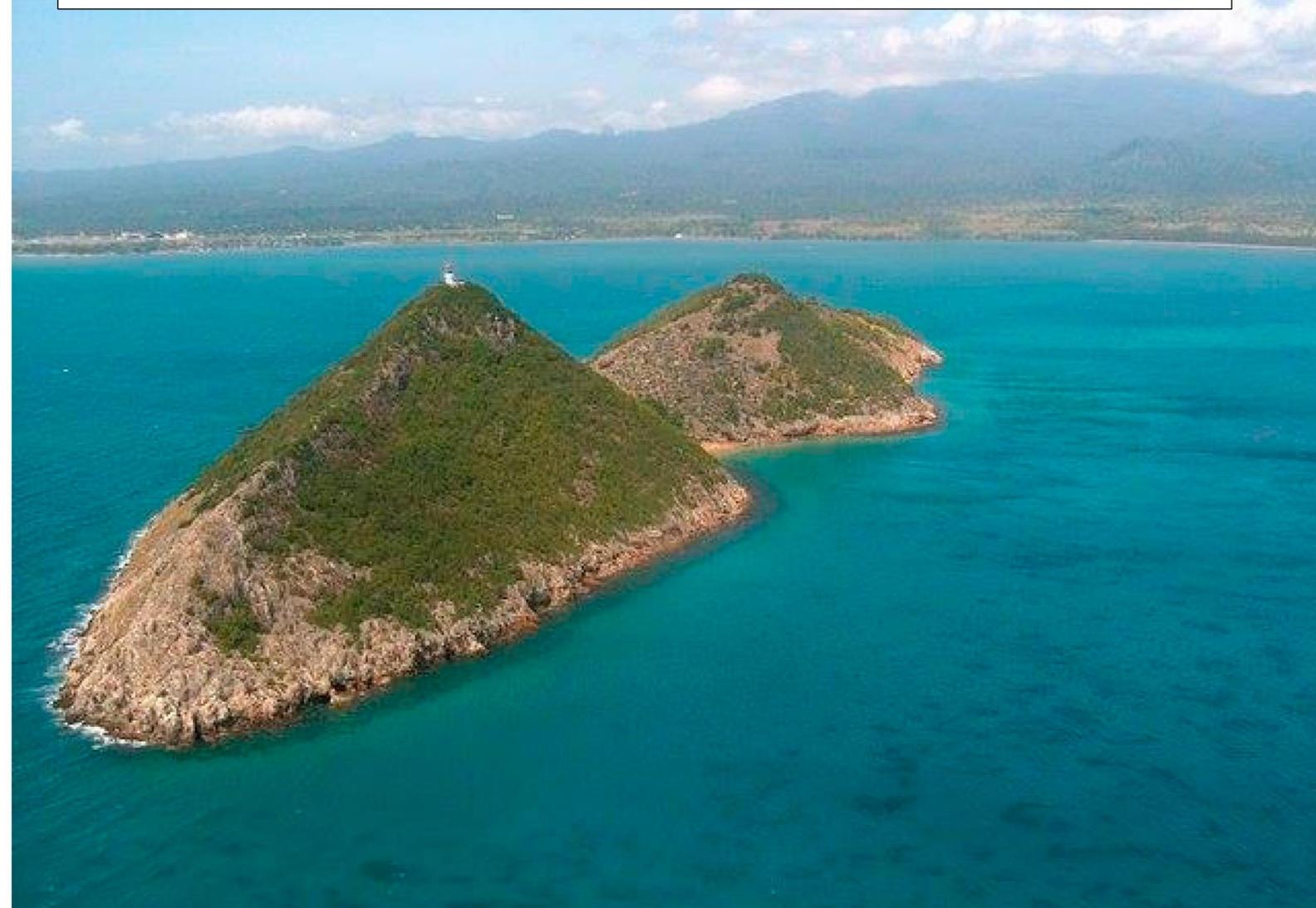


Trabajo de Fin de Máster

Primer atlas polínico de las islas de São Tomé y Príncipe y principales aplicaciones ecológicas



