diego ubicado en el Magdalena caldense. Este atlas de palinomorfos servirá no solo como colección de referencia para la reconstrucción histórica de los cambios en la vegetación de esta área protegida (Capítulo 3) sino también, representa un aporte para avanzar en las bases para estudiar las respuestas de la vegetación a las variaciones del clima, interacciones planta animal y uso de sus recursos naturales, como apoyo para la toma de decisiones y el adecuado ordenamiento de esta área protegida de escala regional.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el volcán de San Diego (5.65 N, - 74.96 O) también conocido como la Laguna de San Diego (Figura 1), ubicada en el DMI Laguna de San Diego (Samaná, Caldas, Colombia) en la Zona Volcánica de los Andes del Norte, Provincia Volcano Tectónica San Diego-Cerro Machín (Murcia *et al.* 2018), en la vertiente oriental de la Cordillera Central, cuencas de los ríos Samaná Sur y La Miel entre 720 a 1100 m de altitud. El volcán monogenético de San Diego está conformado por La Laguna (maar) y El Cerro (domo volcánico). El maar de San Diego tiene una profundidad máxima de 56 m y fue originado por actividad freatomagmática hace aproximadamente 20000 años y El Cerro de San Diego tiene una altura máxima de 1100 m. y fue originado por la actividad magmática hacia el final del periodo explosivo hace 18000 años (Borrero *et al.* 2017). La Laguna de San Diego fue declarada DMI en el año 2011 y tiene una extensión aproximada de 757.28 ha (CORPOCALDAS 2011) y ha sido objeto de exploraciones mineroenergéticas que han resultado entre otros, en el conocimiento detallado del relieve del fondo de la laguna, batimetría realizada por el Servicio geológico Colombiano (Beltrán *et al.* 2017; Monsalve *et al.* 2023).

Toma de datos

Las muestras botánicas de donde se obtuvieron los granos de polen y las esporas fueron colectadas entre septiembre de 2021 y septiembre de 2022 a partir de recolección libre a lo largo del DMI Laguna de San Diego. El material botánico colectado fue determinado haciendo uso de bibliografía especializada (Tryon & Stolze 1993; Moran & Riba 1995; Gentry 1996; Vargas 2002; Cardona *et al.* 2010; Lehnert 2011; David *et al.* 2014; Idárraga *et al.* 2016), consulta de herbarios virtuales (ICN 2004; HUA 2017) y por comparación con muestras del herbario de la Universidad de Caldas (FAUC). La nomenclatura fue validada con la herramienta TNRS v4.1 (Boyle 2013) y en POWO (2023). En el Anexo 1 se presenta la lista de especies y números de colecta.

Descripción e ilustración de granos de polen y esporas

Los granos de polen y las esporas fueron extraídos de estructuras reproductivas (botones florales y soros) de los ejemplares recolectados en el DMI Laguna de San Diego (Figura 1), los ejemplares botánicos fueron depositados en el herbario de la Universidad de Caldas (FAUC). El material palinológico fue preparado con métodos estandarizados para su apropiada visualización y descripción, usando la técnica de acetólisis de

Erdtman (1986) con modificaciones sugeridas por Pardo-Trujillo *et al.* (2021). Los palinomorfos fueron procesados en el Laboratorio de palinología del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) de la Universidad de Caldas. A todas las muestras se les realizó tinción con safranina con el fin de distinguir estructuras como columelas, poros, colpos (Rincón 2021). Las placas palinológicas fueron depositadas en el Laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas y en las palinotecas del IIES y del laboratorio de paleoecología del Museo de Historia Natral de Utah.

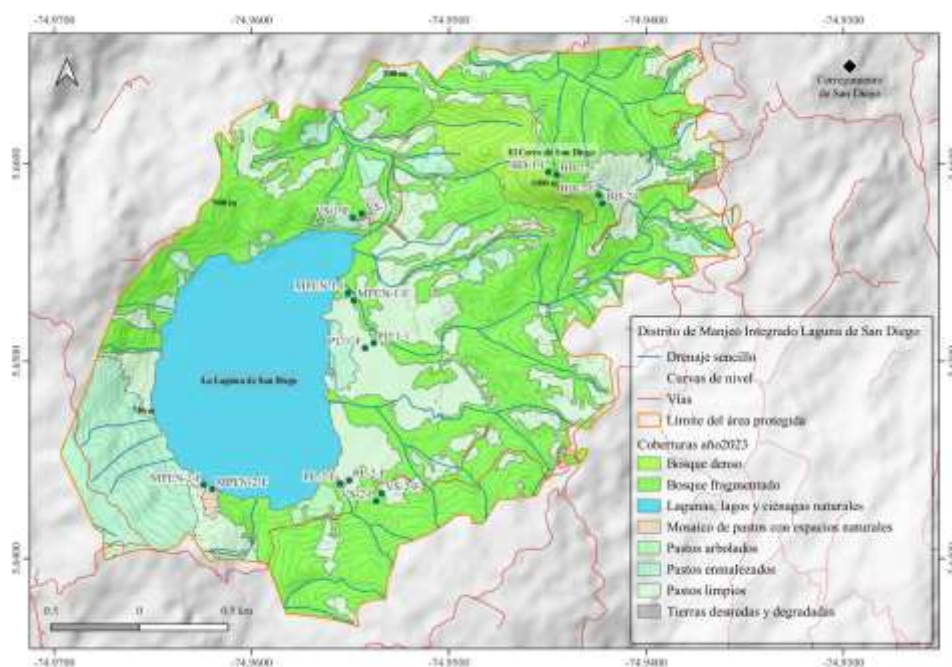


Figura 1 – Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego. Fuente Convenio 122 de 2021 Corpocaldas-Universidad de Caldas.

En la descripción de los palinomorfos se siguió la terminología presentada en Punt *et al.* (2007), Halbritter *et al.* (2018), Jain (2020) y Pardo-Trujillo *et al.* (2021). Las mediciones de las estructuras morfológicas de cada especie se realizaron utilizando el software ImageJ 1.51n (Schindelin *et al.* 2012). A los palinomorfos de cada especie se le calcularon las siguientes métricas a partir de la medición de al menos 10 granos: el promedio y la desviación estándar del diámetro ecuatorial en vista ecuatorial (E.E.) , eje polar en vista ecuatorial (E.P.), diámetro ecuatorial en vista polar (D.E.); para hallar su forma se calculó la relación entre eje polar en vista ecuatorial y diámetro ecuatorial en vista ecuatorial (E.P./E.E.); se describieron caracteres particulares de cada grano como colpos, poros, aberturas, columelas, entre otras (Roubik & Moreno 1991;

Velásquez-R & Rangel-CH 1995; Herrera & Urrego 1996; Velásquez 1999; García-M *et al.* 2011; Leal *et al.* 2011; Fontes *et al.* 2019).

Las fotografías se tomaron con microscopio óptico usando aumentos de 40X y 100X en el Laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas. Las descripciones morfológicas se presentan siguiendo a Mercado-Gómez *et al.* (2015) y Fontes *et al.* (2019). Y en orden alfabético empleando como referencia los esquemas filogenéticos propuestos por APG IV (2016) y PPG I (2016), de la siguiente manera: Licófitas, Helechos, Angiospermas basales, Monocotiledóneas y Eudicotiledóneas. Donde las Angiospermas basales se caracterizan por ser plantas leñosas con hojas simples, persistentes, enteras, flores estrobilares, perfectas, partes florales libres, frecuentemente en grupos de tres, débilmente diferenciadas y presentar polen monosulcado (APG IV 2016).

Resultados y discusión

Se presentan descripciones morfológicas y fotografías del polen y las esporas para 53 familias, 78 géneros y 101 especies (Anexo 1), distribuidas en licófitas (2 spp.), Helechos (22 spp.), Angiospermas basales (5 spp.), Monocotiledóneas (7 spp.) y Eudicotiledóneas (65 spp.). En total se presentan 286 imágenes en 8 láminas, en donde se muestran barras individuales que representan 10 μm .

Licófitos (Lycopodiopsida)

Lycopodiaceae P. Beauv. ex Mirb.

Palhinhaea cernua (L.) Vasc. & Franco (Figura 2, imagen 1–4)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-obtuso-convexo; isopolar; simetría radial; esclerina rugulada; E.P. 32.9 μm (32.2–33.6, n = 4); E.E. 24.1 μm (19.4–27.4, n = 4); D.E. 30.8 μm (27–34.5, n = 9); lesura de 13.7 μm (11.6–15.5, n = 7) de largo por 2.3 μm (0.9–4.6, n = 7) de ancho.

Selaginellaceae Willk.

Selaginella flabellata (L.) Spring (Figura 2, imagen 5–9)

Mónada, microespora trilete; ámbito triangular-obtuso-convexo; isopolar; simetría radial; esclerina equinada; equina cónica y afilada entre 1.5–4.9 μm de largo; E.P. 26.5 μm (21.7–29.8, n = 9); E.E. 18.3 μm (22.6–29.4, n = 10); D.E. 25 μm (21.5–29.7, n = 8); lesura de 11.6 μm (10.1–12.6, n = 3) de largo por 1.2 μm (1–1.4, n = 3) de ancho.

Helechos (Polypodiopsida)

Blechnaceae Newman

Blechnum occidentale L. (Figura 2, imagen 10–11)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, plano convexo (vista ecuatorial); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; perina fuertemente ondulada; E.P. 26.4 μm (25.2–27.8, n = 7); E.E. 41.7 μm (38.6–45.4, n = 7); lesura de 18.9 μm (15.1–22.1, n = 3) de largo por 2.2 μm (1–4, n = 3) de ancho.

Blechnum polypodioides Raddi (Figura 2, imagen 12–13)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo (vista ecuatorial); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; E.P. 24.9 μm (23–29.2, n = 6); E.E. 45.6 μm (40.3–49.5, n = 6); lesura de 22.7 μm (n = 1) de largo por 1.5 μm (n = 1) de ancho.

Salpichlaena volubilis (Kaulf.) J.Sm. (Figura 2, imagen 14–15)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina clavada; E.P. 58.1 μm (47.7–66, n = 7); E.E. 86.7 μm (73.1–96.2, n = 7); lesura de 26.9 μm (24.1–29.7, n = 2) de largo por 3.3 μm (2–4.5, n = 2) de ancho.

Cyatheaceae Kaulf.

Alsophila cuspidata (Kunze) D.S.Conant (Figura 2, imagen 16–18)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-angular-convexo; isopolar; simetría radial; esclerina reticulada; perina cristada; D.E. 34.1 μm (29.43–38.8, n = 2); lesura de 15.4 μm (13.5–17.2, n = 2) de largo por 1.4 μm (1.3–1.4, n = 2) de ancho.

Alsophila imrayana (Hook.) D.S.Conant (Figura 2, imagen 19–20)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-angular-concavo; isopolar; simetría radial; esclerina psilada; perina verrugada; espora con pátina; E.P. 43.9 μm (43.7–44.1, n = 2); E.E. 29.9 μm (28.2–31.7, n = 2); D.E. 37 μm (32.7–42.3, n = 4); lesura de 16.3 μm (16–16.6, n = 2) de largo por 1.8 μm (1.3–2.3, n = 2) de ancho.

Cyathea lockwoodiana (P.G.Windisch) Lellinger (Figura 2, imagen 21–22)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-angular-concavo; isopolar; simetría radial; esclerina perforada; lesura con torus; D.E. 39.6 μm (28.9–46.3, n = 5); lesura de 16.3 μm (13.6–18.1, n = 4) de largo por 2.2 μm (1.3–3.1, n = 4) de ancho.

Cyathea cardenasii Lehnert, F.Giraldo & W.D.Rodr. (Figura 2, imagen 23–24)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-angular-cóncavo; isopolar; simetría radial; esclerina reticulada; heterobrocada; lumen de 0.5–1.8 μm de ancho; E.P. 44.4 μm (40.7–46.9, n = 3); E.E. 32.8 μm (31.9–34, n = 3); D.E. 38.5 μm (37–39.9, n = 4); lesura de 14.9 μm (14.3–15.5, n = 3) de largo por 1.2 μm (1–1.4, n = 3) de ancho.

Dryopteridaceae Herter

Polybotrya caudata Kunze (Figura 2, imagen 25–27)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; E.P. 30.4 μm (24–35, n = 10); E.E. 48.8 μm (42.9–53, n = 10); lesura de 24.1 μm (21.2–28.4, n = 8) de largo por 3.5 μm (1.5–5.4, n = 8) de ancho.

Gleicheniaceae C. Presl

Sticherus bifidus (Willd.) Ching (Figura 2, imagen 28–29)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; E.P. 17.2 μm (10.2–24, n = 10); E.E. 35.7 μm (25.7–40.6, n = 10); lesura de 15.8 μm (9.8–19.2, n = 3) de largo por 2.3 μm (1.8–3.1, n = 3) de ancho.

Hymenophyllaceae Mart.

Trichomanes elegans Rich. (Figura 2, imagen 30–31)

Mónada, espora trilete; ámbito circular; isopolar; simetría radial; esclerina verrugada; perina rugulada; E.P. 37.8 μm (33.2–40.6, n = 8); E.E. 28 μm (24.8–30.8, n = 8); D.E. 33.7 μm (23.7–33.5, n = 4); lesura de 15.7 μm (13.2–16.8, n = 4) de largo por 1.8 μm (0.8–3, n = 4) de ancho.

Nephrolepidaceae Pic. Serm.

Nephrolepis brownii (Desv.) Hovenkamp & Miyam. (Figura 2, imagen 32–33)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 1.3 μm (0.9–1.7 μm , n = 10) de largo por 2.3 μm (1.2–3.2 μm , n = 10) de ancho; E.P. 19.8 μm (16.2–22.3, n = 9); E.E. 35.4 μm (31.9–42, n = 9); lesura de 12.8 μm (9–16.6, n = 2) de largo por 1.4 μm (0.9–1.8, n = 2) de ancho.

Polypodiaceae J. Presl & C. Presl

Campyloneurum nitidissimum (Mett.) Ching (Figura 2, imagen 34–35)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 2.3 μm (1.5–3.1 μm , n = 10) de largo por 3.4 μm (2.8–3.9 μm , n = 10) de ancho; E.P. 33.1 μm (26.9–40.7, n = 10); E.E. 66.4 μm (53.5–76.4, n = 10); lesura de 40.2 μm (39.1–41.2, n = 2) de largo por 4.3 μm (4.1–4.5, n = 2) de ancho.

Campyloneurum aff. *repens* (Aubl.) C.Presl (Figura 3, imagen 1–2)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; perina cristada; E.P. 27 μm (24.1–30.4, n = 8); E.E. 40.4 μm (35.7–46.2, n = 8); lesura de 17.8 μm (17.2–18.3, n = 2) de largo por 1.1 μm (0.7–1.4, n = 2) de ancho.

Microgramma persicariifolia C.Presl (Figura 3, imagen 3–5)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 2.3 μm (1.8–3 μm , n = 10) de largo por 2.9 μm (1.9–4.3 μm , n = 10) de ancho; E.P. 33.3 μm (26.4–46.9, n = 10); E.E. 51.6 μm (39.9–58.8, n = 10); lesura de 17.4 μm (16.5–18.8, n = 3) de largo por 1.6 μm (1.2–2.3, n = 3) de ancho.

Plecluma hygrometrica (Splitg.) M.G.Price (Figura 3, imagen 9–10)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 1.6 μm (0.9–2.4 μm , n = 10) de largo por 2.8 μm (1.7–4 μm , n = 10) de ancho; E.P. 22.3 μm (14.4–25, n = 5); E.E. 37.5 μm (29.3–41, n = 5); lesura de 15.8 μm (14–17.5, n = 3) de largo por 1 μm (0.6–1.3, n = 2) de ancho.

Pleopeltis bombycina (Maxon) A.R.Sm. (Figura 3, imagen 6–8)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 2.6 μm (1.4–4.5 μm , n = 10) de largo por 3 μm (1.9–4 μm , n = 10) de ancho; E.P. 34.1 μm (25.7–41.5, n = 10); E.E. 52.4 μm (44.1–59.6, n = 10); lesura de 20.2 μm (19–21.3, n = 2) de largo por 1.5 μm (1.4–1.5, n = 2) de ancho.

Serpocaulon articulatum (C. Presl) Schwartsb. & A.R. Sm. (Figura 3, imagen 11–13)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; verruga de 3.1 μm (2–4.1 μm , n = 10)

de largo por 5 μm (2.8–7.6 μm , n = 10) de ancho; E.P. 25.8 μm (24.1–27.6, n = 9); E.E. 53.8 μm (49.1–55.6, n = 9); lesura de 3.4 μm (33.8–34.9, n = 2) de largo por 5.1 μm (0.6–9.5, n = 2) de ancho.

Pteridaceae E.D.M. Kirchn.

Pityrogramma calomelanos (L.) Link (Figura 3, imagen 14–16)

Mónada, espora trilete; ámbito convexo triangular a circular; isopolar; simetría radial; esclerina vermiculada; perina cristada; E.P. 47.3 μm (43.7–51.3, n = 4); E.E. 32.7 μm (25.4–37.5, n = 4); D.E. 36.6 μm (23.7–43.7, n = 10); lesura de 14.1 μm (13–15.1, n = 4) de largo por 1.6 μm (0.5–2.3, n = 4) de ancho.



Figura 2 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Lycopodiaceae:** *Palhinhaea cernua* (Ev: 1; Pv: 2–4). **Selaginellaceae:** *Selaginella flabellata* (Ev: 5; Gv: 6–7; Pv: 8–9). **Blechnaceae:** *Blechnum occidentale* (Gv: 10; Ev: 11); *Blechnum polypodioides* (Ev: 12–13); *Salpichlaena volubilis* (Ev: 14; Gv: 15). **Cyatheaceae:** *Alsophila cuspidata* (Pv: 16–18); *Alsophila imrayana* (Ev: 19; Pv: 20); *Cyathea lockwoodiana* (Pv: 21–22); *Cyathea cardenasii* (Pv: 23–24). **Dryopteridaceae:** *Polybotrya caudata* (Gv: 25–26; Pv: 27). **Gleicheniaceae:** *Sticherus bifidus* (Gv: 28; Ev: 29). **Hymenophyllaceae:** *Trichomanes elegans* (Gv: 30–31). **Nephrolepidaceae:** *Nephrolepis brownii* (Gv: 32; Ev: 33). **Polypodiaceae:** *Campyloneurum nitidissimum* (Ev: 34–35).

Pteris biaurita L. (Figura 3, imagen 17–19)

Mónada, espora trilete; ámbito triangular-angular-concavo; isopolar; simetría radial; esclerina verrugada; perina cristada; margo conspicuo; E.P. 39.9 μm (39.2–40.7, n = 2); E.E. 23.7 μm (21.6–24.5, n = 2); D.E. 40.2 μm (31.8–49, n = 9); lesura de 16.9 μm (15.6–19.5, n = 6) de largo por 2.7 μm (1–5.2, n = 6) de ancho.

Thelypteridaceae Ching ex Pic. Serm.

Macrothelypteris torresiana (Gaudich.) Ching (Figura 3, imagen 20–22)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina perforada; perina cristada; E.P. 32.7 μm (26.8–41.8, n = 8); E.E. 52.2 μm (40.6–64.6, n = 8); lesura de 29.2 μm (24.4–32.8, n = 6) de largo por 3 μm (0.9–6.8, n = 6) de ancho.

Meniscium serratum Cav. (Figura 3, imagen 23–25)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina psilada; perina pilada; E.P. 35.5 μm (31.5–39.3, n = 5); E.E. 55 μm (46.1–59.8, n = 5); lesura de 12.4 μm (11.2–13.5, n = 2) de largo por 1.2 μm (0.8–1.5, n = 2) de ancho.

Meniscium falcatum Liebm. (Figura 3, imagen 26–28)

Mónada, espora monolete; ámbito elíptico, concavo-convexo, plano convexo (vista ecuatorial), biconvexo (vista proximal); anisopolar; simetría bilateral; esclerina verrugada; perina cristada; E.P. 28.1 μm (26.9–29.6, n = 6); E.E. 39.5 μm (38–42.2, n = 6); lesura de 15.9 μm (n = 1) de largo por 1.5 μm (n = 1) de ancho.

Angiospermas basales

Annonaceae Juss.

Guatteria ucayalina Huber (Figura 3, imagen 29–31)

Mónada; oblado esferoidal, prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción y margen; ápice agudo; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 26.5 μm (25.3–28.6, n = 3); E.E. 26.4 μm (25.5–27.5, n = 3); D.E. 25.9 μm (24.1–27.2, n = 10); colpo de 22.7 μm (8.8–29.3, n = 10) de largo por 2.7 μm (1.5–3.4, n = 9) de ancho; poro de 9.6 μm (8.8–10, n = 3) de largo por 5.8 μm (3.2–7.9, n = 3) de ancho.

Chloranthaceae R. Br. ex Sims

Hedyosmum racemosum (Ruiz & Pav.) G. Don (Figura 3, imagen 32–35)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; inaperturada; exina tectada; columela conspicua y mayor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 33.2 μm (31.3–35.1, n = 10); E.E. 31.4 μm (26.8–37.2, n = 10).

Myristicaceae R. Br.

Viola sebifera Aubl. (Figura 7, imagen 29–30)

Mónada; oblado; anisopolar; simetría bilateral; monoclpada (monosulcada); exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 26.1 μm (21.8–32.7, n = 10); E.E. 18.6 μm (13.4–22.4, n = 10); colpo de 23.5 μm (22.5–24.4, n = 2) de largo por 1.5 μm (1.2–1.7, n = 2) de ancho.

Piperaceae Giseke

Piper pulchrum C. DC. (Figura 4, imagen 1–3)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; monoclpada (monosulcada); exina tectada; psilada; E.P. 11.5 μm (7.3–19, n = 8); E.E. 8.9 μm (0.9–13, n = 8); colpo de 6.2 μm (5.6–6.8, n = 2) de largo por 1.2 μm (1–1.4, n = 2) de ancho.

Piper umbellatum L. (Figura 4, imagen 4–7)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; monoclpada (monosulcada); exina tectada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 11.8 μm (7.3–19, n = 10); E.E. 8.9 μm (0.9–8.9, n = 10); colpo de 9.8 μm (7.8–11.3, n = 3) de largo por 1.6 μm (0.7–2.5, n = 3) de ancho.

Monocotiledóneas**Alismataceae** Vent.

Limnocharis flava (L.) Buchenau (Figura 4, imagen 8–11)

Mónada; esférica; ámbito circular; pantoporada; poro circular; exina tectada; foveolada; E.P. 25.6 μm (22.6–29.6, n = 10); E.E. 24.9 μm (21.2–26.8, n = 10); poro de 1.9 μm (1.4–2.8, n = 4) de largo por 1.5 μm (0.8–2.3 n = 4) de ancho.

Araceae Juss.

Philodendron subhastatum K.Krause (Figura 4, imagen 10–15)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; monocolpada, colpo inconspicuo; exina tectada; psilada; E.P. 14.3 μm (10.2–15.9, n = 10); E.E. 7.9 μm (6.9–8.9, n = 10).

Arecaceae Bercht. & J. Presl

Aiphanes horrida (Jacq.) Burret (Figura 4, imagen 12–14)

Mónada; oblado; anisopolar; simetría bilateral; monocolpada; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; heterobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 32.3 μm (27.1–37.5, n = 10); E.E. 20.5 μm (18.5–23.9, n = 10); colpo de 21.7 μm (18.8–26.3, n = 5) de largo por 2.5 μm (1–4.2, n = 5) de ancho.

Asterogyne martiana (H.Wendl.) Drude (Figura 4, imagen 16–17)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; monocolpada; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 40.3 μm (36.6–43.6, n = 10); E.E. 21.1 μm (16.9–25.6, n = 10); colpo de 29.3 μm (25–33.7, n = 5) de largo por 3.6 μm (0.9–8, n = 5) de ancho.

Commelinaceae Mirb.

Tripogandra serrulata (Vahl) Handlos (Figura 4, imagen 18–22)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; monocolpada; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 29.4 μm (26.7–31.8, n = 10); E.E. 21.4 μm (17.5–25.2, n = 10); colpo de 20.1 μm (19.8–20.1, n = 2) de largo por 1.3 μm (0.6–2, n = 2) de ancho.

Costaceae Nakai

Costus lasius Loes. (Figura 4, imagen 22–23)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; pantoporada; exina tectada; psilada; E.P. 122.5 μm (102.9–161.1, n = 7); E.E. 95.3 μm (80.5–118.4, n = 7); poro de 16.2 μm (12.9–22.2, n = 8) de largo por 11.9 μm (8.5–16.8, n = 8) de ancho.

Cyperaceae Juss.

Cyperus laxus Lam. (Figura 4, imagen 24–27)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; pantoporada; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; escabrada; E.P. 27.1 μm (21.5–31.7, n = 10); E.E. 22.1 μm (14.1–27.1, n = 10); poro de 1.7 μm (1.4–1.9 n = 2) de largo por 1.5 μm (1.3–1.6, n = 2) de ancho.

Eudicotiledóneas

Anacardiaceae R. Br.

Mangifera indica L. (Figura 4, imagen 28–31)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada, estriada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 27.7 μm (26.2–29.4, n = 10); E.E. 25.4 μm (22.6–29.4, n = 10); D.E. 24.8 μm (23.7–25.4, n = 10); colpo de 19.8 μm (19.2–20.3, n = 2) de largo por 1.6 μm (1.5–1.6, n = 2) de ancho; poro de 3.1 μm (2.9–3.3, n = 3) de largo por 2 μm (1.9–2.1 n = 3) de ancho.