Rosa Delia Castillo Armas

Máster en Biodiversidad Terrestre y Conservación en Islas

Curso 2020-2022

Memoria de trabajo de Fin de Máster

Máster en Biodiversidad Terrestre y Conservación en Islas

Universidad de La Laguna

Julio 2022

“Primer atlas polínico de las islas de São Tomé y Príncipe y principales aplicaciones ecológicas”

Rosa Delia Castillo Armas

Tutores

Lea de Nascimento Reyes

Álvaro Castilla Beltrán

Afroinsularidade

*Deixaram nas ilhas um legado
de híbridas palavras e tétricas plantações,
engenhos enferrujados, proas sem alento,
nomes sonoros aristocráticos
e a lenda de um naufrágio nas Sete Pedras*

Conceição Lima

Imagem de portada: Henriques & Neto, 2015

RESUMEN

São Tomé y Príncipe es un estado insular del Golfo de Guinea con una rica biota endémica, resultante de procesos de diversificación *in situ* y aislamiento con respecto al continente. Las islas han sido objeto de importantes expediciones naturalistas, en las que los trabajos sobre la flora son de destacable magnitud, sin embargo, hasta el momento, no existen estudios palinológicos significativos.

El polen presenta una gran diversidad morfológica que puede revelar información sobre la composición de las formaciones vegetales, tanto presentes como pasadas, que caracterizan los distintos ecosistemas. En este estudio se emplea material de herbario con el fin de caracterizar la morfología de los granos de polen de las especies más importantes del bosque montano. Para ello, se han procesado muestras de 62 especies, empleando un método de acetólisis modificada, de las cuales 51 especies (26 familias y 49 géneros) conforman el atlas. Esta representación abarca en torno al 20% de la flora endémica de las islas, en las que predomina la representación de la familia Rubiaceae. Las muestras, que fueron fotografiadas y descritas, se estudiaron mediante el empleo de microscopía óptica. Las imágenes resultantes se organizan en un total de 10 láminas, que además se acompañan de 51 descripciones, incluyendo, por primera vez, las características morfológicas de 20 especies endémicas del archipiélago. Las aplicaciones ecológicas de este trabajo, especialmente en el ámbito de la paleoecología, permitirán esclarecer interrogantes acerca de la composición de las formaciones vegetales y la afección de las perturbaciones antrópicas en las islas.

Palabras clave: São Tomé y Príncipe, Atlas, Rubiaceae, Palinología, Paleoecología.

ABSTRACT

São Tomé and Príncipe is an State-Island in the Gulf of Guinea with abundant endemic biota, product of *in situ* diversification and isolation from the mainland. The islands have been the subject of important naturalist expeditions, and studies on the flora are of remarkable magnitude. However, no significant palynological studies have been carried out.

Pollen shows remarkable morphological diversity and can reveal information about the composition of plant formations, that characterize the different ecosystems in the present and in the past. In this research, herbarium material is studied to characterize the morphology of the pollen grains of montane forest's species. To achieve this, samples of 62 species were processed using a modified acetolysis method, of which 51 species (26 families and 49 genera) make up the atlas. This representation covers around 20% of the endemic flora of the islands, in which the representation of the Rubiaceae family predominates. Samples were photographed and described using light microscopy. Resulting images are organized in a total of 10 plates, that are also accompanied by 51 descriptions, including, for the first time, morphological characteristics of 20 endemic species of the archipelago. The ecological applications of this work, especially in the field of palaeoecology, will clarify questions about the composition of plant communities and the effects of anthropogenic disturbances on the islands.

Keywords: São Tomé and Príncipe, Atlas, Rubiaceae, Palynology, Paleoecology.

RESUMO

São Tomé e Príncipe é um estado insular no Golfo da Guiné com uma rica biodiversidade endêmica, resultante de processos de diversificação *in situ* e isolamento do continente. As ilhas têm sido objeto de importantes expedições naturalistas, nas quais o trabalho sobre a flora é de notável magnitude, porém, até agora, não existe uma abordagem palinológica adequada.

O pólen apresenta uma grande diversidade morfológica que revela informações sobre a composição da vegetação (presente e passada) nos diferentes ecossistemas. Neste estudo, material de herbário é utilizado para caracterizar a morfologia dos grãos de pólen das espécies mais importantes da floresta de montanha. Para isso, foram processadas amostras de 62 espécies utilizando um método de acetólise modificada, das quais 51 espécies (26 famílias e 49 gêneros) compõem o atlas. Esta representação abrange cerca de 20% da flora endêmica das ilhas, na qual predomina a representação da família Rubiaceae. As amostras, que foram fotografadas e descritas, foram estudadas por meio de microscopia óptica. As imagens resultantes são organizadas em um total de 10 painéis, que também são acompanhadas por 51 descrições, incluindo, pela primeira vez, as características morfológicas de 20 espécies endêmicas do arquipélago. As aplicações ecológicas deste trabalho, especialmente no campo da paleoecologia, esclarecerão dúvidas sobre a composição das formações vegetais e o efeito dos distúrbios antrópicos nas ilhas.

Palavras-chave: São Tomé e Príncipe, Atlas, Rubiaceae, Palinologia, Paleocologia.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera manifestar mi infinito agradecimiento a Álvaro Castilla Beltrán, que además de ser un excelente investigador es un diamante como “profe”, por su dedicación, paciencia y ayuda todos estos meses. Sin ti Álvaro, no hubiera sido posible realizar este trabajo, pero tampoco sin el apoyo y generosidad del magnífico equipo humano “al otro lado del ecuador”: Ricardo Lima, Laura Benitez, la Fundação Príncipe, la familia de BirdLife International, Tomé Almeida (Parque Nacional Obô de São Tomé) y los "Guardiões do Obô" (Jeje Lima, Camélia Salomé y Edmilson Trindade), por su incondicional apoyo durante el trabajo de campo. Este agradecimiento también se dirige al Director General de Medio Ambiente, el Ingeniero Lourenço Monteiro de Jesus, por permitir el desempeño de este trabajo y el traslado de las muestras, así como a Faustino de Oliveira y Lewis Eduardo, personal del Herbario de STP (HSTP), por posibilitar el trabajo y colecta de muestras que ha permitido materializar este trabajo.

Agradecer a Lea de Nascimento su apoyo, la cual, desde el primer momento me ofreció su ayuda y tutorización, y estuvo dispuesta a “mover los hilos” necesarios para que pudiera comenzar y, sobretodo, por el empujón del final para acabar este trabajo. Asimismo, agradecer el apoyo brindado a José María Fernández-Palacios, a Joserra y a “las niñas” del departamento de ecología, que me acogieron como una más durante el verano y el resto de meses que estuve “polinizando” el departamento.

A Sandra Nogué por su revisión y aportaciones, así como a Rob Scaife por sus tips de acetólisis.

Para expresar mi agradecimiento y respeto por la gran Julia Pérez de Paz, apenas encuentro las palabras, gracias por, además de abrirme las puertas de tu casa, abrirme las puertas del conocimiento a un mundo diminuto y maravilloso, el polen.

Me gustaría agradecer también a Irene de la Serna Ramos, la primera persona que me puso en contacto directo con el mundo de la palinología.

Por último y no menos importante, agradecer a las personas que hicieron de su casa mi hogar durante esta aventura, Johanna (mi adorada Pri), Ernesto (mi querido Tito), Julia, María, “mi comando”, Belén y Dani, Alicia e Irene, gracias por haberme apoyado cuando flaqueaba y hacer del polen un “tema más de conversación”, gracias por apoyarme cada día durante este tiempo lleno de cambios y “saltos” de isla.