Ochoterena colombiana F.A. Barkley (Figura 4, imagen 32–35)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 25.1 μm (21.3–30.9, n = 10); E.E. 21.9 μm (19.2–25.4, n = 10); D.E. 23.4 μm (20.2–24.9, n = 10); colpo de 13.3 μm (10.3–16.9, n = 5) de largo por 1.3 μm (0.5–1.9, n = 5) de ancho; poro de 2.6 μm (1.9–3.2 n = 2) de largo por 3 μm (2.7–3.3, n = 2) de ancho.

Tapirira guianensis Aubl. (Figura 5, imagen 1–2)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada, estriada; E.P. 33.0 μm (30–38.4, n = 10); E.E. 20.1 μm (16.9–26.7, n = 10); D.E. 22.5 μm (20.6–25.3, n = 10); colpo de 24 μm (20–26.9, n = 3) de largo por 1.5 μm (1.1–1.9, n = 3) de ancho; poro de 3.2 μm (2.8–3.5 n = 2) de largo por 3.8 μm (3.2–4.3, n = 2) de ancho

Apocynaceae Juss.

Mandevilla callista Woodson (Figura 5, imagen 3–4)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; triporada, pantoporada; tectada; estriada; E.P. 94.7 μm (83.2–120, n = 5); E.E. 59.7 μm (53.4–68, n = 5); poro de 12.1 μm (8.1–15.5, n = 6) de largo por 7.8 μm (5–11.2, n = 6) de ancho.

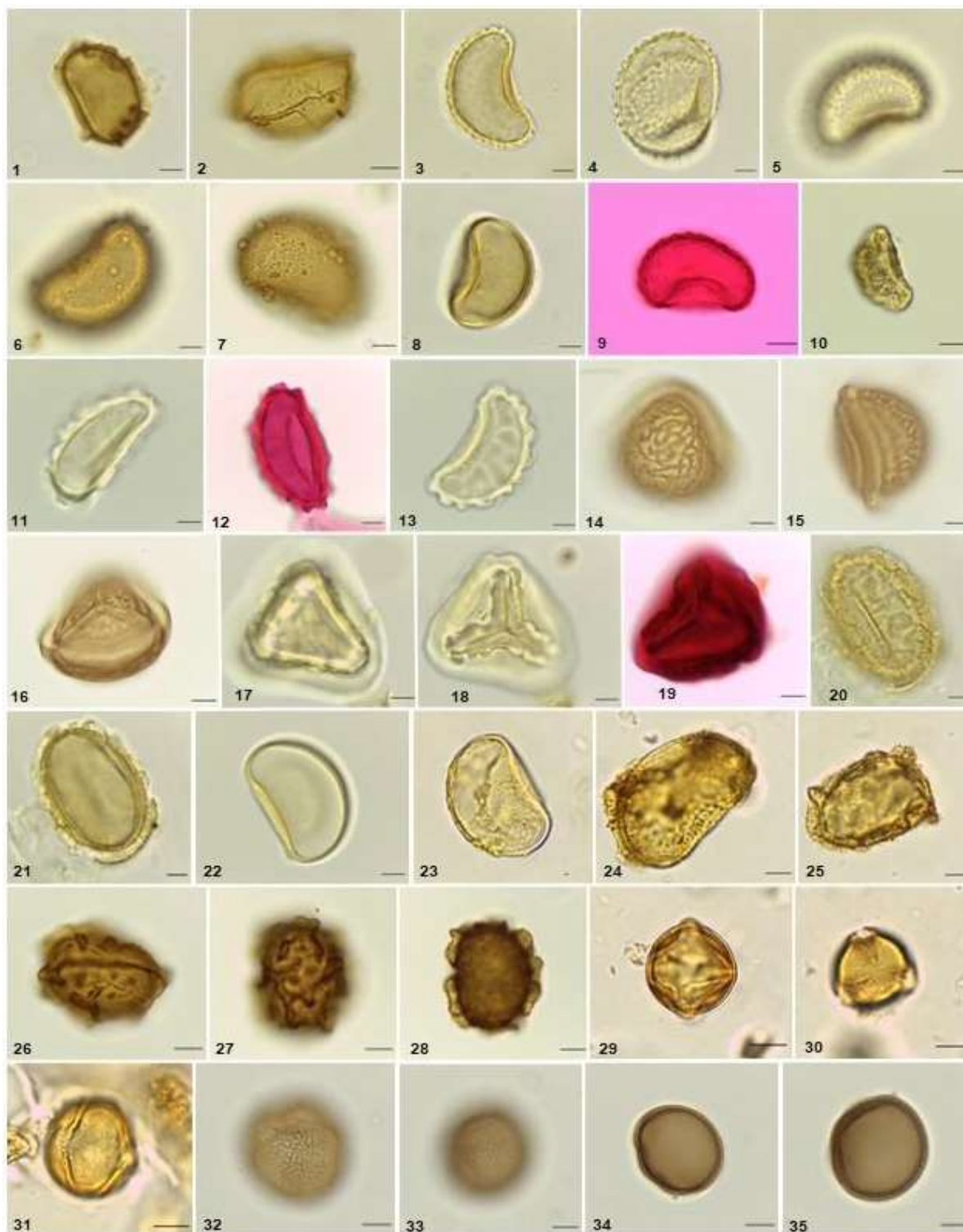


Figura 3 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Polypodiaceae:** *Campyloneurum* aff. *repens* (Ev: 1–2); *Microgramma persicariifolia* (Ev: 3, 5; Gv: 4); *Pleopeltis bombycina* (Ev: 6–8); *Pecluma hygrometrica* (Ev: 9–10); *Serpocaulon articulatum* (Gv: 11–12; Ev: 13). **Pteridaceae:** *Pityrogramma calomelanos* (Gv: 14; Ev: 15; Pv: 16); *Pteris biaurita* (Pv: 17–19). **Thelypteridaceae:** *Macrothelypteris torresiana* (Gv: 20–21; Ev: 22); *Meniscium serratum* (Ev: 23–24; Gv: 25); *Meniscium falcatum* (Gv: 26–28). **Annonaceae:** *Guatteria ucayalina* (Gv: 29; Pv: 30; Ev: 31). **Chloranthaceae:** *Hedyosmum racemosum* (Gv: 32–35).

Mandevilla hirsuta (Rich.) K.Schum. (Figura 5, imagen 5–6)

Mónada; anisopolar; simetría bilateral; triporada, pantoporada; tectada; estriada; E.P. 80 μm (74.6–84, n = 4); E.E. 65.9 μm (59.3–77.2, n = 4); poro de 11.6 μm (7.6–15.9, n = 4) de largo por 7.7 μm (5–11.2, n = 2) de ancho.

Asteraceae Bercht. & J. Presl

Baccharis nitida (Ruiz & Pav.) Pers. (Figura 5, imagen 7–9)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; exina tectada; columela indistinta; equinada; equina cónica y afilada (1.6–4.1 μm); E.P. 22.5 μm (21.4–23, n = 4); E.E. 16.8 μm (16.6–17, n = 4); D.E. 19.9 μm (18.5–20.8, n = 10).

Chromolaena odorata (L.) R.M.King & H.Rob. (Figura 5, imagen 10–12)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; exina tectada; columela indistinta; equinada; equina cónica y afilada (2–3.5 μm); E.P. 22.9 μm (20.7–25.5, n = 3); E.E. 17.3 μm (16.7–17.9, n = 3); D.E. 21.5 μm (19.1–25.8, n = 10); colpo de 9 μm (7.3–10.6, n = 2) de largo por 2.5 μm (2.2–2.7, n = 2) de ancho.

Critoniella acuminata (Kunth) R.M.King & H.Rob. (Figura 5, imagen 13–15)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; exina tectada; columela indistinta; equinada; equina cónica y afilada (1.3–2.4 μm); E.P. 19.7 μm (17.6–22.4, n = 4); E.E. 18.4 μm (15.3–22.1, n = 4); D.E. 19.7 μm (17.6–22.4, n = 10).

Bignoniaceae Juss.

Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don (Figura 5, imagen 16–18)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción, exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 33.9 μm (32–38, n = 10); E.E. 28.8 μm (24–37, n = 10); D.E. 28.4 μm (27–29, n = 10); colpo de 13.4 μm (8.75–18, n = 5) de largo por 4.4 μm (3.6–4.9, n = 5) de ancho; poro de 3.9 μm (2.19–5.07, n = 4) de largo por 4.2 μm (2.3–5.47, n = 4) de ancho.

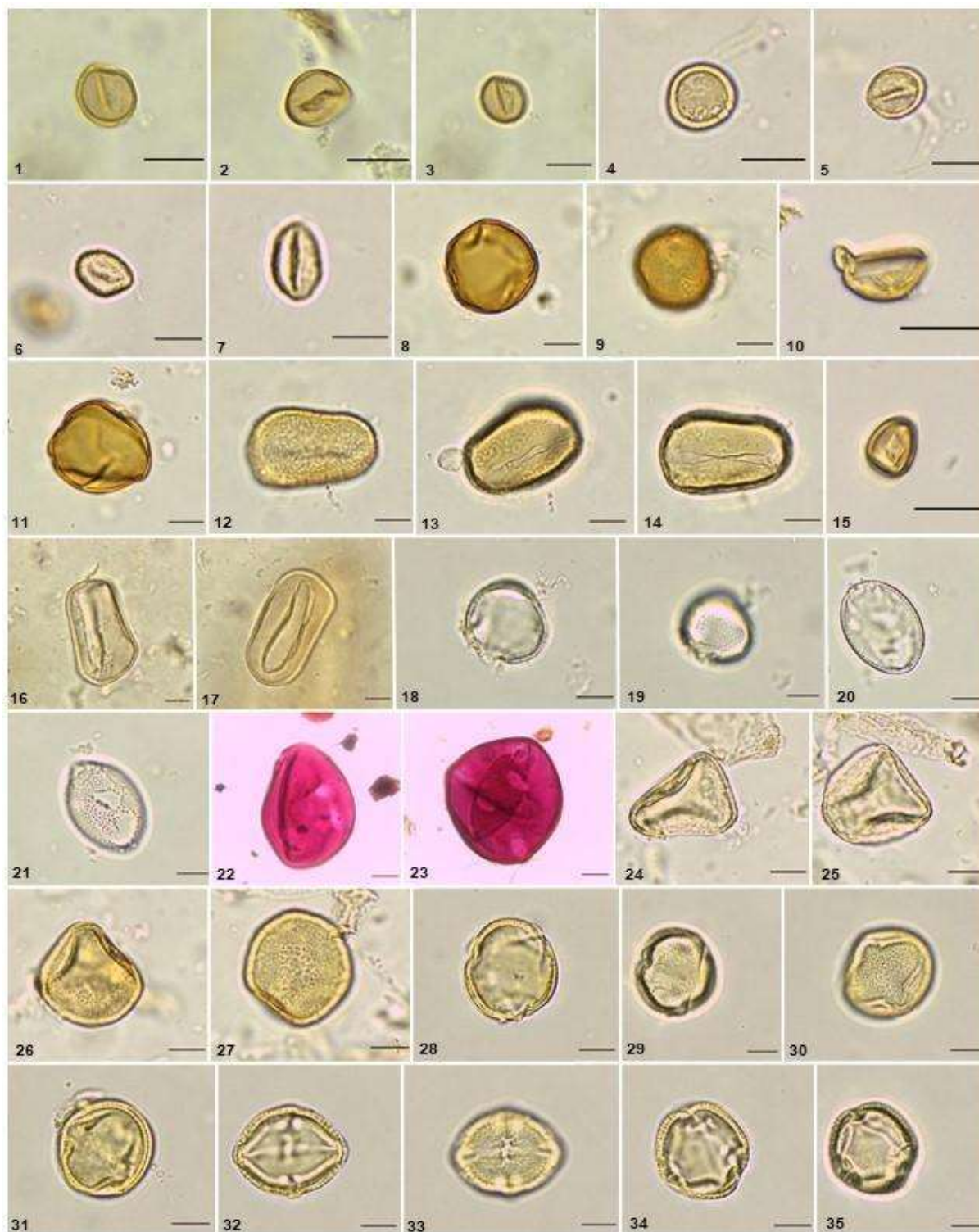


Figura 4 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Piperaceae:** *Piper pulchrum* (Gv: 1–3); *Piper umbellatum* (Gv: 4–7). **Alismataceae:** *Limnocharis flava* (Gv: 8, 9, 11). **Araceae:** *Philodendron subhastatum* (Gv: 10, 15). **Arecaceae:** *Aiphanes horrida* (Gv: 12–14); *Asterogyne martiana* (Gv: 16–17). **Commelinaceae:** *Tripogandra serrulata* (Gv: 18–22). **Costaceae:** *Costus lasius* (Gv: 22–23). **Cyperaceae:** *Cyperus laxis* (Gv: 24–27). **Anacardiaceae:** *Mangifera indica* (Pv: 28–29; Ev: 30–31); *Ochoterena colombiana* (Ev: 32–33; Pv: 34–35).

Spathodea campanulata P. Beauv. (Figura 5, imagen 19–21)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; ápice agudo; exina tectada; columela conspicua y mayor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 42.8 μm (39.9–46, n = 7); E.E. 39 μm (34–43.3, n = 7); D.E. 38.4 μm (32.6–43.3, n = 10); colpo de 16.6 μm (12.2–28.1, n = 6) de largo por 4.5 μm (3.6–5.8, n = 6) de ancho; poro de 3 μm (2.6–3.6, n = 3) de largo por 4.8 μm (3.8–6.2, n = 3) de ancho.

Boraginaceae Juss.

Cordia nodosa Lam. (Figura 5, imagen 22–23)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; ápice agudo; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 41.9 μm (39.4–46, n = 7); E.E. 36.4 μm (34.2–41.2, n = 7); D.E. 38.3 μm (35.6–43.6, n = 3); colpo 24.9 μm (24.05–25.8, n = 2) de largo por 8.8 μm (8.8–8.8, n = 1) de ancho; poro de 3.9 μm (3.6–4.2, n = 2) de largo por 6.4 μm (5.1–7.7, n = 2) de ancho.

Calophyllaceae J. Agardh

Marila podantha Cuatrec. (Figura 5, imagen 24–25)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 18.9 μm (18–20.2, n = 5); E.E. 16.4 μm (15.2–17.8, n = 5); D.E. 16.9 μm (15.46–18.6, n = 5); colpo de 6.5 μm (6.2–6.8, n = 2) de largo por 1.4 μm (0.87–1.9, n = 2) de ancho; poro de 1.4 μm (0.8–2.6, n = 4) de largo por 2.1 μm (1.2–2.6, n = 4) de ancho.

Clusiaceae Lindl.

Clusia haughtii Cuatrec. (Figura 5, imagen 26–28)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 22.0 μm (18.1–26.1, n = 7); E.E. 21 μm (18–23.5, n = 7); D.E. 21.6 μm (20.5–22.5, n = 7); colpo de 5.3 μm (4.2–7.1, n = 4) de largo por 2.0 μm (1.29–2.8, n = 4) de ancho; poro de 1.8 μm (1.3–2.1, n = 6) de largo por 2.7 μm (1.9–3.7, n = 6) de ancho.

Euphorbiaceae Juss.

Acalypha diversifolia Jacq. (Figura 5, imagen 30, 35)

Mónada; esférica, oblado esferoidal, prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; estefanoporada (4-porada); aperturas inconspicuas; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; escabrada; E.P. 15.8 μm (15–16.1, n = 4); E.E. 15.4 μm (14.3–16.2, n = 4); D.E. 16.3 μm (15.3–16.8, n = 4); poro de 1.8 μm (1.1–2.2, n = 3) de largo por 2.6 μm (2.3–2.8, n = 3) de ancho.

Acalypha macrostachya Jacq. (Figura 5, imagen 29, 34)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; estefanoporada (4-porada); aperturas inconspicuas; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; escabrada; E.P. 18.4 μm (18–19.2, n = 10); E.E. 16.3 μm (15.02–16.9, n = 10); D.E. 16.3 μm (15.6–17.4, n = 10); poro de 2.7 μm (2.6–2.8, n = 3) de largo por 2.6 μm (1.5–3.8, n = 3) de ancho.

Alchorneopsis floribunda (Benth.) Müll.Arg. (Figura 5, imagen 31–33)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción; exina semitectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 17.3 μm (13.4–20, n = 10); E.E. 15.5 μm (12.8–18.4, n = 10); D.E. 16.4 μm (11.8–20.5, n = 10); colpo de 6.9 μm (4.5–10.9, n = 5) de largo por 1.9 μm (1.5–1.5, n = 5) de ancho; poro de 1.5 μm (1.1–1.9, n = 4) de largo por 1.6 μm (1–2.2, n = 4) de ancho.

Fabaceae

Albizia carbonaria Britton (Figura 6, imagen 1–2)

Póliada; granos aislados; asimétrica; inaperturada; exina tectada; columela indistinta, psilada; E.P. 15.5 μm (9.7–21.7, n = 8); E.E. 21.4 μm (17.9–25.9, n = 8).

Crotalaria nitens Kunth (Figura 6, imagen 3–5)

Mónada; subprolado, ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción, exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 32.5 μm (26.1–35.4, n = 7); E.E. 24.8 μm (21.6–27.4, n = 7); D.E. 23.8 μm (19.4–27.2, n = 7); colpo de 19.3 μm (9.8–28.4, n = 4) de largo por 2.9 μm (2.1–4.5, n = 4) de ancho; poro de 2.9 μm (2.4–3.4, n = 4) de largo por 2.2 μm (1.6–2.4, n = 4) de ancho.

Inga oerstediana Benth. (Figura 6, imagen 6–7)

Póliada; granos aislados; asimétrica; pantoporada; exina tectada; columela indistinta, fosulada; E.P. 24.4 μm (19.4–28.1 n = 10); E.E. 31.7 μm (25.2–36.3, n = 10).

Inga samanensis L. Uribe (Figura 6, imagen 8–9)

Póliada; granos aislados; asimétrica; pantoporada; exina tectada; columela indistinta, fosulada; E.P. 26.1 μm (19.2–30.4, n = 9); E.E. 34.1 μm (29.3–39.5, n = 9).

Inga thibaudiana DC. (Figura 6, imagen 10–11)

Póliada; granos aislados; asimétrica; pantoporada; exina tectada; columela indistinta, fosulada; E.P. 31.4 μm (21.7–42.9, n = 10); E.E. 38.3 μm (31.3–44.3, n = 10).

Mucuna mutisiana (Kunth) DC. (Figura 6, imagen 12–14)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lolongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 82.5 μm (79.6–85.7, n = 8); E.E. 73.3 μm (67.1–83.2, n = 8); D.E. 74.7 μm (57–82.4, n = 8); colpo de 46.3 μm (32.5–70.1, n = 7) de largo por 4.5 μm (2.5–5.9, n = 7) de ancho; poro de 13.6 μm (8.4–18.5, n = 4) de largo por 10.5 μm (6.7–15.9, n = 4) de ancho.

Gentianaceae Juss.

Chelonanthus alatus (Aubl.) Pulle (Figura 6, imagen 15, 20)

Tétrada tetragonal; granos asilados; anisopolar; asimétrica; triporada; exina intectada; reticulada, heterobrocada; E.P. 26.5 μm (19.5–31.3 n = 10); E.E. 34.5 μm (29.4–37.5, n = 10).

Gesneriaceae Rich. & Juss.

Codonanthis crassifolia (H.Focke) Chautems & Mat.Perret (Figura 6, imagen 16–17)

Mónada; subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; heterobrocada; lumen de 0.7–1.2 μm de ancho; E.P. 31.9 μm (30.8–32.9, n = 3); E.E. 26.9 μm (25.9–27.5, n = 3); D.E. 29.2 μm (26.8–30.9, n = 10); colpo de 14.6 μm (11.4–16.9, n = 4) de largo por 3.1 μm (1.1–4.9, n = 4) de ancho; poro de 3.2 μm (2.2–4.1, n = 4) de largo por 4.9 μm (4.7–5.3, n = 4) de ancho.



Figura 5 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Anacardiaceae:** *Tapirira guianensis* (Pv: 1; Ev: 2). **Apocynaceae:** *Mandevilla callista* (Gv: 3–4); *Mandevilla hirsuta* (Gv: 5–6). **Asteraceae:** *Baccharis nitida* (Pv: 7–8; Ev: 9); *Chromolaena odorata* (Pv: 10–12); *Critoniella acuminata* (Pv: 13–15). **Bignoniaceae:** *Jacaranda copaia* (Ev: 16; Pv: 17–18); *Spathodea campanulata* (Pv: 19, 21; Ev: 20). **Boraginaceae:** *Cordia nodosa* (Pv: 22–23). **Calophyllaceae:** *Marila podantha* (Gv: 24; Pv: 25). **Clusiaceae:** *Clusia haughtii* (Pv: 26–27; Gv: 28). **Euphorbiaceae:** *Acalypha diversifolia* (Gv: 30, 35); *Acalypha macrostachya* (Gv: 29, 34); *Alchorneopsis floribunda* (Pv: 31–32; Ev: 33).

Kohleria hirsuta (Kunth) Regel (Figura 6, imagen 18–19)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 22.4 μm (19.2–25.6, n = 7); E.E. 20.3 μm (17.7–22.4, n = 7); D.E. 21.4 μm (18.6–23.6, n = 8); colpo de 14.8 μm (8.9–19.2, n = 5) de largo por 2.1 μm (1.1–2.8, n = 5) de ancho; poro de 2.4 μm (2–2.9, n = 4) de largo por 1.8 μm (1.4–2.2, n = 4) de ancho.

Nautilocalyx bracteatus (Planch.) Sprague (Figura 6, imagen 21–22)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lolongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 34.2 μm (31.4–38.5, n = 10); E.E. 32 μm (28.1–36, n = 10); D.E. 30.7 μm (25.8–33.7, n = 10); colpo de 17.8 μm (12–27.4, n = 4) de largo por 4.5 μm (3.3–5.8, n = 4) de ancho; poro de 4 μm (2.3–5.7, n = 3) de largo por 2.6 μm (2–3.1, n = 3) de ancho.

Hypericaceae Juss.

Vismia baccifera (L.) Triana & Planch. (Figura 6, imagen 23–25)

Mónada; prolado esferoidal, subprolado; ámbito triangular-obtuso-convexo; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro circular; colpo con margen de 2.3–2.7 μm de ancha, ápice agudo; exina semitectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 21.4 μm (20–23.8, n = 10); E.E. 19.8 μm (17.4–22.1, n = 10); D.E. 18.4 μm (16.7–21, n = 9); colpo de 12.1 μm (8.9–15.7, n = 4) de largo por 1.9 μm (1.4–2.8, n = 4) de ancho; poro de 2.3 μm (1.5–3.6, n = 5) de largo por 1.7 μm (1.2–2.9, n = 5) de ancho.

Vismia macrophylla Kunth (Figura 6, imagen 26–28)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción, ápice agudo; exina semitectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen entre 0.4–1.1 μm de ancho y muri entre 0.3–0.46 μm de ancho; E.P. 26.1 μm (24.3–28.4, n = 6); E.E. 25.2 μm (22.4–27.8, n = 6); D.E. 24.9 μm (20.4–28.8, n = 10); colpo de 15.5 μm (8.8–19.1, n = 3) de largo por 2.2 μm (1.8–2.5, n = 3) de ancho; poro de 2.8 μm (1.5–4, n = 4) de largo por 3.7 μm (2.9–4.5, n = 4) de ancho.

Lecythidaceae A. Rich.

Gustavia speciosa (Kunth) DC. (Figura 6, imagen 29–30, 34–35,)

Mónada; oblado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción, ápice agudo; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 26.2 μm (22.3–29.4, n = 10); E.E. 27.2 μm (25.2–30.6, n = 10); D.E. 25.6 μm (20–27.9, n = 10); colpo de 15 μm (8.7–19.6, n = 5) de largo por 2.5 μm (2.1–3, n = 5) de ancho; poro de 2.2 μm (1.7–2.6, n = 2) de largo por 3.1 μm (2–4.1, n = 2) de ancho.

Malvaceae Juss.

Hibiscus spathulatus Garcke (Figura 6, imagen 31–32)

Mónada; esférica, ámbito circular; isopolar; simetría radial; pantoporada; exina tectada; columela conspicua y mayor que 1 μm ; equinada, con equinas de 17.9–20 μm de largo por 5.3–6.6, μm de ancho; D.E. 86.9 μm (79.2–99.1, n = 10); poro de 4.2 μm (4–4.5, n = 3) de largo por 3.9 μm (3.7–4.1, n = 3) de ancho.

Melastomataceae Juss.

Bellucia pentamera Naudin (Figura 7, imagen 1–2)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (3 colporos alternando con 3 pseudocolpos); poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm ; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 23.5 μm (21.7–25.2, n = 10); E.E. 18.3 μm (15.4–20.1, n = 10); D.E. 18.9 μm (17.5–20.1, n = 10); colpo de 14.1 μm (12.3–15.6, n = 10) de largo por 1.3 μm (0.9–1.7, n = 10) de ancho; poro de 1.8 μm (1.6–2.2, n = 6) de largo por 2.1 μm (1.7–3, n = 6) de ancho.

Chaetogastra longifolia (Vahl) DC. (Figura 7, imagen 3–5)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (3 colporos alternando con 3 pseudocolpos); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; escabrada; E.P. 21.1 μm (19.7–25.3, n = 10); E.E. 15.7 μm (13.8–17.3, n = 10); D.E. 18.9 μm (18.3–19.6 n = 10); colpo de 16.1 μm (13.7–18.4, n = 4) de largo por 2.1 μm (1.7–2.3, n = 4) de ancho; poro de 2.3 μm (1.2–3, n = 3) de largo por 2.8 μm (2.6–3, n = 3) de ancho.