A ti, abuela, por esperarme pacientemente desde el “Wallmapu”, deseando que todo salga bien para vernos cuanto antes.

Índice de contenidos

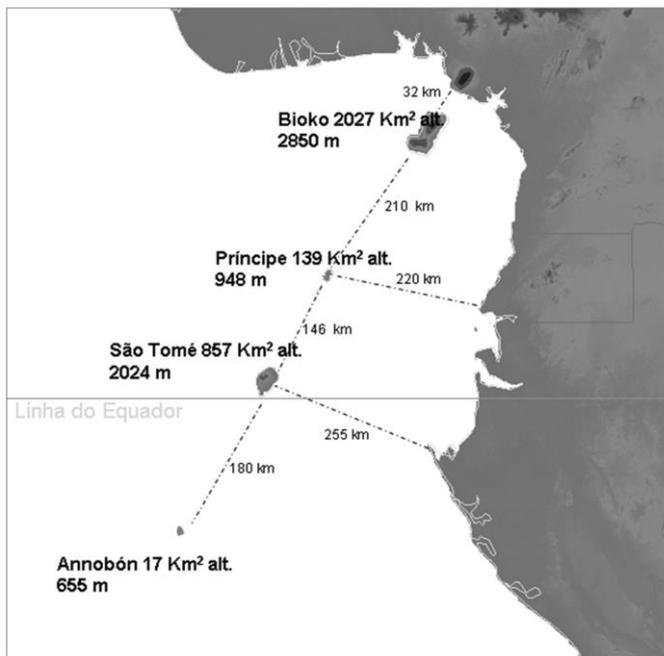
1. Introducción	8
1.1 Contextualización general.....	8
1.2 Ecología y contribución a la biodiversidad.....	8
1.2.1 Principales formaciones vegetales	8
1.2.2 Contribución a la biodiversidad global	10
1.2.3 Impacto humano, amenazas a la biodiversidad y medidas de protección.....	12
1.3 Marco biogeográfico.....	14
1.3.1 Situación geográfica.....	14
1.3.2 Geología	15
1.3.3 Clima	16
1.4 Justificación del estudio.....	17
1.5 Objetivos principales y específicos.....	18
2. Material y métodos	20
2.1 Área de estudio	20
2.2 Selección de muestras de herbario	22
2.2.1 Terminología para la descripción palinológica	22
2.2.2 Nomenclatura de las especies.....	23
2.2.3 Distribución y hábitat	25
2.2.4 Categorías de amenaza	25
2.3 Procesado de muestras para análisis polínico	27
2.3.1 Acetólisis.....	27
2.3.2 Montaje en portaobjetos	29
2.4 Obtención y procesado de imágenes	30
2.4.1 Organización y presentación de láminas	30
2.4.2 Categorización de muestras según abundancia y preservación	31
3. Resultados	33
3.1 Tabla de atributos.....	33
3.2 Descripciones de los tipos polínicos y láminas	37
3.4 Cobertura del atlas: relación flora del archipiélago representada en el trabajo	73
3.5 Análisis de abundancia polínica.....	77
3.5.1 Análisis de abundancia por taxa (muestras de herbario) y familia	77
3.5.2 Análisis de abundancia polínica en función del tipo de polinización	80
3.6 Análisis de preservación del material polínico	82
3.6.1 Análisis de preservación de los granos de polen por familia	82

3.6.2 Análisis de abundancia polínica por fecha de recolección del pliego de herbario.....	82
4. Discusión.....	84
4.1 Utilidad y cobertura del atlas	84
4.2 Consideraciones sobre la abundancia polínica y preservación del material polínico	86
4.3 Consideraciones sobre los caracteres morfológicos del material polínico del atlas	88
4.4 Aplicaciones potenciales.....	89
5. Limitaciones y perspectivas futuras.....	91
6. Conclusiones.....	93
7. Referencias bibliográficas.....	95
Anexo I.....	104