Graffenrieda galeottii (Naudin) L.O.Williams (Figura 7, imagen 6–7)

Mónada; subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (6–colpado); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; psilada; E.P. 10.4 μm (9.9–10.8, n = 5); E.E. 8.8 μm (8.4–9.2, n = 5); D.E. 9.1 μm (8.2–9.9 n = 10); colpo de 6.5 μm (5.3–7.5, n = 3) de largo por 0.8 μm (0.7–0.9, n = 3) de ancho; poro de 0.8 μm (0.5–1.4, n = 4) de largo por 1.1 μm (0.6–1.5, n = 4) de ancho.

Miconia aponeura Triana (Figura 7, imagen 8–9)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (6–colpado); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 15.9 μm (14.1–16.9, n = 10); E.E. 11.7 μm (10.2–13.1, n = 10); D.E. 14.9 μm (12.9–16, n = 10); colpo de 10.7 μm (9.1–12, n = 5) de largo por 1 μm (0.5–1.7, n = 5) de ancho; poro de 1.3 μm (1–1.6, n = 3) de largo por 1.7 μm (1.4–2, n = 3) de ancho.

Miconia dolichorrhyncha Naudin (Figura 7, imagen 11–12)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (6–colpado); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 16.2 μm (13.6–19, n = 10); E.E. 11.6 μm (9.4–13.6, n = 10); D.E. 13 μm (11.7–14.9, n = 10); colpo de 11.6 μm (8.3–14.3, n = 10) de largo por 1 μm (0.2–1.7, n = 10) de ancho; poro de 1.2 μm (0.8–1.9, n = 3) de largo por 1.3 μm (0.9–2, n = 3) de ancho.

Miconia domociliata Michelang. (Figura 7, imagen 13–15)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 16.6 μm (15.3–18.3, n = 10); E.E. 11.9 μm (10.4–12.9, n = 10); D.E. 12.7 μm (11.5–13.8, n = 10); colpo de 9.5 μm (6.3–12.9, n = 10) de largo por 1 μm (0.5–2.4, n = 10) de ancho; poro de 1.6 μm (0.4–2.5, n = 8) de largo por 2.9 μm (1.5–9.5, n = 8) de ancho.

Miconia minutiflora (Bonpl.) DC. (Figura 7, imagen 16, 21)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (6–colpado); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 16.9 μm (15.2–18.6, n = 10); E.E. 12.4 μm (11–14.7, n = 10); D.E. 13.8 μm (11.2–16.7, n = 10); colpo de 11.9 μm (10.5–13.2, n = 7) de largo por 0.6 μm (0.4–0.7, n = 7) de ancho; poro de 1.6 μm (0.8–2.9, n = 3) de largo por 2.3 μm (1.3–4.2, n = 3) de ancho.

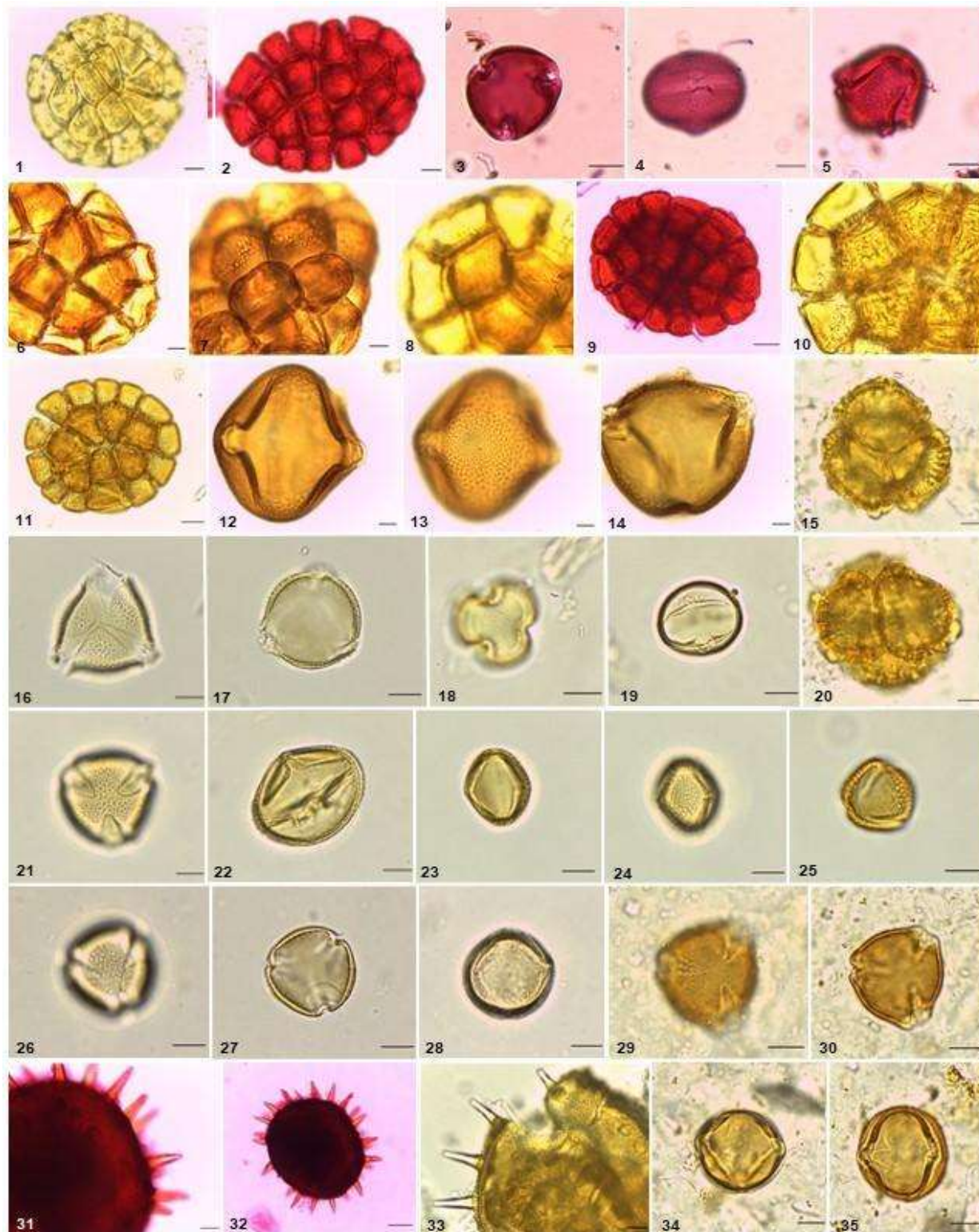


Figura 6 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Fabaceae:** *Albizia carbonaria* (Gv: 1–2); *Crotalaria nitens* (Pv: 3; Ev: 4; Gv: 5); *Inga oerstediana* (Gv: 6–7); *Inga samanensis* (Gv: 8–9); *Inga thibaudiana* (Gv: 10–11); *Mucuna mutisiana* (Ev: 12–13; Pv: 14). **Gesneriaceae:** *Chelonanthus alatus* (Gv: 15, 20). **Gesneriaceae:** *Codonanthis crassifolia* (Pv: 16–17); *Kohleria hirsuta* (Pv: 18; Ev: 19); *Nautilocalyx bracteatus* (Pv: 21; Ev: 22). **Hypericaceae:** *Vismia baccifera* (Ev: 23–24; Pv: 25); *Vismia macrophylla* (Pv: 26–27; Gv: 28). **Lecythidaceae:** *Gustavia speciosa* (Pv: 29–30; Ev: 34–35). **Malvaceae:** *Hibiscus spathulatus* (Gv: 31–33).

Miconia octona (Bonpl.) Judd & Majure (Figura 7, imagen 17–18)

Mónada; subprolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (3 colporos alternando con 3 pseudocolpos); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 19.2 μm (17–21.5, n = 9); E.E. 17.1 μm (14.2–18.3, n = 9); D.E. 17.6 μm (15.7–20.8, n = 10); colpo de 13.4 μm (11.3–15.2, n = 7) de largo por 1.1 μm (0.6–1.6, n = 7) de ancho; poro de 3.1 μm (1.9–4.4, n = 6) de largo por 4.5 μm (4.2–5.2, n = 6) de ancho.

Miconia ostrina (Gleason) Michelang. (Figura 7, imagen 19–20)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (3 colporos alternando con 3 pseudocolpos); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 13.6 μm (9.7–16.4, n = 9); E.E. 12.4 μm (8.8–15.4, n = 9); D.E. 13.5 μm (10.6–14.4, n = 10); colpo de 9.4 μm (8.2–11, n = 4) de largo por 1.1 μm (0.9–1.3, n = 4) de ancho; poro de 1.2 μm (0.9–1.5, n = 2) de largo por 2.5 μm (1.9–3, n = 2) de ancho.

Miconia rubescens D. Don (Figura 7, imagen 22–23)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada (3 colporos alternando con 3 pseudocolpos); poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 18.3 μm (16.5–20.5, n = 10); E.E. 13.9 μm (12.2–15.5, n = 10); D.E. 14.8 μm (12.8–16.2, n = 6); colpo de 14.1 μm (12.8–15.3, n = 5) de largo por 1 μm (0.8–1.3, n = 5) de ancho; poro de 1.5 μm (1.4–1.7, n = 3) de largo por 1.9 μm (1.8–2, n = 3) de ancho.

Miconia serrulata (DC.) Naudin (Figura 7, imagen 24–25)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm ; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 13.3 μm (12.5–14.4, n = 8); E.E. 12 μm (11.2–13.3, n = 8); D.E. 12.4 μm (10.9–14, n = 8); colpo de 8.5 μm (8.3–8.6, n = 3) de largo por 0.8 μm (0.8–0.9, n = 3) de ancho; poro de 1.5 μm (1–1.9, n = 2) de largo por 2.7 μm (2.4–2.9, n = 2) de ancho.

Miconia sulcicaulis (Poepp. ex Naudin) Ocampo & Almeda (Figura 7, imagen 26, 31)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 9.9 μm (8.9–10.8, n = 7); E.E. 9 μm (8.4–9.5, n = 7); D.E. 8.6 μm (7.6–9.7, n = 9); colpo de 6.3 μm (5.6–7.4, n = 4) de largo por

0.6 μm (0.3–0.8, n = 3) de ancho; poro de 0.9 μm (0.7–1, n = 2) de largo por 1.8 μm (1.1–2.5, n = 2) de ancho.

Moraceae Gaudich.

Ficus americana Aubl. (Figura 7, imagen 27–28)

Mónada; oblado; ámbito elíptico; simetría bilateral; diporada; poro circular; sulco de 5.8–7.4 μm de largo por 0.8–1.5 μm de ancho; exina tectada; columela indistinta, escabrada; E.P. 13.1 μm (8.9–15.8, n = 10); E.E. 8.0 μm (4.7–9.9, n = 10); D.E. 9.1 μm (9–9.2, n = 2).

Myrtaceae Juss.

Psidium guajava L. (Figura 7, imagen 32–34)

Mónada; oblado; ámbito triangular-obtuso-convexo ; isopolar; simetría radial; tricolporada; syncolpado; exina tectada; columela indistinta; escabrada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 18.7 μm (16.7–20.2, n = 10); E.E. 11.2 μm (9.6–14.2, n = 10); D.E. 18.1 μm (16.2–20.1, n = 10); colpo de 8.8 μm (8.1–9.5, n = 2) de largo por 0.8 μm (0.7–0.8, n = 2) de ancho; poro de 1.1 μm (1–1.2, n = 3) de largo por 0.7 μm (0.5–0.9 n = 3) de ancho.

Schizocalyx bracteosus Wedd. (Figura 7, imagen 35–36)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo con constricción; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; heterobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 19.3 μm (17–21.7, n = 10); E.E. 20.2 μm (18–22.5, n = 10); D.E. 19.3 μm (18–22, n = 10); colpo de 13.3 μm (13.1–13.4, n = 2) de largo por 1.3 μm (1–1.6, n = 2) de ancho; poro de 3 μm (2.4–3.5, n = 2) de largo por 2.8 μm (2.3–3.2, n = 2) de ancho.

Ochnaceae DC.

Cespedesia spathulata (Ruiz & Pav.) Planch. (Figura 8, imagen 1–2)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; colpo angosto con constricción y tan largo como el grano; exina tectada; psilada; E.P. 13.2 μm (11.8–14.9, n = 10); E.E. 13.7 μm (12.2–14.9, n = 10); D.E. 13 μm (12–15.2, n = 10); poro de 1.3 μm (0.8–2, n = 3) de largo por 1 μm (0.7–1.4, n = 3) de ancho.



Figura 7 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Melastomataceae:** *Bellucia pentamera* (Pv: 1; Ev: 2); *Chaetogastra longifolia* (Gv: 3; Ev: 4; Pv: 5); *Graffenrieda galeottii* (Ev: 6; Pv: 7); *Miconia aponeura* (Pv: 8–9; Ev: 10); *Miconia dolichorrhyncha* (Ev: 11; Pv: 12); *Miconia domociliata* (Ev: 13; Pv: 14–15); *Miconia minutiflora* (Ev: 16; Pv: 21); *Miconia octona* (Pv: 17; Ev: 18); *Miconia ostrina* (Pv: 19; Ev: 20); *Miconia rubescens* (Ev: 22–23); *Miconia serrulata* (Pv: 24–25); *Miconia sulcicaulis* (Gv: 26; Pv: 31). **Moraceae:** *Ficus americana* (Gv: 27–28). **Myristicaceae:** *Virola sebifera* (Gv: 29–30). **Myrtaceae:** *Psidium guajava* (Pv: 32–33; Ev: 34); *Schizocalyx bracteosus* (Gv: 35; Pv: 36).

Olacaceae R. Br.

Heisteria acuminata (Bonpl.) Engl. (Figura 8, imagen 3–4)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolpado; colpo angosto y tan largo como el grano; exina tectada; escabrada; E.P. 14.9 μm (14.3–15.5, n = 5); E.E. 16.5 μm (15.2–17.3, n = 5); D.E. 15.3 μm (14.5–16.2, n = 3).

Passifloraceae Juss. ex Roussel

Passiflora biflora Lam. (Figura 8, imagen 6–7, 11–12)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; estefanocolpada (12–colpado); exina tectada; reticulada; heterobrocada; lumen entre 1.9–5 μm de ancho y muri entre 0.6–1.3 μm de ancho; E.P. 48 μm (40.8–51.2, n = 8); E.E. 49.9 μm (43.5–52.8, n = 8); D.E. 46.6 μm (41.3–53.7, n = 8); colpo de 36 μm (31.6–40.5, n = 4) de largo por 3.9 μm (1.9–6.7, n = 4) de ancho.

Passiflora vitifolia Kunth (Figura 8, imagen 5, 8–10)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; estefanocolpada (6–colpado); exina tectada; reticulada; heterobrocada; lumen entre 4.2–8.8 μm de ancho y muri entre 1.7–2.7 μm de ancho; E.P. 44.9 μm (35.9–48.1, n = 4); E.E. 69.3 μm (59.3–80, n = 4); D.E. 61.1 μm (51.1–67.9, n = 10).

Peraceae Klotzsch

Pera colombiana Cardiel (Figura 8, imagen 13–15)

Mónada; oblado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 22.6 μm (20–26.6, n = 10); E.E. 20.7 μm (19–23.4, n = 10); D.E. 22.3 μm (19.5–26.7, n = 10); colpo de 112.1 μm (10.9–13.2, n = 5) de largo por 1.7 μm (1.2–2.4, n = 4) de ancho; poro de 3.4 μm (1.7–5, n = 5) de largo por 2.4 μm (1.4–3.4, n = 5) de ancho.

Phytolaccaceae R. Br.

Phytolacca rivinoides Kunth & C.D.Bouché (Figura 8, imagen 16–18, 21–23)

Mónada; oblado, suboblado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y mayor que 1 μm ; psilada; E.P. 31.8 μm (30.5–32.7, n = 9); E.E. 24.5 μm (19.9–28.4, n = 9); D.E. 25.4 μm (22.9–27.2, n = 7); colpo de 23.8 μm (23–24.3, n = 3) de largo por 1.7 μm (1.2–2.2, n = 3) de ancho; poro de 2.6 μm (2.3–2.8, n = 3) de largo por 1.7 μm (1.5–2, n = 3) de ancho.

Rubiaceae Juss.

Palicourea guianensis Aubl. (Figura 8, imagen 24–28)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; inaperturada, semitectada; reticulada; heterobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 54.8 μm (46.7–69.5, n = 7); E.E. 74.8 μm (64–90, n = 7); D.E. 75 μm (66.2–82.3, n = 5).

Palicourea quadrilateralis C.M. Taylor (Figura 8, imagen 29–33)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; inaperturada, semitectada; reticulada; heterobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 64.2 μm (51.6–80.9, n = 7); E.E. 78.9 μm (68–95.5, n = 7); D.E. 75.8 μm (62–92.1, n = 8).

Psychotria monsalveae C.M.Taylor (Figura 8, imagen 34–35)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolpada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm ; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 16.4 μm (12.7–19.4, n = 10); E.E. 27.2 μm (24.3–29.9, n = 10); D.E. 23 μm (17.2–26.9, n = 5); colpo de 19 μm (18.4–20, n = 3) de largo por 1.4 μm (1–1.55, n = 3) de ancho; poro de 3 μm (2.9–3, n = 2) de largo por 2.6 μm (2.4–2.7, n = 2) de ancho.

Rutaceae Juss.

Citrus limon (L.) Osbeck (Figura 9, imagen 1–2, 7, 13)

Mónada; subprolado, prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; heterocolporada (4–5 colporos); poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 22.5 μm (20.9–23.8, n = 7); E.E. 29.8 μm (26.8–33.7, n = 7); D.E. 30.2 μm (27.2–32.5, n = 10); colpo de 17.8 μm (14.5–21.1, n = 4) de largo por 1.1 μm (0.6–1.4, n = 4) de ancho; poro de 2.6 μm (2.4–2.7, n = 2) de largo por 3.2 μm (2.7–3.6, n = 2) de ancho.

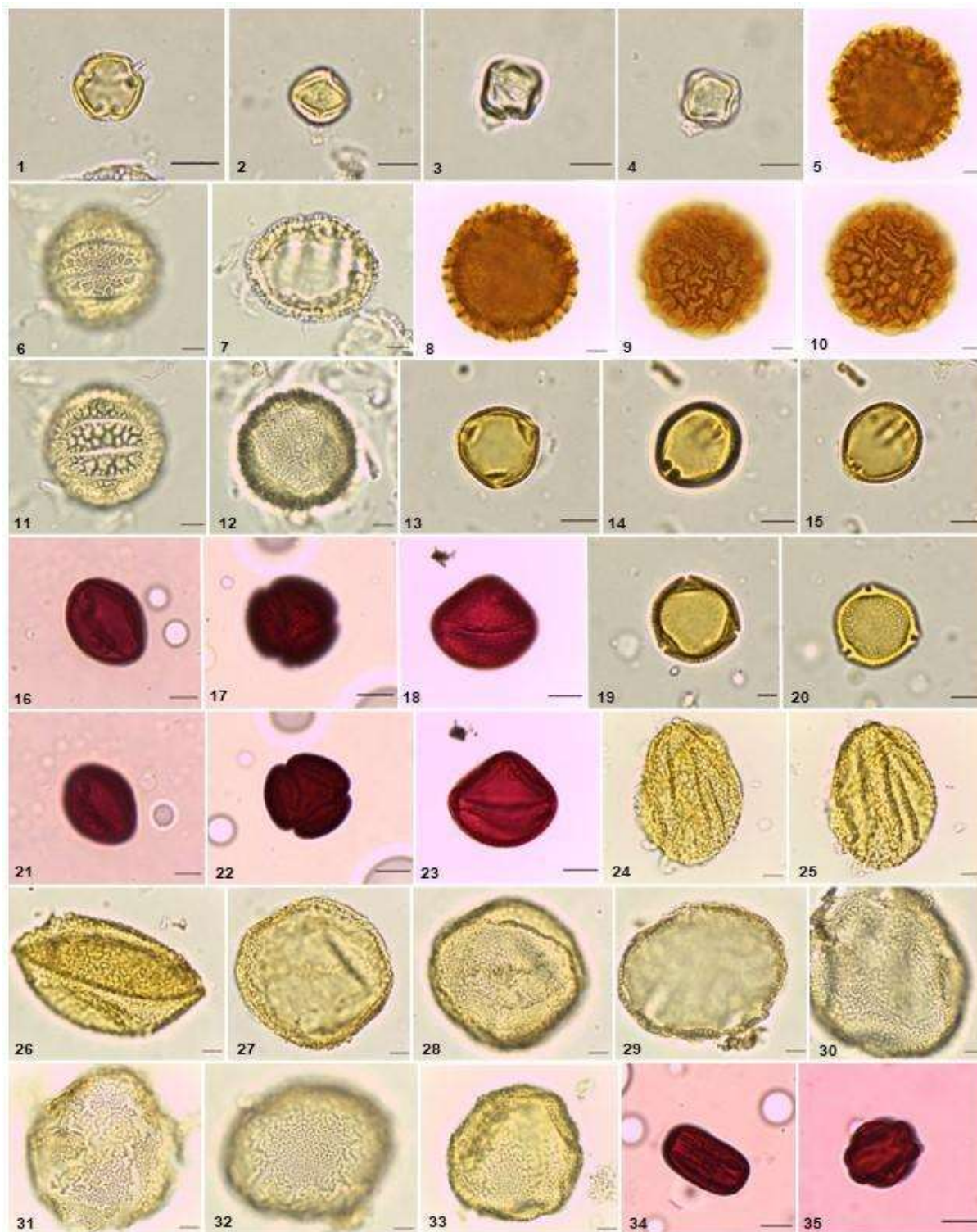


Figura 8 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Ochnaceae:** *Cespedesia spathulata* (Ep: 1; Gv: 2). **Olacaceae:** *Heisteria acuminata* (Gv: 3–4). **Passifloraceae:** *Passiflora biflora* (Gv: 6–7, 11–12); *Passiflora vitifolia* (Gv: 5, 8–10). **Peraceae:** *Pera colombiana* (Pv: 13, Gv: 14–15). **Phytolaccaceae:** *Phytolacca rivinoides* (Ev: 16, 21; Pv: 17, 22; Gv: 18, 23). **Rubiaceae:** *Palicourea guianensis* (Gv: 24–28); *Palicourea quadrilateralis* (Gv: 29–33); *Psychotria monsalveae* (Ev: 34; Pv: 35).

Salicaceae Mirb.

Casearia arborea (Rich.) Urb. (Figura 9, imagen 3–4, 5)

Mónada; prolado; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado, exina tectada; columela indistinta y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 27.1 μm (21.9–30.1, n = 10); E.E. 36.9 μm (33.4–40.9, n = 10); D.E. 28.4 μm (27.5–29.8, n = 3); colpo de 23.1 μm (16.8–27.5, n = 3) de largo por 2 μm (1.6–2.7, n = 3) de ancho; poro de 8.8 μm (5.4–11.9, n = 4) de largo por 2.6 μm (2–3.6, n = 4) de ancho.

Hasseltia floribunda Kunth (Figura 9, imagen 8–10)

Mónada; oblado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolpado; exina tectada; columela indistinta y menor que 1 μm , simplicolumelada; psilada; E.P. 12 μm (10.7–13.3, n = 5); E.E. 10.6 μm (8.9–11.9, n = 5); D.E. 11.9 μm (10.9–12.8, n = 10); colpo de 6.9 μm (6.3–8, n = 3) de largo por 0.7 μm (0.5–0.8, n = 3) de ancho.

Sapindaceae Juss.

Cupania cinerea Poepp. (Figura 9, imagen 11, 17)

Mónada; oblado; ámbito triangular-obtuso convexo; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; syncolporada; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; escabrada; E.P. 33.9 μm (33.2–34.9, n = 3); E.E. 17.6 μm (17–18.3, n = 3); D.E. 27.4 μm (22.1–32.1, n = 7); colpo de 14 μm (12.1–15, n = 6) de largo por 1 μm (0.4–1.6, n = 6) de ancho; poro de 2.6 μm (1.5–4.1, n = 3) de largo por 2.7 μm (1.6–3.3, n = 3) de ancho.

Sapotaceae Juss.

Pouteria multiflora (A.DC.) Eyma (Figura 9, imagen 6, 12, 18)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; estefanocolporada; poro lalongado; 4-colporos; exina tectada; columela indistinta y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen menor que 1 μm ; E.P. 44.3 μm (41.9–46.4, n = 3); E.E. 48.2 μm (44–50.8, n = 3); D.E. 42.1 μm (40.3–43.9, n = 2); colpo de 32.9 μm (30.3–35.4, n = 2) de largo por 3.1 μm (2.9–3.2, n = 2) de ancho; poro de 7.5 μm (7.2–7.8, n = 2) de largo por 4.6 μm (3.3–5.9, n = 2) de ancho.

Solanaceae Juss.

Witheringia solanacea L'Hér. (Figura 9, imagen 14–16)

Mónada; prolado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; psilada; E.P. 19.8 μm (17.3–25.3, n = 10); E.E. 24 μm (21.9–27, n = 10); D.E. 20.7 μm (18–26.7, n = 7); colpo de 15.3 μm (10.4–19.5, n = 5) de largo por 1.5 μm (0.6–2.4, n = 5) de ancho; poro de 3 μm (2.5–3.4, n = 6) de largo por 2.1 μm (1.8–2.2, n = 6) de ancho.