1. Introducción

1.1 Contextualización general

La República Democrática de São Tomé y Príncipe es un pequeño Estado insular ubicado en el Golfo de Guinea, en el margen oeste del continente africano. Situado justo en el ecuador ($0^{\circ}25'-0^{\circ}01'S$, $6^{\circ}28'-6^{\circ}45'E$ São Tomé; $1^{\circ}32'-1^{\circ}43'N$, $7^{\circ}20'-07^{\circ}28'E$, Príncipe; Lima & Melo, 2021), el archipiélago abarca una superficie de 1000 km², correspondiendo 857 km² a la isla de São Tomé, 139 km² a la isla de Príncipe y la superficie restante, a los pequeños islotes cercanos (Diniz & Matos, 2002, Munhã *et al.*,



2007; Jones & Tye 2006). Las islas distan del punto continental más próximo 255 km y 220 km respectivamente (Atkinson, Peet & Alexander, 1991; Jones & Tye 2006) y a lo largo de su historia geológica jamás han estado conectadas entre sí, ni con el continente africano (Sergio & García, 2011; Lima & Melo, 2021), dando como resultado una destacable biota endémica (Jones, 1994).

Figura 1: Situación geográfica de las islas del Golfo de Guinea (Fuente: Sergio & García, 2011). El mapa indica las distancias entre las islas (Príncipe a 146 km al norte de São Tomé) y de éstas con el continente, así como sus altitudes máximas.

1.2 Ecología y contribución a la biodiversidad

1.2.1 Principales formaciones vegetales

En términos florísticos, estas islas, consideradas “un sueño para los botánicos” (Thorhaug, 2009), han sido objeto de importantes expediciones botánicas durante los siglos XIX y XX. Las encabezadas por Don, Mann (Sergio & García, 2011), Moller, Quintas, Henriques o Exell, son las más destacables (Figueiredo *et al.*, 2011), perpetuando importantes descubrimientos y contribuciones al conocimiento de la flora del archipiélago (Lejoly, 2000; Stévar, Geerinck & Lejoly, 2000; Figueiredo & Gascoigne, 2001; Diniz & Matos, 2002; Stévar & Cribb, 2004; Daniel & Figueiredo, 2009; Sergio & García, 2011; Figueiredo *et al.*, 2011; Stévar *et al.*, 2022), que en la

actualidad está siendo objeto de estudio del proyecto “The Threatened flora of São Tomé e Príncipe-Flora Ameaçada de São Tomé e Príncipe”, auspiciado por la Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF), cuyo objetivo principal es la caracterización de la flora amenazada de São Tomé y Príncipe (<https://cepf-stp-threat-flora.netlify.app/pt/>).

En cuanto a la caracterización de la vegetación de las islas existen varias clasificaciones de interés, tales como Exell (1944, 1956) y Diniz & Matos (2002) pero, al igual que Figueiredo *et al.* (2011). Se considerará en este trabajo la clasificación empleada por Monod (1960), que divide la vegetación de la isla de São Tomé en cuatro grandes grupos (Tabla 1).

Tabla 1: División altitudinal de la vegetación de São Tomé según Monod (1960).

Distribución altitudinal	Formación/es vegetal característica/s
Región litoral (0 m) < 800 m	Dunas y manglares. Formaciones de selva tropical de las partes bajas (reemplazada por plantaciones en su práctica totalidad). En la parte norte-noreste de la isla, donde la precipitación es mucho menor, < 700 mm/año, y hubo sometimiento a fuegos periódicos, hay sabanas antropogénicas, caracterizadas por gramíneas y leguminosas.
800-1400m	Selva tropical de montaña, con árboles de gran porte, sobre los que se desarrollan epífitos, lianas y helechos, dominada por las familias Rubiaceae y Euphorbiaceae, además de numerosas orquídeas (Orchidaceae).
>1400 m	Hasta la cumbre de la isla (2024 m, Pico de São Tomé), masas forestales mixtas, tendencia a formaciones de praderas o pastizales.