Urticaceae Juss.

Cecropia obtusifolia Bertol. (Figura 9, imagen 20–22)

Mónada; prolado; simetría bilateral; diporada; poro circular; exina tectada; columela indistinta; escabrada; E.P. 8.1 μm (7–8.9, n = 10); E.E. 11.7 μm (10–12.8, n = 10); D.E. 10.9 μm (9.7–11.5, n = 4).

Cecropia peltata L. (Figura 9, imagen 23, 26–29)

Mónada; prolado; simetría bilateral; diporada; poro circular; exina tectada; columela indistinta; equinada; equina menor que 1 μm ; E.P. 7.6 μm (6.3–8.3, n = 10); E.E. 11 μm (9.4–12.9, n = 10); D.E. 10.4 μm (10–10.7, n = 2).

Violaceae Batsch

Gloeospermum sphaerocarpum Triana & Planch. (Figura 9, imagen 24–25, 30)

Mónada; oblado esferoidal; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela indistinta; escabrada; E.P. 22.1 μm (20.4–24.7, n = 4); E.E. 21.2 μm (19.7–21.9, n = 4); D.E. 21.3 μm (17.5–22.9, n = 7); colpo de 12.9 μm (12.6–13.1, n = 2) de largo por 1.8 μm (1.6–1.9, n = 2) de ancho; poro de 1.4 μm (0.8–1.9, n = 2) de largo por 1.3 μm (0.85–1.8, n = 2) de ancho.



Figura 9 – Ev = Vista ecuatorial; Pv = Vista polar; Gv = Vista general. **Rutaceae:** *Citrus limon* (Pv: 1–2; Ev: 7; Gv: 13). **Salicaceae:** *Casearia arborea* (Ev: 3–4; Gv: 5); *Hasseltia floribunda* (Gv: 8; Pv: 9–10). **Sapindaceae:** *Cupania cinerea* (Gv: 11, 17). **Sapotaceae:** *Pouteria multiflora* (Gv: 6, 12, 18). **Solanaceae:** *Witheringia solanacea* (Ev: 14; Pv: 15–16). **Urticaceae:** *Cecropia obtusifolia* (Gv: 20–22); *Cecropia peltata* (Gv: 23, 26–29). **Violaceae:** *Gloeospermum sphaerocarpum* (Gv: 24; Pv: 25, 30). **Vitaceae:** *Cissus erosa* (Ev: 31–34; Pv: 35); *Cissus verticillata* (Ev: 36–37; Pv: 38–40).

Vitaceae Juss.

Cissus erosa Rich. (Figura 9, imagen 31–35)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 27.7 μm (25.7–28.8, n = 10); E.E. 45.6 μm (43.4–48.2, n = 10); D.E. 31.9 μm (26.9–36.9, n = 2); colpo de 34.9 μm (30.3–40.1, n = 2) de largo por 2.2 μm (1.3–3.8, n = 2) de ancho; poro de 2.6 μm (2.2–3, n = 2) de largo por 2.4 μm (2.1–2.6, n = 2) de ancho.

Cissus verticillata (L.) Nicolson & C.E.Jarvis (Figura 9, imagen 36–40)

Mónada; prolado; ámbito circular; isopolar; simetría radial; tricolporada; poro lalongado; exina tectada; columela conspicua y menor que 1 μm , simplicolumelada; reticulada; homobrocada; lumen mayor que 1 μm ; E.P. 32.4 μm (26.5–36.4, n = 10); E.E. 51.6 μm (45.3–57.8, n = 10); D.E. 33.3 μm (27.4–42.8, n = 7); colpo de 43.4 μm (41.3–45, n = 4) de largo por 1.7 μm (1.4–2.1, n = 4) de ancho; poro de 3.7 μm (3.1–4.3, n = 2) de largo por 3 μm (2.6–3.4, n = 2) de ancho.

Discusión

El 24% (24 spp.) del total de las especies corresponde a helechos y licofitos (PPG I, 2016), por lo que se destaca su buena representatividad en este estudio, lo cual es de gran importancia pues por la variedad de tamaños, aperturas, formas de la lesura y tipos de escultura, sus esporas pueden ser de gran utilidad para estudios taxonómicos y paleoecológicos que se lleven a cabo en el Magdalena Caldense. Por otro lado, el 76% (77 spp.) de las especies corresponde a plantas con flores (APG IV, 2016), entre las que se destacan por reportar interacciones con aves a especies de las familias Melastomataceae, Bignoniaceae, Gesneriaceae (Morales-Betancourt *et al.* 2012; Pérez-Cadavid *et al.* 2018); con mamíferos voladores a especies del género *Cecropia*, *Ficus*, *Mucuna*, *Piper* y *Vismia* (Stroo 2000; García-Herrera *et al.* 2019; Anteliz-Pallares *et al.* 2021); con escarabajos a especies del género *Philodendron* (Gibernau *et al.* 2016), lo cual genera la posibilidad de realizar estudios ecológicos sobre interacciones entre plantas y animales en la Laguna de San Diego. Además, crea la oportunidad de integrar esta información con estudios sobre restauración ecológica, ya que, en este estudio se realizan descripciones morfológicas del polen de especies como *Albizia carbonaria* (Figura 6), *Bellucia pentamera* (Figura 7), *Cecropia obtusifolia* (Figura 9), *Cecropia peltata* (Figura 9), *Cespedesia spathulata* (Figura 8), *Cupania cinerea* (Figura 9), *Graffenrieda galeottii* (Figura 7), *Inga samanensis* (Figura 6), *Jacaranda copaia* (Figura 5), *Ochoterena colombiana* (Figura 4), *Virola sebifera* (Figura 7), *Vismia baccifera* (Figura 6) y *Vismia macrophylla* (Figura 6), las cuales son indicadores

de diferentes estados de sucesión vegetal (Guariguata & Ostertag 2002; Orozco-Agudelo & Sierra-Giraldo 2022).

La distribución general del tamaño del polen refleja que los datos presentan sesgo a la derecha tanto para diámetros ecuatoriales como polares (Figura 10). El diámetro ecuatorial (E.E.) tiene un promedio de 30.9 μm (SD = 19.4), mientras que el diámetro polar (E.P.) tiene un promedio de 29.3 μm (SD = 17.8). Siendo las más grandes *Costus lasius* (Lamina 3) con diámetro polar de 122.5 μm (102.9–161.1, n = 7) y *Salpichlaena volubilis* (Lamina 1) con diámetro ecuatorial de E.E. 86.7 μm (73.1–96.2, n = 7) y las más pequeñas *Cecropia peltata* (Lamina 8) con diámetro polar de 7.6 μm (6.3–8.3, n = 10) y *Philodendron subhastatum* (Lamina 3) con diámetro ecuatorial de 7.9 μm (6.9–8.9, n = 10).

La morfología general del polen y las esporas se compone de 14 tipos de aperturas dominadas por tricolporadas (34.6%), monoletes (14.8%), monocolpadas (5.5 %) y heterocolpada (9.9%) (Figura 11). La mayoría de las familias tienen un tipo de apertura, cuatro familias (Euphorbiaceae, Melastomataceae, Rubiaceae y Salicaceae) tienen dos tipos de apertura y solo una (Fabaceae) tiene tres tipos de apertura (Figura 12).

Que la mayoría de los granos de polen de especies de plantas con flores presenten apertura tricolporada se debe a la predominancia de Eudicotiledóneas en la muestra, las cuales representan el 64% (65 spp.) de las especies en total (Anexo 1), de las cuales 34 presentaron apertura tricolporada, siendo esta una característica de este grupo (Zhang *et al.* 2017; Yu *et al.* 2018). Respecto a la predominancia del tipo de apertura heterocolpada, se debe a que Melastomataceae fue la familia con mayor riqueza, registrando doce especies, en donde nueve de ellas presentaron este tipo de apertura, es decir, el 90% de las especies que presentaron este tipo de apertura, la cual es característica de la familia (Piraquive-B & Rangel-CH 2012). Las demás especies de esta familia presentaron apertura tricolporada (*Miconia domociliata*, *Miconia serrulata*, *Miconia sulcicaulis*).

Otros de los tipos de apertura más representativos fue monolete (14.8%) y trilete (8.9%), esto se debe a que se registraron 24 especies entre helechos y licofitos (Anexo 1) y no hubo registros de esporas aletas. Por otro lado, a pesar de que solo se registraron 5 especies de Angiospermas basales (*Guatteria ucayalina*, *Hedyosmum racemosum*, *Virola sebifera*, *Piper pulchrum* y *Piper umbellatum*), se logró evidenciar que el 60% de este grupo presenta tipo de ornamentación monoaperturado (monosulcado – monocolpado) el cual es un carácter primitivo de las angiospermas (Lu *et al.* 2015) y fue evidente en las angiospermas basales reportadas en la Laguna de San Diego.

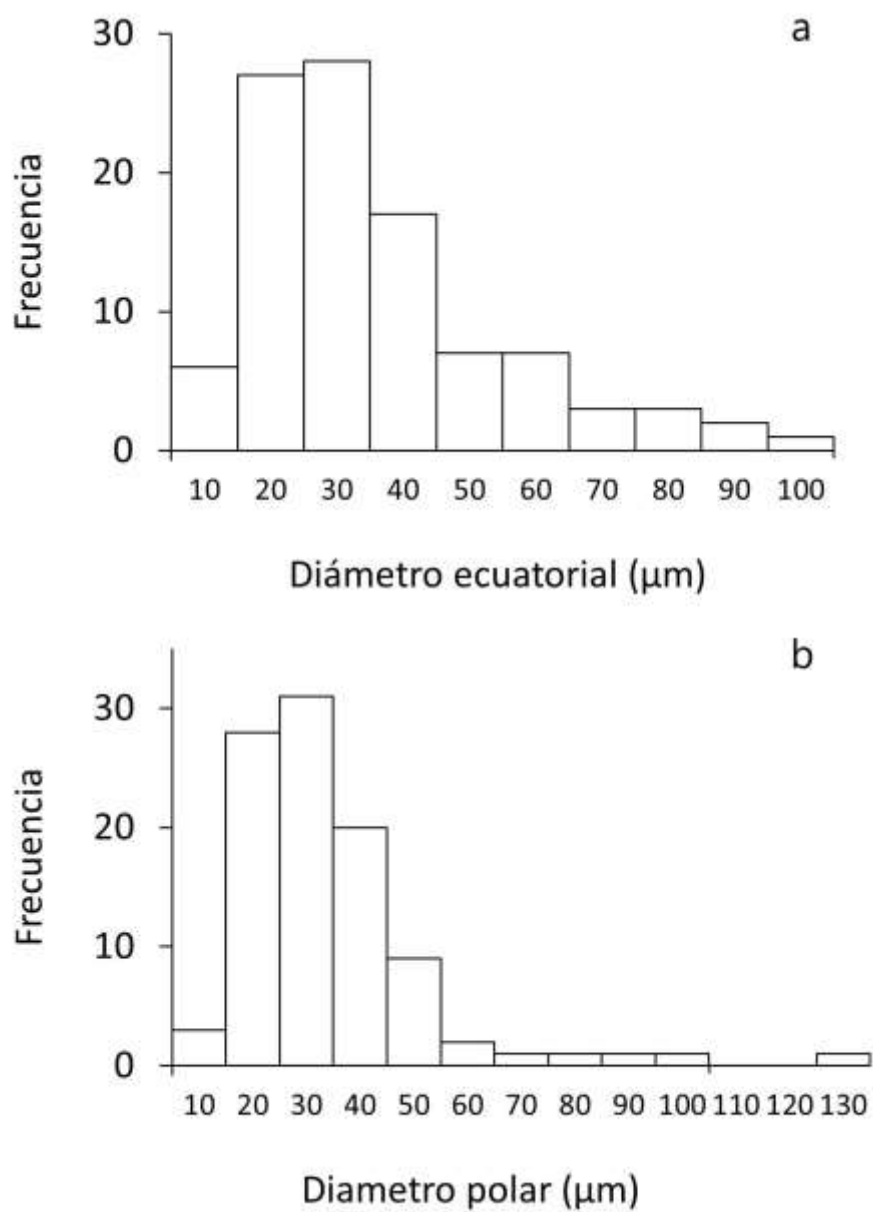


Figura 10 – Distribución del tamaño (μm) del polen y las esporas para las 101 especies registradas. a). Diámetro ecuatorial en vista ecuatorial, b). Eje polar en vista ecuatorial.

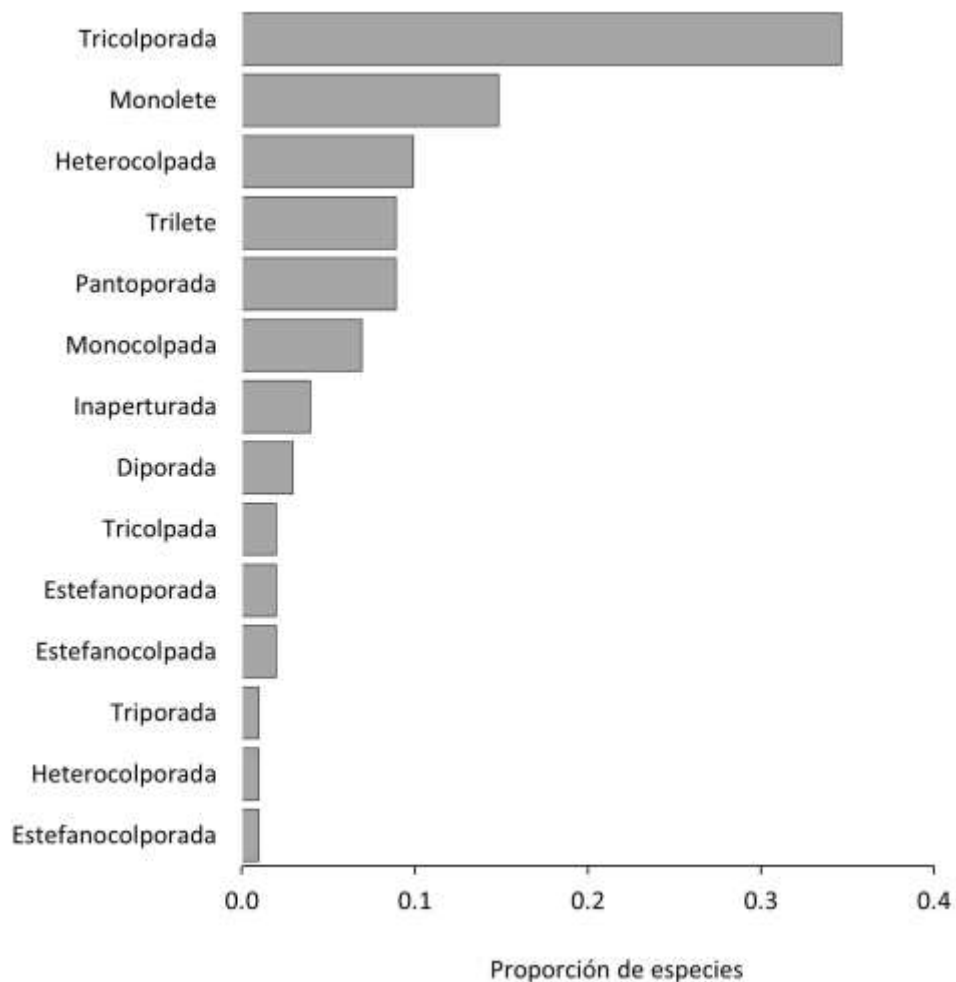


Figura 11 – Tipos de aberturas registradas en las 101 especies registradas y su presencia respecto a la proporción de especies.

Entre las aperturas menos frecuentes, estefanocolpada solo fue registrada *Passiflora biflora* y *Passiflora vitifolia* (Passifloraceae), estefanocolporada solo se registró en *Pouteria multiflora* (Sapotaceae), heterocolporada en *Citrus limon* (Rutaceae) y triporada solo se registró en *Chelonanthus alatus* (Gentianaceae), especie que además fue la única con tipo de agregación en tétrada (Anexo 1).

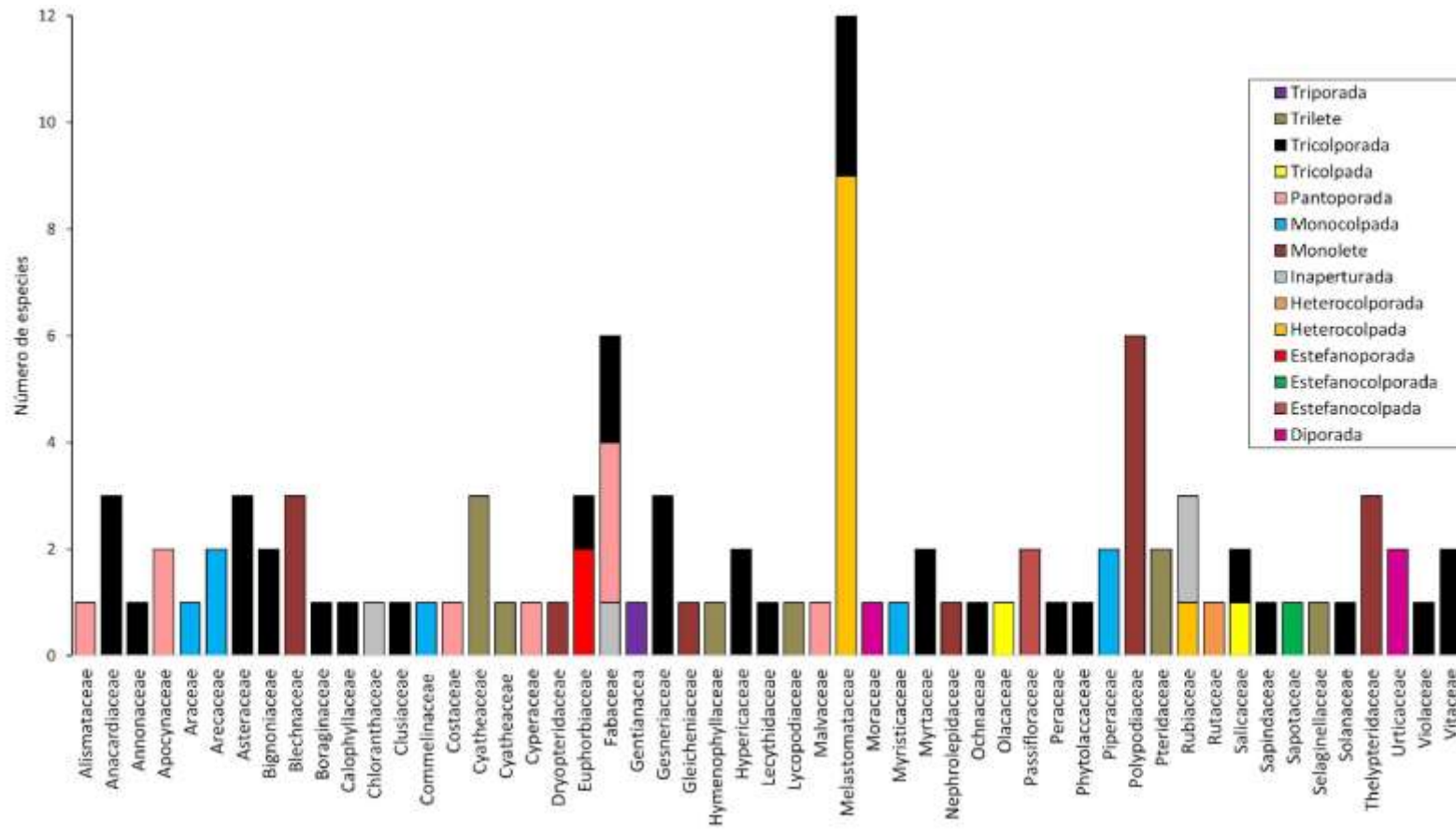


Figura 12 – Distribución por familia de los tipos de apertura para las 101 especies registradas.

Se registran 12 tipos de ornamentación dominados por reticulada (47.5%), psilada (16.8%), escabrada (9.9%) y verrugada (8.9%) (Figura 13). La mayoría de las familias tienen uno solo tipo de ornamentación, siete familias (Blechnaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae, Salicaceae y Urticaceae) tienen tres tipos de ornamentación y cuatro familias (Cyatheaceae, Fabaceae, Melastomataceae y Thelypteridaceae) tienen dos tipos de ornamentación (Figura 14).

De la misma manera que en el tipo de apertura (tricolporado), la predominancia del tipo de ornamentación reticulada se debe a que esta es característica de las eudicotiledóneas (Zhang *et al.* 2017; Yu *et al.* 2018), en donde este tipo de ornamentación se registró en 40 de las 65 especies registradas de este grupo. Por otro lado, tanto la ornamentación reticulada como psilada se registraron en cuatro (Angiospermas basales, Eudicotiledóneas, Helechos y Monocotiledóneas) de los cinco grupos, a excepción de los licófitos que presentaron ornamentación equinada (*Selaginella flabellata*) y rugulada (*Palhinhaea cernua*). El tipo de ornamentación escabrado solo se registró en monocotiledóneas y eudicotiledóneas, mientras que verrugado solo se registró en helechos de las familias Hymenophyllaceae, Nephrolepidaceae, Polypodiaceae, Pteridaceae y Thelypteridaceae (Figura 14, Anexo 1), las cuales fueron pequeñas ($\leq 5 \mu\text{m}$ de alto y ancho) y redondeadas, excepto en *Serpocaulon articulatum* (Figura 3) que presentó verrugas grandes, de $5 \mu\text{m}$ (2.8–7.6 μm , n=10) de ancho y de apariencia cuadrada y cónica.

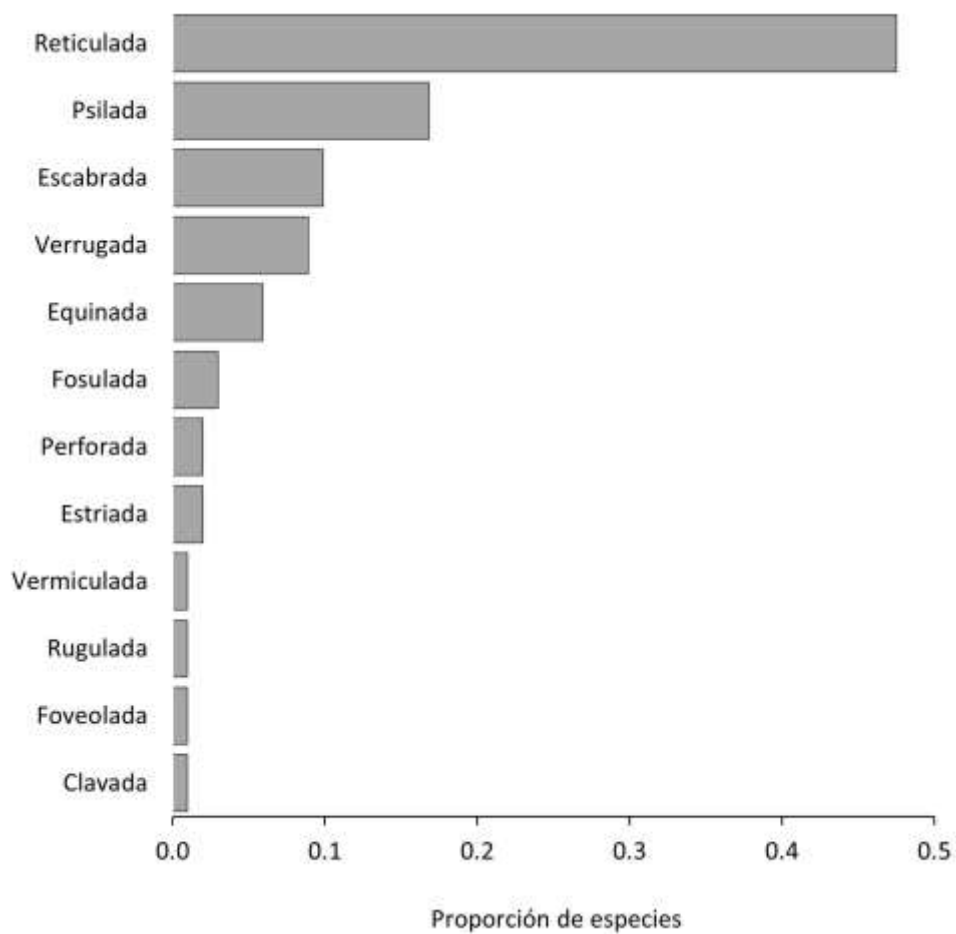


Figura 13 – Tipos de ornamentación registradas en las 101 especies registradas y su presencia respecto a la proporción de especies.

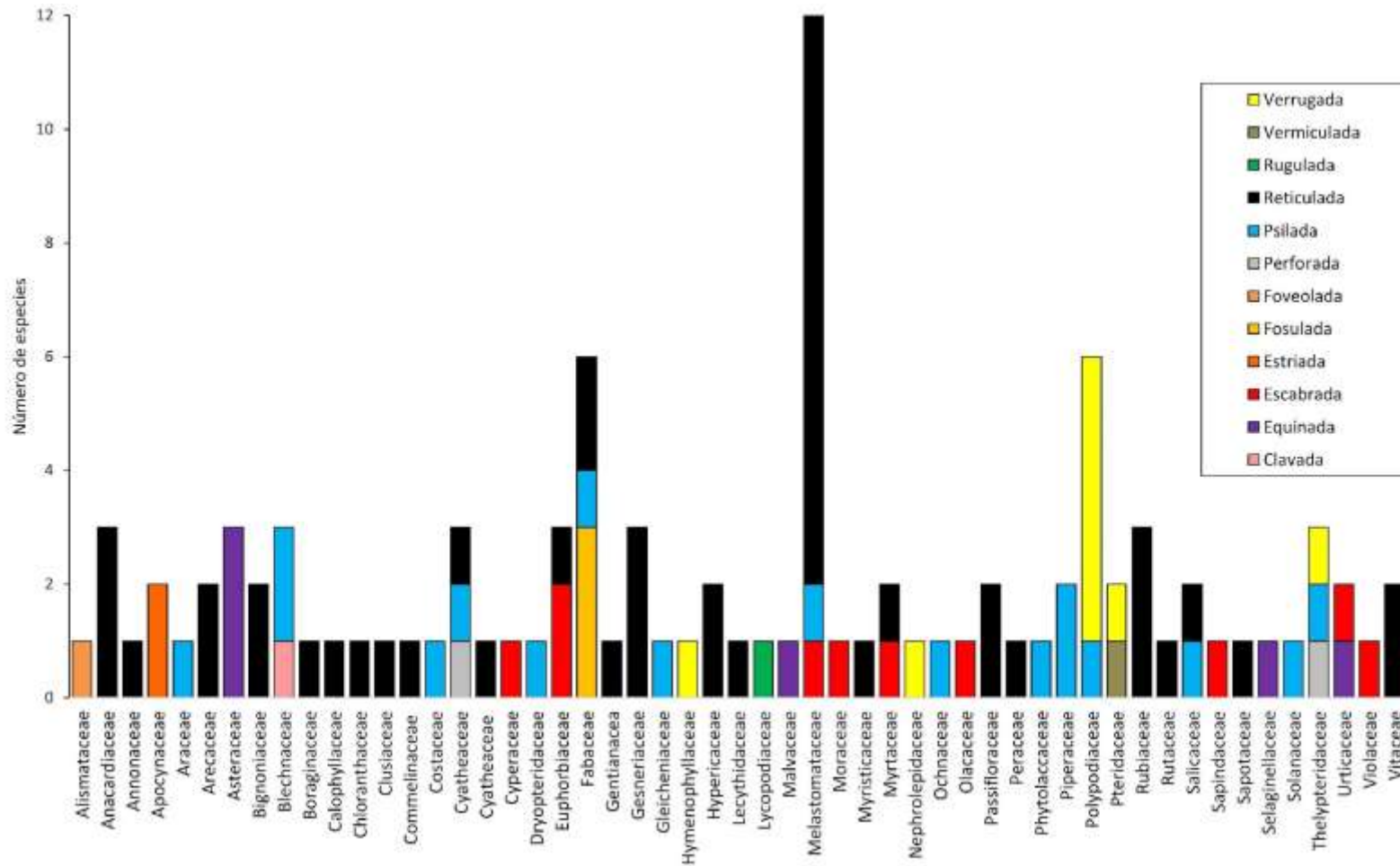


Figura 14 – Distribución por familia de los tipos de ornamentación para las 101 especies registradas.

Referencias

- Amaya-Márquez M, Stiles G, Garfield HF & Rangel-Ch JO (2001) Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia* 23(1): 301–322.
- Anteliz-Pallares IC, Sánchez AT & Sánchez-Londoño JD (2021) Dieta de murciélagos frugívoros y su efecto sobre la germinación de dos especies en el Área Natural Única los Estoraques, Norte de Santander, Colombia. *Caldasia* 43(2): 310–319.
- APG IV (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* 181: 1–20.
- Beltrán M, Matiz C, Torres R & Ordoñez M (2017) Batimetría Laguna de San Diego. XVI Colombian Geological Congress. August 28 – September 01. Santa Marta, Colombia.
- Bogotá G (2002) El polen de la subclase Asteridae en el páramo de Monserrate. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Centro de investigación y desarrollo científico. Policromía Digital Ltda. Bogotá. 128 p.
- Bogotá R & Parra C (2002) Estudio palinológico de *Cardamine* L., *Nasturtium* R.Br. y *Rorippa* Scop. en Colombia. *Caldasia* 24(2): 239–257
- Bogotá RG, Lamprea SJ & Rangel JO (1996) Atlas palinológico de la clase Magnoliopsida en el páramo Monserrate. En: Fundacion-ecosistemas-Andino- ECOAN, (ed.), El Páramo Ecosistema a proteger, serie Montañas Tropandinas Vol. II. CODICE Ltda, Bogotá. Pág. 131 - 191.
- Borrero C, Murcia H, Agustin-Flores J, Arboleda MT & Giraldo AM (2017) Pyroclastic deposits of San Diego maar, central Colombia: An example of a silicic magma-related monogenetic eruption in a hard substrate. In Geological Society Special Publication 446: 361–374.
- Boyle B, Hopkins N, Lu Z, Raygoza JA, Mozzherin D, Rees T, Naim Matasci, Martha L Narro, William H Piel, Sheldon J McKay, Sonya Lowry, Chris Freeland, Peet R & Enquist BJ (2013) The taxonomic name resolution service: an online tool for automated standardization of plant names. *BMC Bioinformatics* 14:16. doi:10.1186/1471-2105-14-16.
- Cardona N, David H & Hoyos S (2010) Flora de la Miel, Central Hidroeléctrica Miel I, Oriente de Caldas, Guía ilustrada. ISAGEN - Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia (HUA), Medellín, 228 p.

Contreras-Duarte AR, Bogotá RG, & Jiménez-Bulla LC (2006) Atlas de las esporas de Pteridófitos de Chipaque (Cundinamarca, Colombia). *Caldasia* 28(2):327–357.

CORPOCALDAS (2011) Acuerdo de consejo directivo número 19 de 2011. Por medio del cual se delimita y declara el Distrito Regional de Manejo Integrado de Recursos Renovables “Laguna de San Diego” y se dictan normas para su uso y funcionamiento. Corporación Autónoma Regional de Caldas, Manizales. 4 p

David H, Díaz V, Urrea Lm & Cardona F (2014) Guía Ilustrada Flora Cañón del río Porce, Antioquia. EPM E.S.P. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia. 264 p.

De Souza C, Alves R & Custódio E (2019) Pollen morphology of Bignoniaceae from Brazilian forest fragments and its systematic significance. *Palynology* 43(2): 333–347.

Erdtman G (1986) Pollen morphology and plant taxonomy. E. J. Brill. The Netherlands. Segunda edición. 553 p.

Fontes D, Jaramillo C & Moreno JE (2019) Pollen morphology of the Amacayacu Forest dynamics plot, Western Amazon, Colombia. *Palynology* 44(1): 32–79.

García-Herrera LV, Ramírez-Francel LA & Reinoso-Flórez G (2019) Consumo de plantas pioneras por murciélagos frugívoros en un fragmento de bosque seco tropical (Colombia). *Ciencia en desarrollo* 10(2): 33–41.

García-M Y, Rangel-Ch J & Fernández D (2011) Flora palinológica de la vegetación acuática, de pantano y de la llanura aluvial de los humedales de los departamentos de Córdoba y Cesar (Caribe Colombiano). *Caldasia* 33(2): 573–618.

Gentry AH (1996) A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Perú). University of Chicago press. Chicago. 337 p.

Gibernau M (2016) Pollinators and visitors of aroid inflorescences III - Phylogenetic & Chemical insights. *Aroideana* 39(3): 4–22.

Guariguata M & Ostertag R (2002) Sucesión secundaria. En: Guariguata MR, Kattan GH, editores. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago (Costa Rica): Libro Universitario Regional. 56–90.

Halbritter AH, Halbritter H, Ulrich S, Grímsson F, Weber M, & Zetter R (2018) Illustrated pollen terminology. Berlin: Springer. 486 p.

Herrera LF & Urrego LE (1996) Atlas de polen de las plantas útiles y cultivadas de la Amazonia Colombiana. El Cuaternario de Colombia. Tropenbos. 462 p.

HUA/Herbario Universidad de Antioquia (2017) Colecciones en línea. <http://www2.udea.edu.co/herbario/paginas/consultas/consultarEjemplares.iface>

ICN/INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES (2004 y continuamente actualizado) Colecciones en línea. <http://www.biovirtual.unal.edu.co>.

Idárraga P, Urrea LM, Roldán FJ & Cardona F (2016) Flora del Magdalena Medio: áreas de influencia de la Central Térmica Termocentro. ISAGEN – Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 270 p.

Jain S (2020) Pollen and Spores. En: Fundamentals of Invertebrate Palaeontology. Springer Geology. Springer, Nueva Delhi. 43–65.

Jiménez-B LC (1996) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana I: Familias Caesalpinaceae, Fabaceae y Mimosaceae. *Caldasia* 18(3): 295–327.

Jiménez-B LC, Rangel JO & Bogotá RG (1999) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana III. Familia Melastomataceae y Mouriri (Memecylaceae). *Rev. Acad Colomb. Cienc* 23: 295–712.

Leal A, Berrío JC, Raimúndez E & Bilbao B (2011) A pollen atlas of premontane woody and herbaceous communities from the upland savannas of Guayana, Venezuela. *Palynology* 35(2): 226–266.

Lehnert M (2011) The Cyatheaceae (Polypodiopsida) of Peru. *Brittonia* 63: 11–45.

Licciardi JM, Schaefer JM, Taggart JR & Lund DC (2009) Holocene glacier fluctuations in the Peruvian Andes indicate northern climate linkages. *Science* 325: 1676–1679.

Lu L, Wortley AH, Li D, Wang H & Blackmore S (2015) Evolution of angiosperm pollen. 2. The Basal Angiosperms. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 100(3): 227–269.

Luo Y, Lu L, Wortley AH, Li DZ, Wang H & Blackmore S (2015) Evolution of angiosperm pollen. 3. Monocots. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 101: 406–455.

Méndez MV, Sánchez AC, Lupo LC (2021) Caracterización de los recursos tróficos utilizados por *Apis mellifera* L. en un área de las Yungas en el norte de Salta (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 56: 171–185.

Mercado-Gómez JD, Solano L & Sánchez L (2007) Morfología polínica de especies pertenecientes a 5 géneros de Melastomataceae para Pamplona Colombia. *Bistua* 5(1): 71–86.

Mercado-Gómez JD, Jiménez-Bulla LC & Sánchez-Montaña LR. (2011) Polen de las Magnoliopsida en el Volcán (Pamplona, Colombia) I: familias Apiaceae, Asteraceae, Cunoniaceae, Ericaceae, Fabaceae y Gentianaceae. *Caldasia*, 33 (2): 619–635.

Mercado-Gómez JD, Carmona-Duque DT, Jiménez-Bulla LC & Aceituno-Bocanegra FJ (2015) Flora palinológica de la cuenca media del río San Eugenio, Risaralda (Cordillera Central), Colombia. *Actual Biol* 37(103): 185–200.

Monsalve M, Ortiz LM, & Vallejo AH. (2023). Morphology and general stratigraphy of the maar-type San Diego volcano, NE of Caldas, Colombia. *Boletín Geológico* 50(1): 1–23.

Morales-Betancourt JA, Castaño-Villa GJ & Fontúrbel FE (2012) Resource abundance and frugivory in two manakin species (Aves: Pipridae) inhabiting a reforested area in Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 28(5): 511–514.

Moran RC & Riba R (1995) Volumen 1, Psilotaceae a Salviniaceae. En: Davidse, G., M. Souza & S. Knapp. (Eds.) *Flora Mesoamericana*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Morcillo MS (2010) Caracterización melisopalinológica de las cargas de polen recolectadas por la abeja común, *Apis mellifera* Linnaeus 1758, y relación con la estructura y composición florística local. Beca de investigación, servicio de medio ambiente de la diputación de Toledo, España.

Murcia H, Borrero C & Németh K (2018) Overview and plumbing system implications of monogenetic volcanism in the northernmost Andes' volcanic province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383(1): 77-87.

Orozco-Agudelo JA & Sierra-Giraldo JA (2022) Dinámicas de reclutamiento, mortalidad, diversidad y crecimiento de la vegetación vascular en restauración ecológica. *Experiencias En Restauración Ecológica “Desde La Investigación a Los Procesos Comunitarios.”* Universidad de Caldas e Isagen. Manizales.

Pardo-Trujillo A, Plata A, Gómez C (2021) *Palinología Colombiana: Métodos, aplicaciones y estado del conocimiento*. Universidad de Caldas. Manizales. 234 p.

Pérez-Cadavid A, Rojas-Soto OR & Bonilla-Moheno M (2018) Effect of seed ingestion by birds on the germination of understory species in cloud forest. *Revista mexicana de biodiversidad* 89(4): 1167–1175.

Piraquive-B D & Rangel-Ch JO (2012) Caracterización palinológica de la familia Melastomataceae en el Caribe Colombiano. En: *Colombia diversidad Biótica XIII: Complejo cenagoso Zapatoza y ciénagas del Sur del Cesar*. Biodiversidad, conservación y manejo. Instituto de ciencias naturales. Colombia.

POWO (2023) Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>

PPG I (2016) A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* 54:563–603.

Punt W, Hoen PP, Blackmore S, Nilsson S & Le Thomas A (2007) Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143(1-2): 1–81.

Ramírez-Valencia V & Sanín D (2016) Spores of *Serpocaulon* (Polypodiaceae): morphometric and phylogenetic analysis. *Grana* 56: 1–18.

Ramírez-Valencia V, Sanín D & Pardo-Trujillo A (2013) Análisis morfológico de las esporas de *Serpocaulon* (Polypodiaceae) de la Cordillera Central de Colombia. *Caldasia* 35: 177–197.

Rangel-Ch. O, Bogotá G & Jiménez LC (2001) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana IV: Familia Arecaceae. *Caldasia* 23(1): 281–300.

Rincón Barón EJ, Zarate DA, Agudelo Castañeda GA, Cuarán VL & Passarelli LM (2021) Micromorfología y ultraestructura de las anteras y los granos de polen en diez genotipos élite de *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Revista de Biología Tropical* 69(2): 403–421.

Roubik D & Moreno J (1991) Pollen and Spores of Barro Colorado Island. Missouri Botanical Garden, Saint Louis, USA. 268 p.

RUNAP (2022) Registro único de áreas protegidas de Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, Preibisch S, Rueden C, Saalfeld S, Schmid B, Tinevez J, White DJ, Hartenstein V, Eliceiri K, Tomancak P & Cardona A (2019) Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat Methods* 9:676–682.

Stroo A (2000) Pollen morphological evolution in bat pollinated plants. *Plant Syst. Evol.* 222: 225–242.

Tao ZB, Wortley AH, Lu L, Li DZ, Wang H & Blackmore S (2018) Evolution of Angiosperm Pollen. 6. The Celastrales, Oxalidales, and Malpighiales (Com) Clade and Zygothylales. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 103(3): 393–442.

Traverse A (1988) Paleopalynology. Unwin Hyman, Londres. 600 p.

van der Sande MT, Bush MB, Åkesson CM, Berrio JC, Correia Metrio A, Flantua SGA, Hooghiemstra H, Maezumi SY, McMichael CNH, Montoya E, Mosblech NAS, de Novaes Nascimento M, Peña-Claros M, Poorter L, Raczka MF & Gosling WD (2023) Warming, drought, and disturbances lead to shifts in functional

composition: A millennial-scale analysis for Amazonian and Andean sites. *Global Change Biology* 00, 1-18.

Vargas W (2002) *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales*. Universidad de Caldas, Manizales. 815 p.

Velásquez C & Rangel-Ch O (1995) Atlas palinológico de la flora vascular del páramo I. Las familias más ricas en especies. *Caldasia* 17(82-85): 509–568.

Velásquez CA (1999) *Atlas palinológico de la flora vascular paramuna de Colombia: Angispermae*. Litografía Gráficas Montoya, Medellín. 173 p.

Velásquez-Franco S (2020) *Listening to Las Lagunas: A long-term perspective applied to environmental management in the Equatorial Andes*. The University of Utah. Inédito. Disertación doctoral.

Wortley AH, Wong H, Lu L, Li D-z & Blackmore S (2015) Evolution of Angiosperm Pollen. 1. Introduction. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 100(3–4): 177–226.

Yu Y, Wortley AH, Lu L, Li D Z, Wang H & Blackmore S (2018) Evolution of angiosperm pollen. 5. Early diverging Superasteridae (Berberidopsidales, Caryophyllales, Cornales, Ericales, and Santalales) plus Dilleniales. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 103: 106–161.

Zhang MY, Lu L, Wortley AH, Wang H, Li DZ & Blackmore S (2017) Evolution of angiosperm pollen: 4. Basal eudicots. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 102: 141–182.

Anexo 1 – Variaciones de tipos de apertura, ornamentación, unidades de dispersión de polen y esporas, medidas (μm) del eje polar en vista ecuatorial, diámetro ecuatorial en vista ecuatorial y del diámetro ecuatorial en vista polar de las 101 especies registradas en la Laguna de San Diego. EP = Eje polar en vista ecuatorial. EE = diámetro ecuatorial en vista ecuatorial. DE = diámetro ecuatorial en vista polar.

Familia	Especie	Unidad	Apertura	Ornamentación	Media E.P.	Media E.E.	Media D.E.	N° colección
Licófitos								
Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i> (L.) Vasc. & Franco	Mónada	Trilete	Rugulada	32.9	24.1	30.8	LUZ1049
Selaginellaceae	<i>Selaginella flabellata</i> (L.) Spring	Mónada	Trilete	Equinada	26.5	18.3	25	JASG2059
Helechos								
Blechnaceae	<i>Blechnum occidentale</i> L.	Mónada	Monolete	Psilada	26.4	41.7		LUZ1066
Blechnaceae	<i>Blechnum polypodioides</i> Raddi	Mónada	Monolete	Psilada	24.9	45.6		LUZ1052
Blechnaceae	<i>Salpichlaena volubilis</i> (Kaulf.) J.Sm.	Mónada	Monolete	Clavada	58.1	86.7		JASG1720
Cyatheaceae	<i>Alsophila cuspidata</i> (Kunze) D.S.Conant	Mónada	Trilete	Reticulada			34.9	JASG2053
Cyatheaceae	<i>Alsophila imrayana</i> (Hook.) D.S.Conant	Mónada	Trilete	Psilada	43.9	29.9	37	LUZ1058
Cyatheaceae	<i>Cyathea lockwoodiana</i> (P.G.Windisch) Lellinger	Mónada	Trilete	Perforada			39.6	JASG1683
Cyatheaceae	<i>Cyathea cardenasii</i> Lehnert, F.Giraldo & W.D.Rodr.	Mónada	Trilete	Reticulada	44.4	32.8	38.5	JASG1745
Dryopteridaceae	<i>Polybotrya caudata</i> Kunze	Mónada	Monolete	Psilada	30.4	48.8		LUZ1062
Gleicheniaceae	<i>Sticherus bifidus</i> (Willd.) Ching	Mónada	Monolete	Psilada	17.2	35.7		LUZ1050
Hymenophyllaceae	<i>Trichomanes elegans</i> Rich.	Mónada	Trilete	Verrugada	37.8	27.9	33.7	LUZ1070
Nephrolepidaceae	<i>Nephrolepis brownii</i> (Desv.) Hovenkamp & Miyam.	Mónada	Monolete	Verrugada	19.8	35.4		LUZ1063
Polypodiaceae	<i>Campyloneurum nitidissimum</i> (Mett.) Ching	Mónada	Monolete	Verrugada	33.1	66.4		LUZ1060
Polypodiaceae	<i>Campyloneurum</i> aff. <i>repens</i> (Aubl.) C.Presl	Mónada	Monolete	Psilada	27	40.4		LUZ1067
Polypodiaceae	<i>Microgramma persicariifolia</i> C.Presl	Mónada	Monolete	Verrugada	33.3	51.6		LUZ1069
Polypodiaceae	<i>Pecluma hygrometrica</i> (Splitg.) M.G.Price	Mónada	Monolete	Verrugada	22.3	37.7		LUZ1059
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis bombycina</i> (Maxon) A.R.Sm.	Mónada	Monolete	Verrugada	34	52.4		LUZ1057
Polypodiaceae	<i>Serpocaulon articulatum</i> (C. Presl) Schwartzb. & A.R. Sm.	Mónada	Monolete	Verrugada	25.8	53.8		LUZ1048
Pteridaceae	<i>Pityrogramma calomelanos</i> (L.) Link	Mónada	Trilete	Vermiculada	47.2	32.6	36.6	LUZ1051
Pteridaceae	<i>Pteris biaurita</i> L.	Mónada	Trilete	Verrugada	39.9	23.1	40.2	LUZ1054

Familia	Especie	Unidad	Apertura	Ornamentación	Media E.P.	Media E.E.	Media D.E.	N° colección
Thelypteridaceae	<i>Macrothelypteris torresiana</i> (Gaudich.) Ching	Mónada	Monolete	Perforada	32.7	52.2		LUZ1053
Thelypteridaceae	<i>Meniscium serratum</i> Cav.	Mónada	Monolete	Psilada	35.5	55		JASG1734
Thelypteridaceae	<i>Meniscium falcatum</i> Liebm.	Mónada	Monolete	Verrugada	28.1	39.5		LUZ1055
Annonaceae	<i>Guatteria ucayalina</i> Huber	Mónada	Tricolporada	Reticulada	26.5	26.4	25.9	JASG2056
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Mónada	Inaperturada	Reticulada	33.2	31.4		JASG2052
Myristicaceae	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Mónada	Monocolpada	Reticulada	26.1	18.6		JAO951
Piperaceae	<i>Piper pulchrum</i> C. DC.	Mónada	Monocolpada	Psilada	11.5	8.9		JASG1610
Piperaceae	<i>Piper umbellatum</i> L.	Mónada	Monocolpada	Psilada	11.8	8.9		JASG2069
Monocotiledóneas								
Alismataceae	<i>Limnocharis flava</i> (L.) Buchenau	Mónada	Pantoporada	Foveolada	25.6	24.9		JASG1703
Araceae	<i>Philodendron subhastatum</i> K. Krause	Mónada	Monocolpada	Psilada	14.3	7.9		Phi1JASG
Arecaceae	<i>Aiphanes horrida</i> (Jacq.) Burret	Mónada	Monocolpada	Reticulada	32.3	20.5		JASG1738
Arecaceae	<i>Asterogyne martiana</i> (H. Wendl.) Drude	Mónada	Monocolpada	Reticulada	40.3	21.1		CG3-JASG
Commelinaceae	<i>Tripogandra serrulata</i> (Vahl) Handlos	Mónada	Monocolpada	Reticulada	29.4	21.4		JASG1707
Costaceae	<i>Costus lasius</i> Loes.	Mónada	Pantoporada	Psilada	122.5	95.3		JASG1625
Cyperaceae	<i>Cyperus laxus</i> Lam.	Mónada	Pantoporada	Escabrada	27.1	22.1		JASG2079
Eudicotiledóneas								
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	27.7	25.4	24.8	Man1JASG
Anacardiaceae	<i>Ochoterena colombiana</i> F.A. Barkley	Mónada	Tricolporada	Reticulada	25.1	21.9	23.4	JAO860
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	33	20.1	22.5	JASG1647
Apocynaceae	<i>Mandevilla callista</i> Woodson	Mónada	Pantoporada	Estriada	94.7	59.7		JASG1685
Apocynaceae	<i>Mandevilla hirsuta</i> (Rich.) K. Schum.	Mónada	Pantoporada	Estriada	80	65.9		JASG1665
Asteraceae	<i>Baccharis nitida</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Mónada	Tricolporada	Equinada	22.5	16.8	19.9	JAO811
Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob.	Mónada	Tricolporada	Equinada	22.9	17.3	21.5	JASG1655
Asteraceae	<i>Critoniella acuminata</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Mónada	Tricolporada	Equinada	19.7	18.4	19.7	JASG2076
Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Mónada	Tricolporada	Reticulada	33.9	28.8	28.4	JASG1723
Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	42.8	39	38.4	JASG1724

Familia	Especie	Unidad	Apertura	Ornamentación	Media E.P.	Media E.E.	Media D.E.	N° colección
Boraginaceae	<i>Cordia nodosa</i> Lam.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	41.9	36.4	38.3	JASG1341
Calophyllaceae	<i>Marila podantha</i> Cuatrec.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	18.9	16.4	16.9	JASG1645
Clusiaceae	<i>Clusia haughtii</i> Cuatrec.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	22	21	21.6	JASG1641
Euphorbiaceae	<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	Mónada	Estefanoporada	Escabrada	15.8	15.4	16.3	JASG2070
Euphorbiaceae	<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	Mónada	Estefanoporada	Escabrada	18.4	16.3	16.3	CG1JAO
Euphorbiaceae	<i>Alchorneopsis floribunda</i> (Benth.) Müll.Arg.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	17.3	15.5	16.4	JASG2065
Fabaceae	<i>Albizia carbonaria</i> Britton	Póliada	Inaperturada	Psilada	15.5	21.4		JAO837
Fabaceae	<i>Crotalaria nitens</i> Kunth	Mónada	Tricolporada	Reticulada	32.5	24.8	23.8	JASG1651
Fabaceae	<i>Inga oerstediana</i> Benth.	Póliada	Pantoporada	Fosulada	24.4	31.7		JASG2057
Fabaceae	<i>Inga samanensis</i> L. Uribe	Póliada	Pantoporada	Fosulada	26.1	34.1		JAO893
Fabaceae	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	Póliada	Pantoporada	Fosulada	31.4	38.3		JAO1157
Fabaceae	<i>Mucuna mutisiana</i> (Kunth) DC.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	82.5	73.3	74.7	JASG1726
Gentianaceae	<i>Chelonanthus alatus</i> (Aubl.) Pulle	Tétrada	Triporada	Reticulada	26.5	34.5		JASG1668
Gesneriaceae	<i>Codonanthopsis crassifolia</i> (H.Focke) Chautems & Mat.Perret	Mónada	Tricolporada	Reticulada	31.9	26.9	29.2	JASG1650
Gesneriaceae	<i>Kohleria hirsuta</i> (Kunth) Regel	Mónada	Tricolporada	Reticulada	22.4	20.3	21.4	JASG1673
Gesneriaceae	<i>Nautilocalyx bracteatus</i> (Planch.) Sprague	Mónada	Tricolporada	Reticulada	34.2	32	30.7	JASG1679
Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	21.4	19.8	18.4	CG2JAO
Hypericaceae	<i>Vismia macrophylla</i> Kunth	Mónada	Tricolporada	Reticulada	26.1	25.2	24.9	JAO861
Lecythidaceae	<i>Gustavia speciosa</i> (Kunth) DC.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	26.2	27.2	25.6	JASG1667
Malvaceae	<i>Hibiscus spathulatus</i> Garcke	Mónada	Pantoporada	Equinada			86.9	JASG1739
Melastomataceae	<i>Bellucia pentamera</i> Naudin	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	23.5	18.3	18.9	JAO856
Melastomataceae	<i>Chaetogastra longifolia</i> (Vahl) DC.	Mónada	Heterocolpada	Escabrada	21.1	15.7	18.9	JASG1656
Melastomataceae	<i>Graffenrieda galeottii</i> (Naudin) L.O.Williams	Mónada	Heterocolpada	Psilada	10.4	8.8	9.1	JASG1620
Melastomataceae	<i>Miconia aponeura</i> Triana	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	15.9	11.7	14.9	JASG1646
Melastomataceae	<i>Miconia dolichorrhyncha</i> Naudin	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	16.2	11.6	13	JASG1725
Melastomataceae	<i>Miconia domociliata</i> Michelang.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	16.6	11.9	12.7	JASG1659
Melastomataceae	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	16.9	12.4	13.8	JASG1669
Melastomataceae	<i>Miconia octona</i> (Bonpl.) Judd & Majure	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	19.2	17.1	17.6	JASG1711

Familia	Especie	Unidad	Apertura	Ornamentación	Media E.P.	Media E.E.	Media D.E.	N° colección
Melastomataceae	<i>Miconia ostrina</i> (Gleason) Michelang.	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	13.6	12.4	13.5	JASG2064
Melastomataceae	<i>Miconia rubescens</i> D. Don	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	18.3	13.9	14.8	JASG2063
Melastomataceae	<i>Miconia serrulata</i> (DC.) Naudin	Mónada	Tricolporada	Reticulada	13.3	12	12.4	JASG1686
Melastomataceae	<i>Miconia sulcicaulis</i> (Poepp. ex Naudin) Ocampo & Almeda	Mónada	Tricolporada	Reticulada	9.9	9	8.6	JASG2071
Moraceae	<i>Ficus americana</i> Aubl.	Mónada	Diporada	Escabrada	13.1	8	9.1	JASG1335
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Mónada	Tricolporada	Escabrada	18.7	11.2	18.1	JAO1141
Myrtaceae	<i>Schizocalyx bracteosus</i> Wedd.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	19.3	20.2	19.3	JASG2066
Ochnaceae	<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	Mónada	Tricolporada	Psilada	13.2	13.7	13	JASG1344
Olaceae	<i>Heisteria acuminata</i> (Bonpl.) Engl.	Mónada	Tricolpada	Escabrada	14.9	16.5	15.3	JAO935
Passifloraceae	<i>Passiflora biflora</i> Lam.	Mónada	Estefanocolpada	Reticulada	48	49.9	46.6	JASG1716
Passifloraceae	<i>Passiflora vitifolia</i> Kunth	Mónada	Estefanocolpada	Reticulada	44.9	69.3	61.1	JASG1642
Peraceae	<i>Pera colombiana</i> Cardiel	Mónada	Tricolporada	Reticulada	22.6	20.7	22.3	JAO1016
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca rivinoides</i> Kunth & C.D.Bouché	Mónada	Tricolporada	Psilada	31.8	24.5	25.4	JASG1649
Rubiaceae	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	Mónada	Inaperturada	Reticulada	54.8	74.8	75	JAO906
Rubiaceae	<i>Palicourea quadrilateralis</i> C.M. Taylor	Mónada	Inaperturada	Reticulada	64.2	78.9	75.8	JAO1072
Rubiaceae	<i>Psychotria monsalvaeae</i> C.M.Taylor	Mónada	Heterocolpada	Reticulada	16.4	27.2	23	JASG1653
Rutaceae	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Mónada	Heterocolporada	Reticulada	22.5	29.8	30.2	JASG1744
Salicaceae	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	27.1	36.9	28.4	JASG1632
Salicaceae	<i>Hasseltia floribunda</i> Kunth	Mónada	Tricolpada	Psilada	12	10.6	11.9	JASG1629
Sapindaceae	<i>Cupania cinerea</i> Poepp.	Mónada	Tricolporada	Escabrada	33.9	17.6	27.4	JAO1156
Sapotaceae	<i>Pouteria multiflora</i> (A.DC.) Eyma	Mónada	Estefanocolporada	Reticulada	44.3	48.2	42.1	JASG1156
Solanaceae	<i>Witheringia solanacea</i> L'Hér.	Mónada	Tricolporada	Psilada	19.8	24	20.7	JASG1654
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	Mónada	Diporada	Escabrada	8.1	11.7	10.9	JAO835
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i> L.	Mónada	Diporada	Equinada	7.6	11	10.4	JAO834
Violaceae	<i>Gloeospermum sphaerocarpum</i> Triana & Planch.	Mónada	Tricolporada	Escabrada	22.1	21.2	21.3	JASG1661
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> Rich.	Mónada	Tricolporada	Reticulada	27.7	45.6	31.9	JASG1615
Vitaceae	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E.Jarvis	Mónada	Tricolporada	Reticulada	32.4	51.6	33.3	JASG2075

CAPITULO III

RECONSTRUCCIÓN AMBIENTAL DE LA DINAMICA DE LA VEGETACION EN EL VOLCAN DE SAN DIEGO (COLOMBIA) DURANTE LOS ÚLTIMOS 160 AÑOS BASADOS EN ANÁLISIS PALINOLÓGICO

Resumen

A partir de reconstrucciones de la vegetación se pueden registrar disturbios tanto naturales como antrópicos. En Colombia se han realizado reconstrucciones de las dinámicas de la vegetación a partir de registros sedimentarios que en su mayoría provienen de pantanos lagunas y turberas ubicados por encima de 2000 metros de altitud. Este estudio busca reconstruir los cambios ambientales de los últimos 160 años en la Laguna de San Diego (LSD), ubicada a 750 m de altitud, usando análisis palinológico, y conocer su relación con los eventos ENOS (El Niño oscilación del Pacífico Sur). Este estudio usa los sedimentos superficiales entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SDL-Fc2 que cubren los últimos 160 años (2020–1852), los cuales fueron contenidos en 9 muestras palinológicas analizadas. Los sedimentos fueron tratados con técnicas estándar de preparación palinológica. Los conteos de palinomórfos se agruparon en dos zonas, Zona 1: 0–2.5 cm de profundidad (7 muestras) y Zona 2: 4.5–5.2 cm de profundidad (2 muestras). En general, los taxones más representativos fueron *Cecropia* (24.1%), Poaceae (6.6%), *Tripogandra* (2.4%), y *Piper* (1.5%). En la Zona 1 y 2 dominan las heliófitas durables: como *Piper* (3.2%) y *Vismia* (2.7%) para zona 1 y *Cecropia* (61.8%), *Alchornea* (1.7%), para zona 2. Entre 2020–1852 se lograron capturar cambios en la vegetación y en el clima, donde Poaceae, *Tripogandra* y *Salpichlaena* dominaron durante La Niña y *Cecropia*, *Vismia* y *Piper* dominaron durante El Niño. El registro palinológico entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SDL-Fc2 de la LSD permitió comprender aspectos composicionales y ambientales de la dinámica de la vegetación asociada con el clima y la ocupación humana en límite superior del bosque muy húmedo tropical.

Palabras clave: Disturbio, ENOS, Polen, heliófitas, esciófitas

Introducción

Los cambios en la vegetación pueden ser ocasionados por diferentes tipos de disturbios, eventos discretos que interrumpen la productividad de los ecosistemas, comunidades o poblaciones (White & Pickett 1985). La respuesta de la vegetación a disturbios como los incendios, infestación de insectos y las sequías ha sido ampliamente documentada (Chapin III *et al.* 2011), al igual que sus legados ecológicos en la riqueza y

abundancia de las especies (Turner 2010). Los disturbios más relevantes en los Andes Ecuatoriales son tanto de origen ambiental (actividad volcánica, lluvias torrenciales e inundaciones), como de origen antrópico (deforestación y conflicto armado) (Velasquez-Franco 2020), así como mixtos (ambientales y antrópicos) como la defaunación y los incendios forestales (Prävālie 2018). Los disturbios ecológicos pueden inducir cambios de la riqueza florística o favorecer la diversidad de especies (Pereira *et al.* 2018). En este sentido, la fase cálida y la fase fría de los eventos ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) provocan cambios en la precipitación media mensual y anual histórica (Jaramillo 2005) las cuales pueden generar disturbios en el ambiente a partir de temporadas de exceso o déficit hídrico para las plantas y cambios en la actividad fotosintética de las mismas (Pereira *et al.* 2018; Álvarez & Poveda 2022).

Una de las técnicas tradicionalmente empleadas para el estudio de los cambios de la vegetación es la palinología, pues los granos de polen y esporas presentan características morfológicas diagnósticas que permiten la identificación de taxones en diferentes niveles de clasificación, tales como familia, género o especie (Kapp *et al.* 2000). Adicionalmente los palinomorfos son resistentes a los procesos de degradación de materia orgánica durante la diagénesis y a través de largos periodo de tiempo (>cientos de millones de años), lo cual permite establecer una asociación confiable entre el registro palinológico y la composición y abundancia de la flora del pasado. En este sentido, la palinología es una herramienta fundamental para generar bioestratigrafía y reconstrucciones de cambios ambientales históricos (Faegri & Iversen 1950; Furundanera-García 2004; Franco-Arias 2018; Martínez *et al.* 2021), ya que el polen se deposita y preserva de forma natural en ambientes lacustres. Por otro lado, al lograr la determinación y cuantificación de los palinomorfos se puede interpretar la señal polínica (García-M *et al.* 2011) y de esta manera, a partir del análisis de un registro polínico, es posible observar la relación entre factores ambientales como el clima, los disturbios ecosistémicos y la consecuente respuesta de la vegetación. Así es como el registro polínico proporciona datos sobre la dinámica de la vegetación a diversas escalas espacio temporales (Birks & Gordon 1985; Webb *et al.* 2003; García-M *et al.* 2011).

El análisis palinológico del pasado reciente en Colombia se ha realizado a partir de registros sedimentarios de lagos, turberas y pantanos (e.g. Van Geel & van der Hammen 1973; Van der Hammen 1974; Van 't Veer & Hooghiemstra 2000; Marchan *et al.* 2002; Van der Hammen & Hooghiemstra 2003; González-Carranza *et al.* 2012; Castañeda 2013; Giraldo-Giraldo *et al.* 2017; Hooghiemstra & Flantua 2019) que en su mayoría (aproximadamente 26 de 40) están ubicados por encima de los 2000 metros de altitud. Por lo que se hace necesario llenar el vacío de información en este sentido y evaluar los registros sedimentarios provenientes de lagunas a menor altitud que potencialmente hayan capturado la respuesta de comunidades vegetales de altitudes medias y bajas.

En este sentido, la Laguna de San Diego (Maar de San Diego), forma parte del recientemente descrito Campo Monogenético Volcánico de Samaná (Borrero *et al.* 2017; Murcia *et al.* 2018). Por otro lado, en el Norte de Suramérica no hay maares con registros paleoclimáticos reportados aún (Wu *et al.* 2019) y en Colombia solo existen dos maares, Tabor en el Tolima y San Diego en Caldas (Murcia *et al.* 2018), lo cual lo hace único en su tipo en los Andes del Norte y por lo tanto de gran interés para comprobar si, como en los sedimentos de otros Maares alrededor del mundo, éste puede proporcionar un registro adecuado para el estudio del clima histórico (Wu *et al.* 2019; Velásquez-Franco 2020). Es previsible que sus sedimentos alberguen información de la historia climática de la región, la cual puede ser conocida con la elección adecuada de indicadores biológicos y geoquímicos para capturar la señal climática y la respuesta de la vegetación a potenciales cambios en el régimen de disturbios de origen climático.

De esta manera, la información detallada sobre bioindicadores como granos de polen y esporas permite precisar los impactos sobre el ecosistema actual y ayuda a entender los cambios ambientales en el pasado (Pereira *et al.* 2018; Birks 2019). Al respecto, existe información de estudios ecológicos que demuestran que algunas plantas se comportan como indicadoras de los disturbios, por ejemplo, *Copernicia alba* (Arecaceae) crece en zonas de suelo anegado, dónde las lluvias son abundantes (Mereles 2000; Pereira *et al.* 2018), *Trema* (Cannabaceae) crece en suelos áridos característicos de bosque seco, o Poaceae es característica de zonas en estados tempranos de sucesión, praderas y sabanas (Marchant *et al.* 2002). En este sentido, la zona donde está ubicada la Laguna de San Diego presenta alta pluviosidad (+/- 6900 mm de lluvia anual) y temporadas de lluvias torrenciales (CRU, 4.5) siendo la precipitación una potencial causante de disturbios y un factor importante en la determinación de los tipos de vegetación (Jaramillo & Cárdenas 2013), por lo que este estudio pretende conocer si el registro palinológico de los últimos 160 años del Maar de San Diego permite evidenciar cambios ambientales y eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el volcán de San Diego (5.65 N, - 74.96 O) también conocido como la Laguna de San Diego (Figura 1), ubicada en el DMI Laguna de San Diego (Samaná, Caldas, Colombia) en la Zona Volcánica de los Andes del Norte, Provincia Volcano Tectónica San Diego-Cerro Machín (Murcia *et al.* 2018), en la vertiente oriental de la Cordillera Central, cuencas de los ríos Samaná Sur y La Miel entre 720 a 1100 m de altitud. El volcán monogenético de San Diego está conformado por La Laguna (maar) y El Cerro (domo volcánico). El maar de San Diego tiene una profundidad máxima de 56 m y fue originado por

actividad freatomagmática hace aproximadamente 20000 años y El Cerro de San Diego tiene una altura máxima de 1100 m. y fue originado por la actividad magmática hacia el final del periodo explosivo hace 18000 años (Borrero *et al.* 2017). La Laguna de San Diego fue declarada DMI en el año 2011 y tiene una extensión aproximada de 757.28 ha (CORPOCALDAS 2011; RUNAP 2022) y ha sido objeto de exploraciones mineroenergéticas que han resultado entre otros, en el conocimiento detallado del relieve del fondo de la laguna, batimetría realizada por el Servicio geológico Colombiano (Beltrán *et al.* 2017; Monsalve *et al.* 2023).

Según los datos climáticos de la estación más cercana (Norcasia Radio del IDEAM) y las modelaciones del CRU 4.5, el área de la LSD tiene un clima tetraestacional con un comportamiento de la lluvia bimodal originado por la migración latitudinal intra anual de la Zona de Convergencia Intertropical. La primera temporada de lluvias sucede en los meses de abril y mayo, mientras que la segunda temporada de lluvia entre octubre y noviembre, con un promedio multianual de 6900 mm de lluvia y se presentan dos periodos de menor lluvia en enero–febrero y julio–agosto con una temperatura promedio de 26,4° C (CRU 4.5; IDEAM)

Colección palinológica de referencia

Con el fin de obtener una colección polínica de referencia y conocer cuáles especies de flora son las más importantes actuales, se realizó un análisis de diversidad, estructura y composición del Distrito de Manejo Integrado (DMI) Laguna de San Diego, (Capítulo 1). Las muestras palinológicas fueron procesadas en el Laboratorio de Palinología del Instituto de Estratigrafía (IIES) y analizadas morfológicamente en el laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas (Capítulo 2). Se tomaron fotografías de algunos taxones con microscopía óptica y electrónica de barrido en el IIES.

Obtención de muestras de sedimentos y datación

Como parte de la disertación doctoral “Escuchando las Lagunas: Una perspectiva de disturbios de largo plazo aplicado al manejo ambiental en Los Andes Ecuatoriales” (Velasquez-Franco 2020), en enero de 2020 se extrajo un núcleo de sedimento del fondo de la Laguna de San Diego, uno usando el Freez corer a 52 metros de profundidad. El núcleo se denomina SDL-Fc2 y tiene una longitud de 48 cm. Los sedimentos fueron transportados al laboratorio de paleoecología del Museo de Historia Natural de Utah (Estados Unidos), donde fueron submuestreados a diversas resoluciones entre los 0.1 – 5.2 cm de profundidad. El control del tiempo del núcleo SDL-Fc2 consistió en una datación de radiocarbono (a 22.65 cm) realizada en The University of Georgia, Center for Applied Isotope Studies, la cual fue incorporada en un modelo de edad usando el paquete estadístico Bacon en el ambiente R studio (Blaauw *et al.* 2023).

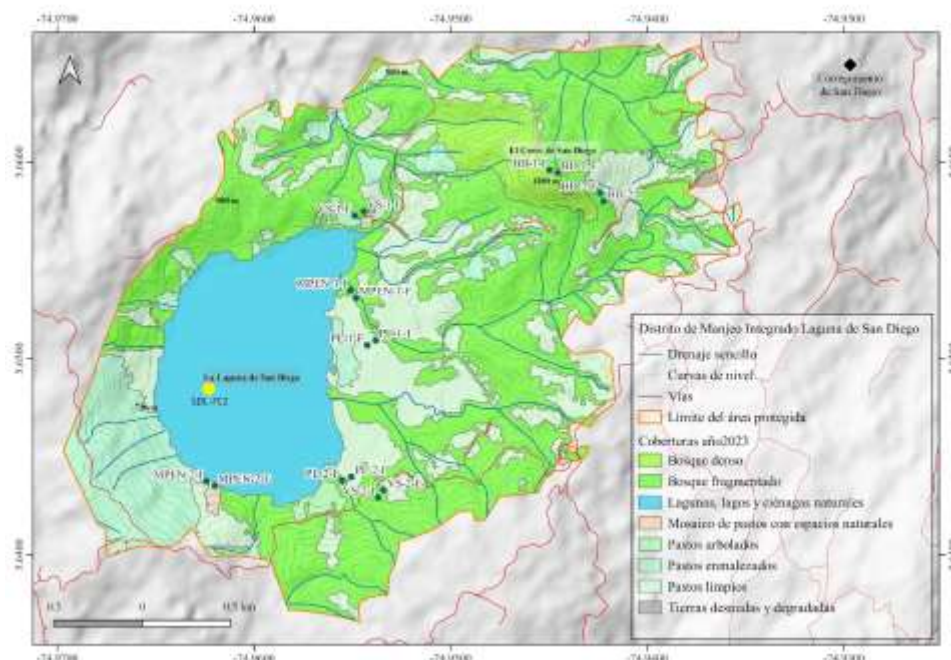


Figura 1 – Distrito de Manejo Integrado Laguna de San Diego. Los puntos magenta representan la localización de las parcelas de vegetación y el punto amarillo el sitio de nucleación del SDL-Fc2.

Litología

Para conocer la clase textural del sedimento entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SDL-Fc2, se siguió a Jaramillo (2002) y para categorizar los colores de los sedimentos se siguió el documento Munsell Rock Color Book (2014).

Obtención de datos de precipitación o escorrentía

Fueron usadas dos fuentes de datos: instrumental (precipitación) y no instrumental (escorrentía). El registro instrumental proviene de la serie multianual de lluvia de las estaciones climáticas principales de la red de agroclimatología de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y de la Red Climatológica de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), así como la base de datos de libre acceso Climatic Research Unit gridded Time Series 4.5 (Harris *et al.* 2020). Los datos de precipitación no instrumental fueron inferidos a partir del registro obtenido de ICP-MS para elementos traza (Gregory *et al.* 2019). Registros de elementos estables o conservativos han sido usados con éxito en estudios del clima del pasado, en específico el Titanio es un elemento altamente asociado al comportamiento de la escorrentía y precipitación en registros terrestres y oceánicos del Neotrópico (Haug 2001).

Procesamiento y conteo de palinomorfos

Los palinomorfos provenientes de los sedimentos se procesaron con métodos estándar para carbonatos, silicatos y minerales (Faegri & Iversen 1950) y se acetolizaron con el método de Erdtman (1986) y para su determinación se consultó la colección de referencia (Capítulo 2), así como bibliografía especializada (Roubik & Moreno 1991; Jiménez 1996; Velásquez & Rangel-Ch 1995; Herrera *et al.* 1996; Jiménez *et al.* 1999; Velásquez 1999; Rangel *et al.* 2001; García-M *et al.* 2011; Fontes *et al.* 2019). En cada placa se contaron 300 lycopodios o 300 palinomorfos (Tyson 1995, Tahoun *et al.* 2017, Mansour *et al.* 2020). Cuando no se logró esta abundancia, se leyó el 100% de la placa. Las muestras palinológicas (9 muestras en total) provienen de los primeros 5.2 cm del núcleo SLD-Fc2. Las fotografías se tomaron bajo microscopio óptico a 100x de aumento en el Laboratorio de botánica de la Universidad de Caldas. Y para los taxones más abundantes se tomaron fotografías con el microscopio electrónico de barrido-MEB FEI QUANTA 250 del IIES.

Análisis de datos

A partir del conteo de los palinomorfos identificados, se elaboró una matriz de datos con valores de abundancia absoluta y luego fueron clasificados por gremio ecológico, en Heliófitas efímeras, Heliófitas durables, Esciófitas parciales y Esciófitas totales (Finegan 1992, 1996; Sánchez *et al.* 2007), en donde se registraron las características ecológicas de las plantas parentales, establecidas por antecedentes bibliográficos (Gentry 1993; Vargas 2002; Bernal *et al.* 2019) con el fin de reconocer indicadores de disturbios como incendios, potrerización y fragmentación, y de sucesión vegetal en relación con su colonización y establecimiento en la cobertura vegetal (Finegan 1996). Los datos del conteo de palinomorfos se procesaron usando el programa Tilia 2.6.1. (Grimm 2019) y se presentan en un diagrama de porcentaje, concentraciones y zonación CONISS. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) en el programa Past 3.24 (Hammer *et al.* 2001), con el fin de conocer la correlación entre las variables climáticas (ENOS), datos instrumentales (precipitación - mm) y no instrumental (escorrentía - porcentaje de Titanio) entre 0–1.1 cm de profundidad.

Para las profundidades 1.1–2.4 cm y 2.5–4.5 cm no se presentan datos, ya que, a partir de los 1.1 cm de profundidad, para efectos de este capítulo, se realizó la selección de los rangos de profundidad a partir de un muestreo intencionado (Casal & Mateu 2003), con el fin de evidenciar disturbios asociados a eventos históricos, los cuales podrían verse reflejados en el registro palinológico. Sin embargo, a lo largo del documento se presentará la información mencionando el rango 0–5.2 cm de profundidad.

Resultados y discusión

Litología

El núcleo SDL-Fc2, entre 0–5.2 cm de profundidad está compuesto principalmente por sedimento orgánico, con clase textural arcillo limoso, donde se logran apreciar diferentes colores (Tabla 1).

Tabla 1 – Descripción litológica del núcleo SDL-Fc2 (0–5.2 cm).

Código placa	Profundidad (cm)	Color Munsell (2014)
SDL-Fc2-SA-001	0–0.5	(10YR 2/2)
SDL-Fc2-SA-002	0.5–0.8	(10YR 3/2)
SDL-Fc2-SA-003	0.8–1.1	(10YR 3/2)
SDL-Fc2-SA-010	2.4–2.5	(10YR 3/1)
SDL-Fc2-SA-021	4.5–5	(10YR 2/1)
SDL-Fc2-SA-022	5–5.2	(10YR 2/1)

Datación por radiocarbono

En la Tabla 2 se presentan los datos de la escala de tiempo producto del modelo de edad basado en la datación por radiocarbono SDL-102_Fc2, obteniéndose edades entre el año 1852 para la muestra de mayor profundidad (5–5.2 cm) y el año 2020 para la muestra de la superficie (0–0.5 cm), en la Figura 2 se presenta el modelo de edad, en donde se indica que el registro es continuo, donde para los primeros 5.2 cm se presenta una tasa media de acumulación de 1 cm cada 40 años. En la tabla 3 se presentan el número de eventos ENOS en la escala de tiempo analizada en el presente estudio (Quinn 1993; CPC 2023; Webb 2023), así como datos de precipitación (Harris *et al.* 2020).

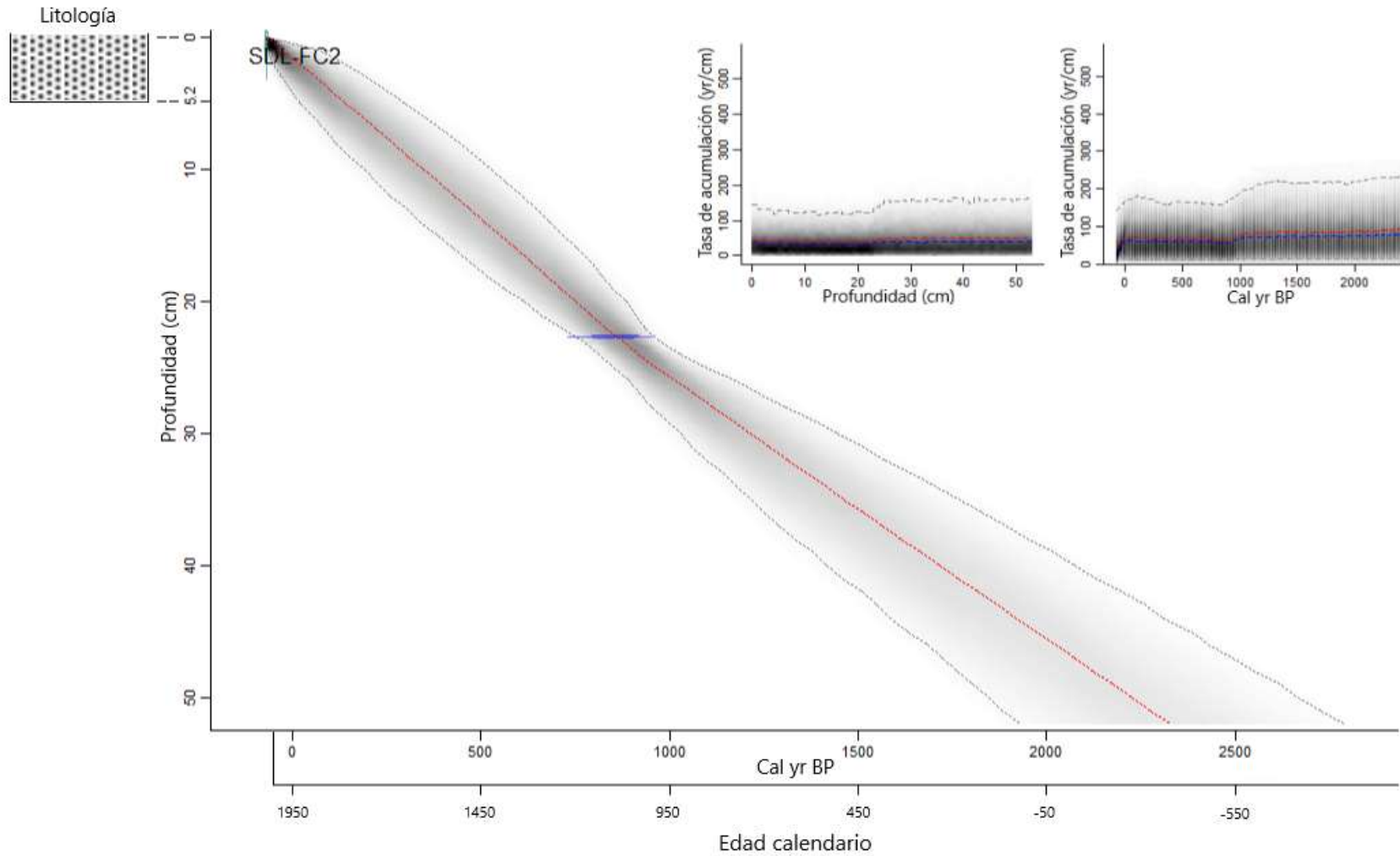


Figura 2 – Modelo Bayesiano de edad para el núcleo SDL102_Fc2 de la Laguna de San Diego. Las distribuciones por edades calibradas (Cal yr BP) se muestran en azul. El color gris oscuro indica las edades más probables. Las líneas punteadas externas muestran intervalos de confianza del 95 %; la línea roja central representa el mejor modelo único basado en la edad media ponderada para cada profundidad. Se presenta la representación litológica para los primeros centímetros (0–5.2 cm) y las tasas de acumulación (yr/cm).

Tabla 2 – Datos de edad de cada una de las muestras evaluadas entre 0–5.2 cm del núcleo SDL-Fc2 de la Laguna de San Diego. Cal yr BP: Años radiocarbono calibrados antes del presente

Código placa	Profundidad (cm)	Años Cal yr BP	Periodo de tiempo en año calendario
SDL-Fc2-SA-001	0–0.5	-64.4±7.9	2020–2009
SDL-Fc2-SA-002	0.5–0.8	-55.5±4.6	2009–2002
SDL-Fc2-SA-003	0.8–1.1	-48.3±5.4	2002–1994
SDL-Fc2-SA-010	2.4–2.5	-1.12±2.4	1953–1949
SDL-Fc2-SA-021	4.5–5	81.8±12.7	1877–1859
SDL-Fc2-SA-022	5–5.2	94.5±5.2	1859–1852

Tabla 3 – Eventos ENOS registrados entre 2020–1852 (Quinn 1993; CPC 2023; Webb 2023) en los rangos de tiempo asociados a las profundidades estudiadas.

Profundidad (cm)	Escala de tiempo	Año/ENOS								N° de eventos ENOS
		El Niño (rojo) - La Niña (azul)								
0–0.5	2020–2009	2020	2019-2018	2018-2017	2016	2016-2014	2012-2011	2011-2010	2010	8
0.5–0.8	2009–2002		2009	2009-2008	2008-2007	2007-2006	2006-2005	2005-2004	2003	7
0.8–1.1	2002–1994				2022	2001-1998	1998-1997	1996-1995	1995-1994	5
2.4–2.5	1953–1949					1954-1953	1952-1951	1951	1949	4
4.5–5	1877–1859	1877-1876	1874	1872	1870	1870	1869-1868	1860-1865	1865-1864	8
5–5.2	1859–1852							1857-1856	1856-1855	2

Palinología

En total se registraron 195 taxones (entre especies y morfoespecies) y 1333 palinomorfos (Figura 3 y Figura 4). En donde los más representativos fueron *Cecropia* (24.1%), Poaceae (6.6%), *Tripogandra* (2.4%), *Piper* (1.5%), *Vismia* (1.4%), *Alchornea* (1.1%), Asteraceae (0.9%), *Cyperus* (0.9%), *Ficus* (0.9%), *Inga* (0.8%) y *Limnocharis* con 0.7% (Figura 5). Los análisis de CONISS sugieren que el diagrama de polen se puede

dividir en dos zonas, la primera entre 0–2.5 cm de profundidad y la segunda entre 4.5–5.2 cm de profundidad (Figura 3).

Se evidencia que no hay una relación uno a uno entre los taxones del muestreo actual de vegetación y los taxones registrados en los sedimentos, lo cual puede ser explicado debido a que la metodología usada para el muestreo actual de vegetación (capítulo 1) solo tiene en cuenta la medición de árboles con un DAP ≥ 2.5 cm y entre los taxones más dominantes en los sedimentos se encuentra hierbas terrestres, epífitas y plantas acuáticas. Sin embargo, aunque se realizara un muestreo específico para hierbas no se esperaría la correspondencia uno a uno, ya que la resolución taxonómica en los sedimentos es inferior a lo que se logra en los muestreos botánicos actuales.

Por otro lado, en los sedimentos hay ausencia de especies esciófitas como *Aniba perutilis*, *Hedyosmum* cf. *racemosum*, *Virola sebifera* y *Welfia regia*, ya que la señal dominante de vegetación en los sedimentos es la de coberturas vegetales en estados de sucesión temprano e intermedio (Guariguata & Ostertag 2002).

A continuación, se describen las características por zonas:

Zona 1: (0–2.5 cm, 7 muestras). Esta zona está representada principalmente por el gremio ecológico de heliófitas durables, dominada por *Piper* (3.2%), *Vismia* (2.7%), *Inga* (2%), Melastomataceae (1.8%), *Ficus* (1.3%), *Alchornea* (0.7%), *Cespedesia* (0.7%), *Selaginella* (0.7%), *Danaea* (0.6%), *Cecropia* (0.4%), *Jacaranda* (0.1%), *Miconia* (0.1%) y *Spathodea* (0.1%), gremio que presenta un 35% de representación constante, seguido por las heliófitas efímeras, con taxones como Poaceae (9.7%), *Tripogandra* (3.8%), *Acalypha* (0.7%), Asteraceae (2.6%), *Cyperus* (2.4%), *Limnocharis* (0.9%), gremio que fluctúa en representación entre 31% y 38%, con picos del 44% entre 0.8–1.1 cm, en los años 2002–1994 (Tabla 1) y las esciófitas parciales son las menos representadas, con taxones como Arecaceae (2.4%), este gremio registra una disminución entre 0.8–1.1 cm, en los años 2002–1994 (Tabla 1).

Zona 2 (4.5–5.2 cm, 2 muestras). Esta zona está representada principalmente por el gremio ecológico de heliófitas durables, dominada por *Cecropia* (61.8%), *Piper* (2.1%), *Alchornea* (1.7%), *Salpichlaena* (1%), Melastomataceae (0.6%) *Selaginella* (0.4%) y *Ficus* (0.2%), gremio que presenta un 70% de representación constante, seguido por las heliófitas efímeras, con taxones como *Acalypha* (6.2%), *Cyperus* (3.9%) Poaceae (2.7%), Asteraceae (1.2%), *Limnocharis* (0.4%), gremio que fluctúa entre 10% y 20%, con una disminución entre 4.5–5 cm, en los años 1877–1859 (Tabla 1) y las esciófitas parciales son las menos representadas, con taxones como Arecaceae (0.2%).

Los datos palinológicos y litoestratigráficos indican dos periodos con cambios significativos en la vegetación (0.2–44%), uno entre 2020–1949 (0–2.5 cm de profundidad) y otro entre 1877–1852 (4.5–5.2).

En el periodo 2020–1949, el predominio de esta vegetación característica de áreas con sucesiones iniciales (heliófitas efímeras) a intermedias (heliófitas durables) y la poca representación de especies características de bosques maduros (esciófitas), puede estar relacionado a diferentes tipos de disturbios como incendios, tempestades y cambios del uso del suelo con fines agropecuarios (Velasquez-Franco 2020), asentamientos humanos debido a la colonización y múltiples fundaciones del territorio con fines administrativos (Loaiza & Murcia 1984); pero además por la fragmentación del bosque para uso de leña, comercio de madera y construcción de campamentos militares o viviendas, asociado al conflicto armado que dominó la región en este periodo (Velasquez-Franco 2020; Benavides-Ossa *et al.* 2022).

En el periodo 1877–1852, también predominaron especies características de áreas en estados de sucesión inicial (heliófitas efímeras) a intermedio (heliófitas durables) y fueron menos representadas las especies que requieren de sombra para su desarrollo (esciófitas), características de bosques maduros o coberturas más conservadas. El predominio de especies características de áreas con disturbios que provocan claros de bosque y espacios con abundante luz en la matriz del paisaje puede estar relacionado con que desde 1835 se realiza el redescubrimiento de las minas de oro en la región (Rivera & Rivera 1995), lo que desencadenó constantes actividades humanas relacionadas con el tránsito por quebradas y montañas, que provocaron la reiterada fragmentación del bosque; y de la mano con la minería, se realizaba la gvaquería, actividad que consistía en excavaciones en el suelo en busca de artefactos de oro (aretes, narigueras, espigas) y bóvedas resumidas de grupos indígenas como los Pantágoras, Samanaes, Amaníes y Marquetones (Gómez 1970; IGAC 1995) y constante descapote y remoción de la cobertura vegetal; estas actividades de gvaquería fueron frecuentes y alcanzaron su auge en la región en 1885 (Valencia 2018). Otro de los eventos que pudo estar relacionado con la modificación de la cobertura vegetal de esta zona en este periodo (1877–1852) fue la primera colonización del corregimiento de San Diego, asentamiento adyacente a la Laguna de San Diego (Rivera & Rivera 1995).

Entre los taxones reportados en el registro sedimentario de la Laguna de San Diego que pueden ser indicadores de disturbios como la potrerización, se destaca a Asteraceae, *Cyperus*, Poaceae y *Tripogandra*, los cuales predominan en áreas con abundante luz, donde no hay un dosel formado (Capítulo 1 del presente estudio; Giraldo-Cañas 2013, Hooghiemstra & Flantua, 2019), mientras que taxones como *Alchornea*, *Cecropia*, *Piper* y *Vismia* pueden ser indicadores de disturbios como la deforestación y la fragmentación, y se desarrollan en claros y bordes de bosque, lo cual se relaciona con lo mencionado por Zalamea *et al.* (2012) quienes reportan al polen de *Cecropia* como indicador de la apertura del bosque, Hooghiemstra & Flantua (2019) lo reportan como indicador de bosques en estado de sucesión inicial, y van der Sande *et al.* (2023) lo reportan como indicador de disturbios generales (deslizamientos, huracanes) y de cambios del uso del suelo ocasionados por el hombre.

Para este periodo (2020–1852) se lograron apreciar cambios en la vegetación y en el clima, donde se reportaron 34 eventos ENOS distribuidos en 17 fases cálidas y 17 fases frías (Tabla 3, Anexo 1), con 168 trimestres en fase cálida (El Niño) y 135 en fase fría (La Niña), una precipitación media de 2437.5–2628.3 mm entre 2020–1949 y porcentajes de Titanio de 0.71–0.72 entre 2020–1994 (Anexo 1). Donde, tanto porcentaje de Titanio - número de eventos ENOS y número de fases frías (La Niña) - precipitación (mm) están correlacionados positivamente (Figura 6). Mientras que número de fases cálidas (El Niño) - precipitación (mm) se correlacionan negativamente. Lo anterior se relaciona con lo mencionado por Haug *et al.* (2001), quienes indican que en la cuenca de Cariaco (Venezuela) valores altos en la concentración de Titanio están asociados a mayor escorrentía y a periodos de mayor precipitación. A pesar de la poca cantidad de datos de concentración de Titanio, se evidencia que Laguna de San Diego presenta correlaciones con registros climáticos de regiones de otras latitudes, permitiendo que se pueda realizar inferencia de variaciones de eventos climáticos en otras regiones a partir de la información contenida en la Laguna de San Diego.

En este período (2020–1852) Poaceae, *Tripogandra* y *Salpichlaena* (Anexo 1) presentaron mayor dominancia en las temporadas donde la fase fría registró mayor cantidad de trimestres (2020–2009, 2009–2002, 2022–1994), lo cual está relacionado a periodos con precipitación intensa (Schneider *et al.* 2018) y disminuyeron su representatividad en los periodos donde la fase cálida fue mayor (1953–1949, 1877–1859), por otro lado, taxones como *Cecropia*, *Vismia* y *Piper* (Anexo 1) presentaron mayor dominancia en los periodos donde la fase cálida fue mayor, catalogada como muy fuerte (Quinn 1993), relacionados con periodos de baja precipitación (Yan *et al.* 2011) y fueron menos representativos o no se registraron en los periodos donde la fase fría fue mayor. Lo cual se relaciona con lo reportado por Correa-Metrio *et al.* (2022), quienes indican que taxones como *Cecropia* y *Piper* presentan porcentajes relativamente altos en periodos con condiciones más cálidas entre 780–1300 CE en sedimentos de la Laguna de Tota.

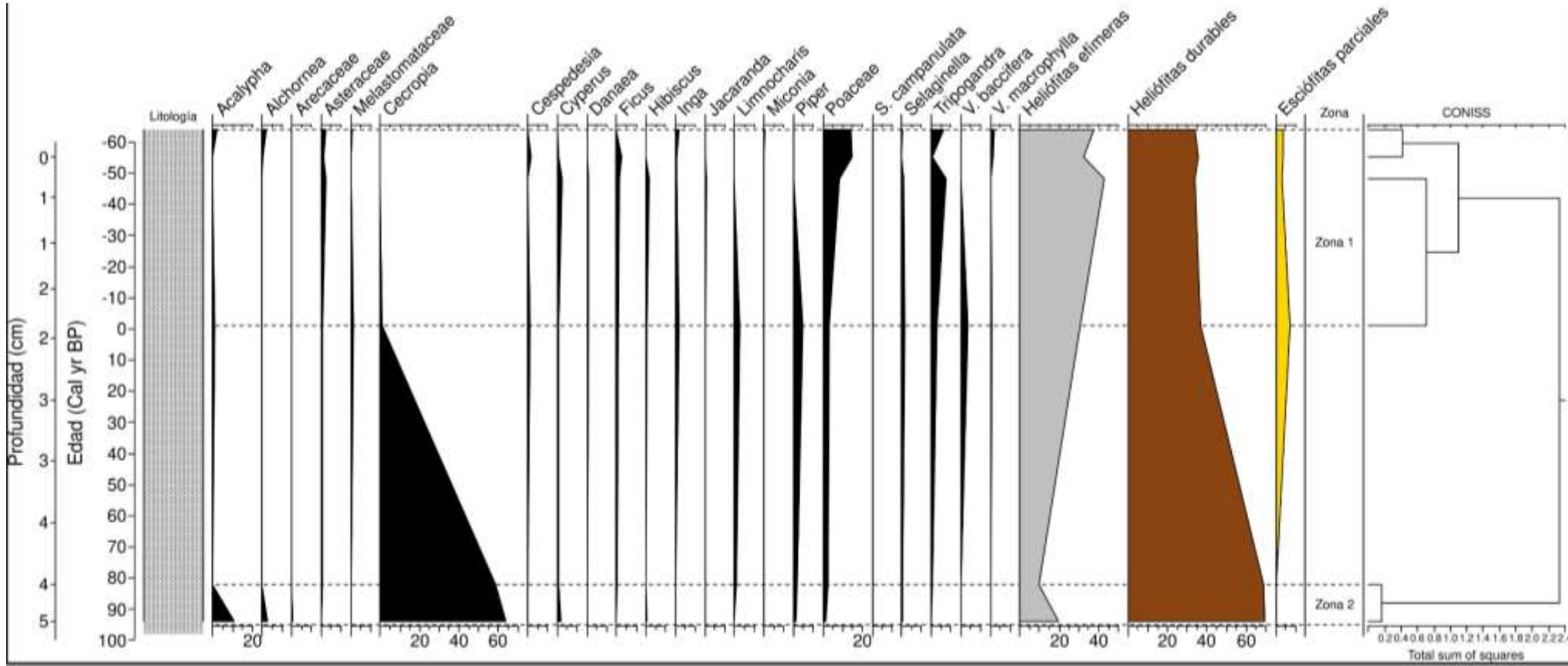


Figura 3 – Diagrama de polen y esporas del núcleo SLD-Fc2 de la Laguna de San Diego mostrando porcentajes individuales de algunos taxones. De izquierda a derecha: profundidad (cm); edad (Cal yr BP); litología; porcentajes relativos de los taxones de polen y esporas más importantes; sumatoria por gremio ecológicos: heliofitas efimeras, heliofitas durables y esciofitas parciales; y las zonas por grupos de palinomorfos (CONISS).

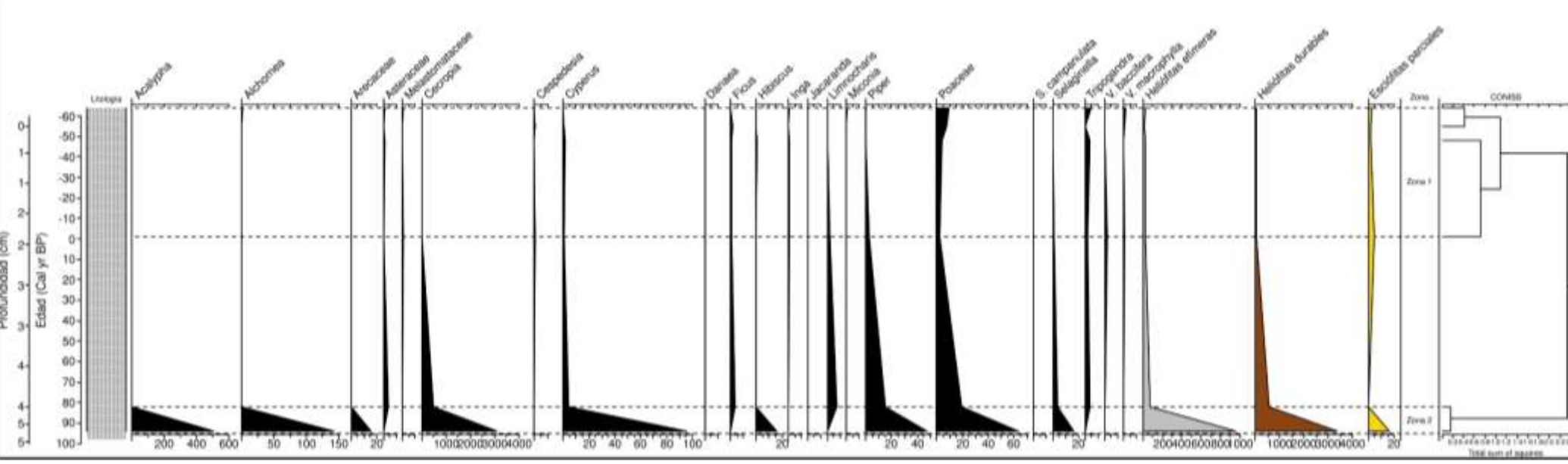


Figura 4 – Diagrama de polen y esporas del núcleo SLD-Fc2 de la Laguna de San Diego mostrando concentraciones de estos taxones. De izquierda a derecha: profundidad (cm); edad (Cal yr BP); litología; concentraciones de los taxones de polen y esporas más importantes; sumatoria por gremio ecológicos: heliófitas efímeras, heliófitas durables y esciófitas parciales; y las zonas por grupos de palinomorfos (CONISS).

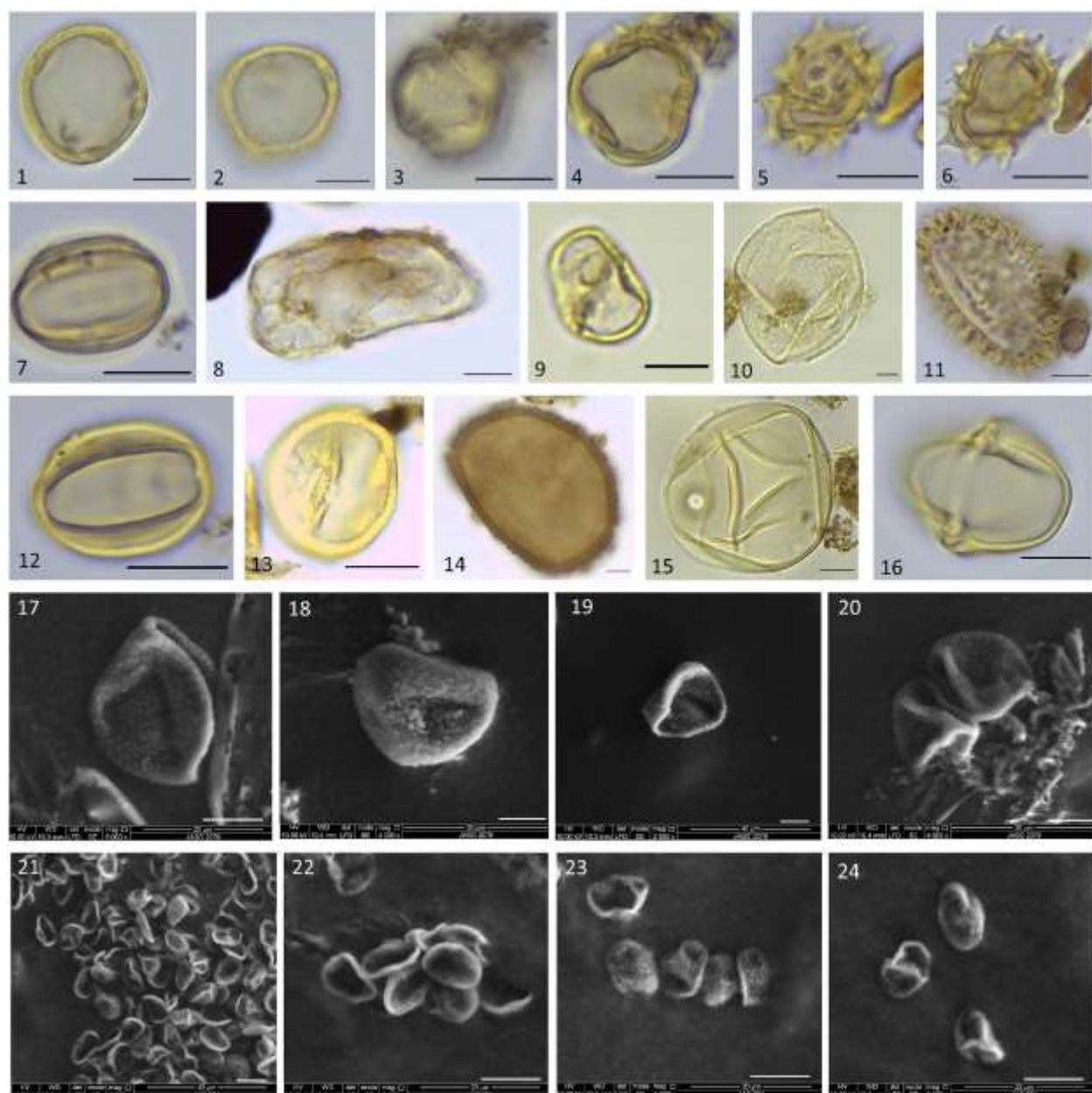


Figura 5 – Taxones de polen y esporas más representativos de la Laguna de San Diego. 1–12. Registros en sedimentos entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SLD-Fc2-2020. 1–2. *Acalypha*. 3–4. *Alchornea*. 5–6. Asteraceae. 7 y 12. Melastomataceae. 8. Arecaceae. 9. *Cecropia*. 10. *Cyperus*. 11. *Danaea*. 13. *Piper*. 14. *Salpichlaena*. 15. Poaceae (cf. *Urochloa*). 16. *Vismia*. Registros en la colección de referencia de San Diego. 17–20. *Cyperus*. 21–24. *Cecropia*. Las barras indican 10 μm .

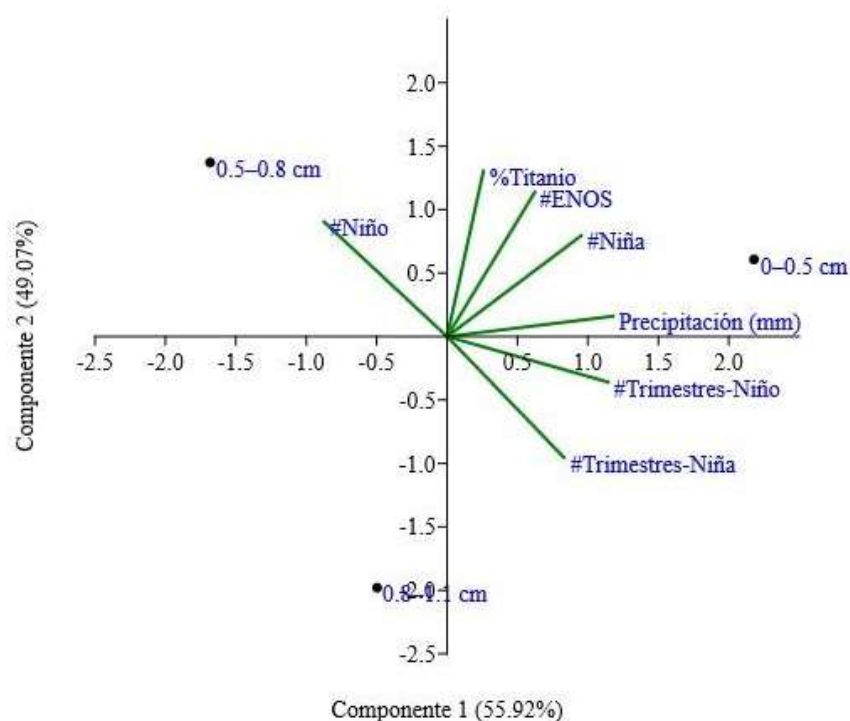


Figura 6 – Análisis de componentes principales (ACP). Agrupamiento de las variables climáticas (ENOS), datos instrumentales (precipitación - mm) y no instrumental (escorrentía – porcentaje de Titanio) entre 0–1.1 cm de profundidad (2020–1994).

Estas respuestas de la vegetación a los cambios ambientales se definen principalmente por la duración del ciclo de vida de los diferentes taxones, donde la variabilidad ambiental de la región ejerce presión sobre la vegetación condicionando periodos reproductivos en las plantas, lo cual repercute en su dominancia o baja representatividad en el registro sedimentario (Bush 2002; Correa-Metrio *et al.* 2022).

Los disturbios como deforestación, fragmentación, conflicto armado (Velasquez-Franco 2020; Práválie 2018) relacionados con la actividad y el comportamiento del hombre son riesgos latentes que amenazan la biodiversidad de la Laguna de San Diego, ya que en la mayoría de los casos amplifican los disturbios provocados por eventos climáticos (Correa-Metrio *et al.* 2022) y esto es preocupante ya que ésta área protegida se ubica en los Andes centrales, una de las regiones con mayor biodiversidad del planeta (Myers *et al.* 2000) y la más poblada de Colombia donde la laguna y las diferentes coberturas vegetales proveen servicios ambientales que podrían verse comprometidos si no se modifica su uso del suelo.

A partir del registro sedimentario de la Laguna de San Diego se pudo registrar que taxones como *Acalypha*, *Cecropia*, *Piper* y *Vismia* son sensibles a variaciones climáticas provocadas por los eventos ENOS durante los últimos 160 años en la Laguna de San Diego, particularmente a El Niño y taxones como Asteraceae, Poaceae, *Salpichlaena* y *Tripogandra* son sensibles particularmente a La Niña, así mismo, Asteraceae, Poaceae y *Tripogandra* reflejan cambios en la vegetación como respuesta a disturbios como la potrerización y *Alchornea*, *Cecropia*, *Piper* y *Vismia* son indicadores de deforestación y fragmentación, relacionados a apertura del bosque y estados de sucesión inicial. En este sentido, el registro palinológico entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SDL-Fc2 de la Laguna de San Diego permitió comprender aspectos composicionales y ambientales de la dinámica de la vegetación asociada con el clima y la ocupación humana en la región, lo que es de gran importancia para la toma de decisiones en el futuro en función del cambio climático y sus implicaciones para la biodiversidad regional y para la sociedad (Bush 2011; Correa-Metrio *et al.* 2022; van der Sande *et al.* 2020; Sales & Pires 2023).

Referencias

- Álvarez D & Poveda G (2022) Spatio temporal Dynamics of NDVI, Soil Moisture and ENSO in Tropical South America. *Remote Sens* 14(11): 2521.
- Beltrán M, Matiz C, Torres R, Ordoñez M (2017) Batimetría Laguna de San Diego. XVI Colombian Geological Congress, August 28 – September 01. Santa Marta.
- Benavides-Ossa Y, Ramírez-Sanabria J, Castaño-Rubiano N, Feuillet-Hurtado C, Castaño-Villa GJ, Aguirre-Acosta N (2022) Anti-personnel mines affect tree diversity in the Selva de Florencia National Natural Park, Colombia. *PARKS* 28(2): 15–22.
- Bernal R, Gradstein SR & Celis M (2019) Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Birks HJ & Gordon AD (1985) Numerical methods in quaternary pollen analysis. Academic Press. Londres. 317 p.
- Birks J (2019) Contributions of Quaternary botany to modern ecology and biogeography, *Plant Ecology & Diversity* 12(3-4): 189–385.
- Blaauw M, Christen JA, Aquino MA, Esquivel Vazquez J, Gonzalez O, Belding T, Theiler J, Gough B, Karney C (2023) Package ‘rbacon’. En: <https://cran.r-project.org/web/packages/rbacon/rbacon.pdf>

Beltrán M, Matiz C, Torres R & Ordoñez M (2017) Batimetría Laguna de San Diego. XVI Colombian Geological Congress. August 28 – September 01. Santa Marta, Colombia.

Borrero C, Murcia H, Agustín-Flores H, Arboleda M, Giraldo A (2017) Pyroclastic deposits of San Diego maar, central Colombia: an example of a silicic magma-related monogenetic eruption in a hard substrate. Geological Society, London, Special Publications 446(1): 361–374.

Bush MB (2002) Distributional change and conservation on the Andean flank: A palaeoecological perspective. *Global Ecology and Biogeography* 11: 463–467.

Bush MB, Gosling WD, Colinvaux PA (2011) Climate and vegetation change in the lowlands of the Amazon Basin, p. 61–84. In: *Tropical Rainforest Responses to Climatic Change*, 2nd Edition. Bush M, Flenley J, Gosling W (eds.). Springer-Praxis Books, Nueva York. 61–84.

Casal J, Mateu E (2003) Tipos de muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev.* 1: 3–7.

Castañeda I (2013) Paleoecología de Alta Resolución del Holoceno (11000 Años), en el Páramo de Belmira, Antioquia (Colombia). Tesis de Maestría en Geomorfología Y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21042>

Chapin III, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. (2011) *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media. Stanford 447 p.

CORPOCALDAS (2011) Acuerdo de consejo directivo número 19 de 2011. Por medio del cual se delimita y declara el Distrito Regional de Manejo Integrado de Recursos Renovables “Laguna de San Diego” y se dictan normas para su uso y funcionamiento. Corporación Autónoma Regional de Caldas, Manizales. 4 p

Correa-Metrio A, Escobar J, Bird BW, Caballero-Rodríguez D, Steinman BA, Rodríguez-Zorro PA, Curtis J (2022) A millennium of climatic and floristic dynamics in the Eastern Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of Biogeography*, 00, 1–13.

CPC (2023) Climate Prediction Center, Oceanic Niño Index (ONI). National Weather Service National Centers for Environmental Prediction.

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

CRU 4.5. Data sets. Climatic Research Unit University of East Anglia.

<https://www.uea.ac.uk/web/groups-and-centres/climatic-research-unit/data>

Erdtman G (1986) *Pollen morphology and plant taxonomy*. E. J. Brill. Segunda edición. Nueva York y

Londres. 553 p.

Faegri K & Iversen J (1950) Text-book of modern pollen analysis. Editorial Ejnar Munksgaard. Michigan. 168 p.

Finegan B (1992) The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. *Forest Ecology and Management* 47:295–321.

Finegan B (1996) Pattern and process in neotropical secondary rain forests: The first 100 years of succession. *TREE* 11(3):119–124.

Fontes D, Jaramillo C, Moreno JE (2019) Pollen morphology of the Amacayacu Forest dynamics plot, Western Amazon, Colombia. *Palynology*. DOI: 10.1080/01916122.2018.1538024.

Franco-Arias D (2018) Reconstrucción de cambios paleoambientales en el estuario de bahía blanca y áreas adyacentes de la plataforma durante el holoceno a través de registros palinológicos, sedimentológicos y geocronológicos. Tesis doctoral en geología. Universidad Nacional del Sur. Bahía blanca. 205 p.

Furundarena-García J (2004) "Método Análisis Cuantitativo de reconstrucción paleoambiental." *Kobie, Serie Anejos* 6(1): 101–110.

García-M Y, Rangel-Ch J & Fernández D (2011) Flora palinológica de la vegetación acuática, de pantano y de la llanura aluvial de los humedales de los departamentos de Córdoba y Cesar (Caribe Colombiano). *Caldasia* 33(2): 573–618.

Gentry AH (1993) A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America. Conservation international. Washington. 337 p.

Giraldo-Giraldo J, Velásquez-Ruiz CA & Pardo-Trujillo A (2017) Late-Holocene pollen-based paleoenvironmental reconstruction of the El Triunfo wetland, Los Nevados National Park (Central Cordillera of Colombia). *The Holocene* 28(2): 1–12.

Gómez D (1970) Los quimbayas: reseña etno-histórica y arqueológica. Instituto Colombiano de Antropología. Bogotá. 177 p.

González-Carranza Z, Hooghiemstra H & MI Vélez (2012) Major altitudinal shifts in Andean vegetation on the Amazonian flank show temporary loss of biota in the Holocene. *The Holocene* 22(11): 1227–1241.

Giraldo-Cañas D (2013) Las gramíneas en Colombia Riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 384 p.

Gregory BRB, Patterson RT, Reinhardt EG, Galloway JM & Roe HM (2019) An evaluation of methodologies for calibrating Itrax X-ray fluorescence counts with ICP-MS concentration data for discrete sediment samples. *Chemical Geology* 521: 12–27.

Grimm EC (2019) TILIA and TILIA GRAPH: PC spreadsheet and graphics software for pollen data. INQUA Commission for the Study of the Holocene: working group on data-handling methods. *Newsletter* 4:5–7.

Guariguata M & Ostertag R (2002) Sucesión secundaria. p. 56–90. En: Guariguata MR, Kattan GH, editores. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional cartago. 347 p.

Harris I, Osborn TJ, Jones P & David L (2020) Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci Data* 7:109.

Hammer Ø, Harper DAT & Paul Ryan D (2001) Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1–9.

Haug G, Hughen K, Sigmanlarry D, Peterson C & U Röhl (2001) Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone Through the Holocene. *Science* 293(5533): 1304–1308.

Herrera LF & Urrego LE (1996) Atlas de polen de las plantas útiles y cultivadas de la Amazonia Colombiana. *El Cuaternario de Colombia*. 23.

Hooghiemstra H & Flantua SGA (2019) Colombia in the Quaternary: An overview of environmental and climatic change. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales* 38: 43–95.

IGAC (1995) Los nombres originales de los territorios, sitios y accidentes geográficos de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 296 p.

Jaramillo C & Cardenas A (2013) Global Warming and Neotropical Rainforests: A Historical Perspective. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 41: 741–766.

Jaramillo D (2002) *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 619 p.

Jaramillo R (2005) *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé. Chinchiná. 196 p.

Jiménez-B LC (1996) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana I: Familias Caesalpinaceae, Fabaceae y Mimosaceae. *Caldasia* 18(3): 295–327.

Jiménez LC, Rangel JO & Bogotá RG (1999) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana III. Familia Melastomataceae y Mouriri (Memecylaceae). *Rev. Acad Colomb. Cienc* 23: 295–712.

Kapp RO, Davis OK & King JE (2000) Guide to pollen and spores. American Association of Stratigraphic Palynologists. Londres. 279 p.

Loaiza J & Murcia F (1984) Monografía de Samaná. Instituto San Pablo Apóstol. Bogotá.

Mansour A, Gentzis T, Wagreich M, Tahoun SS & Elewa AMT (2020) Short-Term Sea Level Changes of the Upper Cretaceous Carbonates: Calibration between Palynomorphs Composition, Inorganic Geochemistry, and Stable Isotopes. *Minerals* 10: 1099.

Marchant R, Boom A & Hooghiemstra H (2002) Pollen-based biome reconstructions for the past 450 000 yr. from the Funza-2 core, Colombia: comparisons with model-based vegetation reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177(1): 29–45.

Martínez C, Jaramillo C, Martínez-Murcia J, Crepet W, Cárdenas A, Escobar J, Moreno F, Pardo-Trujillo A & Caballero-Rodríguez D (2021) Paleoclimatic and paleoecological reconstruction of a middle to late Eocene South American tropical dry forest. *Global and Planetary Change* 205: 103617.

Mereles F (2000) Estudios cuantitativos en las sabanas de "Karandá'y", *Copernicia alba* Morong, en el Chaco Boreal y la Sub-cuenca del lago Ypacarai, Paraguay. *Rojasiana* 5(2): 279–290.

Monsalve M, Ortiz LM, & Vallejo AH. (2023). Morphology and general stratigraphy of the maar-type San Diego volcano, NE of Caldas, Colombia. *Boletín Geológico* 50(1): 1–23.

Munsell (2014) Munsell Rock Color Book. Munsell. Grand Rapids, 115 p.

Murcia H, Borrero C & Németh K (2018) Overview and plumbing system implications of monogenetic volcanism in the northernmost Andes' volcanic province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383(1): 77–87.

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB & Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.

Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH & Wagner H (2015) *Vegan: Community Ecology Package*. R Package version 2.2-1. Available online at: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Pardo-Trujillo A, Plata A, Gómez C (2021) *Palinología Colombiana: Métodos, aplicaciones y estado del*

conocimiento. Universidad de Caldas. Manizales. 234 p.

Pereira ET, Torres D, Lupo G & Kulemeyer JJ (2018) Asociaciones polínicas de sedimentos superficiales del norte de la región chaqueña argentina. *Revista de Biología Tropical* 66(4): 1754–1768.

Prävālie R (2018) Major perturbations in the Earth's forest ecosystems. Possible implications for global warming. 185: 544–571.

Quinn WH (1993) The large-scale ENSO event, the El Niño and other important regional features. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines* 22: 13–34.

Rangel-Ch. O, Bogotá G & Jiménez LC (2001) Atlas palinológico de la Amazonía Colombiana IV: Familia Areaceae. *Caldasia* 23(1): 281–300.

Rivera B & Rivera A. (1995) Florencia: Una Historia Para Contar. Fundación eduquemos.Palmira. 94 p.

Roubik D & Moreno J (1991) Pollen and Spores of Barro Colorado Island. Missouri Botanical Garden, St. Louis, USA. 268 p.

RUNAP (2022) Registro único de áreas protegidas de Colombia. Servicio Geologico Colombiano. Bogotá. 23 p.

Sales LP & Pires MM (2023) Identifying climate change refugia for South American biodiversity. *Conservation Biology*, e14087.

Sánchez SO, Islebe GA & Valdez M (2017) Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana* 9(2): 17–26.

Schneider T, Hampel H, Mosquera PV, Tylmann W & Grosjean M (2018) Paleo-ENSO revisited: Ecuadorian Lake Pallcacocha does not reveal conclusive El Niño signal. *Global and Planetary Change* 168: 54–66.

Tahoun SS, Deaf AS & Mansour A (2017) Palynological, paleoenvironmental and sequence stratigraphical analyses of a Turonian-Coniacian sequence, Beni Suef Basin, Eastern Desert, Egypt: Implication of *Pediastrum* rhythmic signature. *Marine and Petroleum Geology* 88: 871–887.

Turner MG (2010) Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91(10): 2833–2849.

Tyson RV (1995) *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Chapman & Hall, Londres. 615 p.

Valencia A (2018) *Colonización Antioqueña y vida cotidiana*. Editorial Universidad de Caldas. Manizales. 452 p.

Van der Hammen T (1974) The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 1(1): 3–26.

Van der Hammen T & Hooghiemstra H (2003) Interglacial-glacial Fuquene-3 pollen record from Colombia: an Eemian to Holocene climate record. *Global and Planetary Change* 36, 181–199.

Van der Sande MT, Bush MB, Urrego D, Silman M, Farfan-Rios W, García K, Shenkin A, Malhi Y, McMichael C & Gosling W (2020) Modern pollen rain predicts shifts in plant trait composition but not plant diversity along the Andes-Amazon elevational gradient. *J Veg Sci* 32: e12925.

van der Sande MT, Bush MB, Åkesson CM, Berrío JC, Correia Metrio A, Flantua SGA, Hooghiemstra H, Maezumi SY, McMichael CNH, Montoya E, Mosblech NAS, de Novaes Nascimento M, Peña-Claros M, Poorter L, Raczka MF & Gosling WD (2023) Warming, drought, and disturbances lead to shifts in functional composition: A millennial-scale analysis for Amazonian and Andean sites. *Global Change Biology* 00, 1–18.

Van Geel B & Van der Hammen T (1973) Upper Quaternary vegetational and climate sequence of the Fuquene area (Eastern Cordillera Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 4: 9–92.

Van't Veer R & Hooghiemstra H (2000) Montane forest evolution during the last 650,000 yr in Colombia: a multivariate approach based on pollen record Funza-1. *Journal of Quaternary Science* 15: 329–346.

Vargas W (2002) *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales*. Universidad de Caldas, Manizales. 815 p.

Velásquez C & Rangel O (1995) Atlas palinológico de la flora vascular del páramo I. las familias más ricas en especie. *Caldasia* 17(82-85): 509–568.

Velásquez CA (1999) *Atlas palinológico de la flora vascular paramuna de Colombia: Angispermae*. Litografía Gráficas Montoya, Medellín. 173 p.

Velasquez-Franco S (2020) *Listening to Las Lagunas: A long-term perspective applied to environmental management in the Equatorial Andes*. Disertación doctoral. The University of Utah. Utah.

Webb E (2023) Ensemble Oceanic Nino Index (ENS ONI). <https://www.webberweather.com/ensemble-oceanic-nino-index.html>

Webb T, Shuman B & Williams J (2003) Climatically forced vegetation dynamics in eastern North America during the Late Quaternary Period. *Developments in Quaternary Science* 1: 1571–0866.

White P & Pickett S (1985) Natural disturbance and patch Dynamics: An introduction. Chapter 1. En: The ecology of natural disturbance and patch dynamics. White, P. y Pickett, S. (eds). Academic press. INC. Nueva Jersey. 472 p.

Wu J, Zhu Z, Sun C, Riouala P, Chu G & Liu J (2019) The significance of maar volcanoes for palaeoclimatic studies in China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 383(1): 2–15.

Yan H, Sun L, Wang Y, Huang W, Qiu S, Yang C (2011) A record of the Southern Oscillation Index for the past 2,000 years from precipitation proxies. *Nature Geoscience* 4: 611–614.

Zalamea PC, Heuret P, Sarmiento C, Rodríguez M, Berthouly A, Guitet S, Nicolini E, Delnatte C, Barthélémy D & Stevenson PR (2012) The genus *Cecropia*: A biological clock to estimate the age of recently disturbed areas in the neotropics. *PLoS One* 7(8): e42643.

Anexo 1 – Datos climáticos (CRU 4.5; Quinn 1993; CPC 2023; Webb 2023), valores de titanio y especies más dominantes entre 0–5.2 cm de profundidad del núcleo SLD-Fc2 de la Laguna de San Diego. Σ : Sumatoria. \bar{X} : Media. σ^2 : Varianza.

Profundidad cm	Escala de tiempo	ENOS					Precipitación (mm)			% Titanio	Taxones más dominantes
		N° ENOS	N° El Niño	N° La Niña	Trimestres El Niño	Trimestres La Niña	Σ	\bar{X}	σ^2		
0–0.5	2020–2009	8	3	5	32	39	29914.3	2492.8	152542.6	0.72	Poaceae (14%), <i>Tripogandra</i> (6.3%), <i>Salpichlaena</i> (4.9%), <i>Vismia</i> (2.7%), <i>Alchornea</i> (2.25%), Asteraceae (2.25%) y <i>Acalypha</i> (1.8%).
0.5–0.8	2009–2002	7	4	3	21	23	21027.1	2628.3	54713.1	0.72	Poaceae (14.7%), <i>Salpichlaena</i> (6.4%), Asteraceae (5.9%), <i>Ficus</i> (2.9%), <i>Inga</i> (2.4%), <i>Piper</i> (1.4%), <i>Vismia</i> (1.4%) y <i>Cespedecia</i> (1.4%).
0.8–1.1	2002–1994	5	3	2	27	40	22752.9	2528.1	92097.2	0.71	Poaceae (8.1%), <i>Tripogandra</i> (7.3%), <i>Cyperus</i> (4%), Asteraceae (2.4%), <i>Salpichlaena</i> (2.4%) y <i>Ficus</i> (1.6%).
2.4–2.5	1953–1949	4	2	2	21	9	12187.7	2437.5	63735.7	-	Arecaceae (4.8%), <i>Vismia</i> (4.8%), Melastomataceae (3.7%), Poaceae (2.9%), <i>Limnocharis</i> (2.9%) y <i>Tripogandra</i> (2.6%).
4.5–5	1877–1859	8	4	4	61	17	-	-	-	-	<i>Cecropia</i> (58%), Poaceae (2.3%), <i>Piper</i> (3.7%), <i>Salpichlaena</i> (2.3%) y Asteraceae (1.4%)
5–5.2	1859–1852	2	1	1	6	7	-	-	-	-	<i>Cecropia</i> (64.1%), <i>Acalypha</i> (10.5%), <i>Cyperus</i> (6.2%), <i>Alchornea</i> (2.9%), Poaceae (2.9%) y Asteraceae (0.9%).

CONSIDERACIONES FINALES

El reporte de 100 especies y 42 familias botánicas en el DMI Laguna de San Diego es apenas una muestra de la diversidad florística en esta área protegida, ya que corresponden al muestreo de solo 0.4 ha, de las 757.28 ha declaradas. Por lo que se hace necesario continuar la exploración botánica en sus bosques, ya que son de interés para el estudio de la diversidad, taxonomía, biogeografía y conservación de parte de la flora del Valle del Magdalena.

Las coberturas vegetales Bosque denso y Vegetación secundaria o en transición, las cuales se encuentran principalmente rodeando El Morro (bosque denso) y la pared del cráter (Vegetación secundaria o en transición), son las que presentan mayores estados de sucesión vegetal y a su vez, son las más diversas en el DMI Laguna de San Diego, además albergan cerca del 92% de las especies en peligro reportadas en esta área protegida, por lo que es necesario crear estrategias de conservación para estas coberturas vegetales, pues están siendo constantemente presionadas por actividades agropecuarias y tala selectiva.

Durante los análisis palinológicos del DMI Laguna de San Diego, se describieron morfológicamente las esporas de 24 especies entre helechos y licofitos, por lo que se resalta la buena representatividad de este grupo de plantas, lo cual es de gran importancia pues por la variedad de tamaños, aperturas, formas de la lesura y tipos de escultura, estos pueden ser de gran utilidad para estudios taxonómicos y paleoecológicos que se lleven a cabo en el Magdalena Caldense. Y a su vez, se espera que este estudio sirva como modelo, pues los atlas palinológicos en Colombia, en la mayoría de los casos se restringen solo a la descripción morfológica del polen, dejando de lado a este valioso y diverso grupo de plantas.

Se espera que la descripción morfológica del polen de 77 especies de plantas con flores del DMI Laguna de San Diego, sea la base para futuros estudios donde se aborden temáticas sobre interacción planta animal, además, que esta información pueda ser integrada con los estudios de restauración ecológica que se adelantan en la región, pues entre las especies a las que se les describió morfológicamente el polen, se encuentran *Albizia carbonaria*, *Bellucia pentamera*, *Cecropia obtusifolia*, *Cespedesia spathulata*, *Cupania cinerea*, *Graffenrieda galeottii*, *Inga samanensis*, *Jacaranda copaia*, *Ochoterena colombiana*, *Virola sebifera* y *Vismia baccifera*, las cuales son indicadores de diferentes estados de sucesión vegetal.

Los diferentes tipos de disturbios antrópicos (deforestación, fragmentación) registrados en la Laguna de San Diego pueden ser amplificadas por disturbios provocados por eventos climáticos como temporadas prolongadas de sequía o precipitación, lo cual pone en riesgo la biodiversidad de esta área protegida y los servicios ambientales que provee. Por esta razón, es recomendable que la figura de protección del DMI

Laguna de San Diego, se mantenga o pueda ser elevada a un nivel superior (como Parque Regional Natural), donde se regulen las actividades que afectan su biodiversidad y servicios ecosistémicos. Además, es necesario proteger y evitar la perturbación de la laguna, pues a partir de su registro sedimentario se pueden comprender aspectos composicionales y ambientales de la dinámica de la vegetación asociada con el clima y la ocupación humana en la región y es posible que sean de utilidad para realizar inferencia de variaciones de eventos climáticos en otras regiones.