Para la isla de Príncipe, menos estudiada y cuya cartografía aún no ha sido desarrollada de manera exhaustiva, con carácter general, se sigue la misma clasificación (hasta su altitud máxima, 948 m en el Pico do Príncipe), exceptuando las formaciones de sabana, inexistentes en esta isla (Tabla 2).

Tabla 2: Clasificación de la vegetación de São Tomé según Exell (1944).

Distribución altitudinal	Formación/es vegetal característica
(0-800 m)	Selva húmeda de baja altitud conformada por bosque primario (obô) y bosque secundario (capoeira).
(800-1400 m)	Selva húmeda de montaña.
(1440-2024 m)	Selva de brumas.

1.2.2 Contribución a la biodiversidad global

Las islas del Golfo de Guinea han despertado un gran interés entre naturalistas y científicos especializados en biología evolutiva y biología de la conservación, lo que las ha convertido en objeto de numerosos estudios, especialmente en los campos de la botánica (Exell, 1944, 1956, 1973; Monod, 1960; Figueiredo, 1994, 2005; Lejoly, 2000; Stévant, Geerinch & Lejoly, 2000; Stévant & Geerinch, 2001; Figueiredo *et al.*, 2011) y de la avifauna (Atkinson, Peet & Alexander, 1991; Fishpool & Evans, 2001; Jones & Tye, 2006; Melo, 2007; Lima, 2012; Valente *et al.*, 2020).

La destacable contribución de este archipiélago en cuanto a biodiversidad se refiere, se debe a que las islas, de diferente tamaño y grado de aislamiento con respecto al continente africano, han ido desarrollando flora y fauna únicas, diferenciadas de las del vecino continente, como resultado de procesos de radiación adaptativa *in situ* (Jones, 1994). Es tal la singularidad de estos procesos de especiación en el archipiélago, que ha sido comparado por diversos autores con las islas de Hawái o Galápagos (Gulf of Guinea Conservation Group, 1993; Thorhaug, 2009).

Este archipiélago se caracteriza por concentrar elevados niveles de endemidad en los diferentes grupos taxonómicos (Exell, 1973; IUCN, 1991; Jones, 1994; Figueiredo & Gascoigne, 2001; Thorhaug, 2009; Lima, 2012; VI National Biodiversity Report, 2019; Valente *et al.*, 2020). Entre los grupos con mayor número de especies y relevancia, refiriéndose a endemidad en este caso, se encuentran aves (> 50%), reptiles (44%), mamíferos (25%) y anfibios (100%) (VI National Biodiversity Report, 2019). En cuanto a la flora se refiere, ambas islas albergan 119 taxa endémicos, representando una endemidad del 13,2% (Figueiredo *et al.*, 2011).

La primera ‘checklist’ de la Flora del archipiélago fue la publicada por A.W Exell (1944) *Catalogue of the Vascular Plants of S. Tome (with Principe and Annobon)*, tras esta publicación, numerosos autores y autoras han contribuido al estudio de la botánica en las islas. La publicación científica más reciente para la flora vascular del archipiélago es el Catálogo de Espermatofitos de São Tomé y Príncipe, *Annotated catalogue of the flowering plants of São Tomé and Príncipe* (Figueiredo *et al.*, 2011), donde se recogen las siguientes cifras para la flora de las islas: 135 familias (de las cuales 29 son introducidas); 624 géneros (172 introducidos); 1104 especies (de las que 301 son introducidas), de las cuales 119 taxa, 107 especies y 12 taxa infra específicos, son

endémicos de las dos islas. (Stévant *et al.*, 2022, en prep., disponible en: https://gdauby.github.io/saothreath_book/introduction.html).

Estas cifras experimentarán actualizaciones próximamente, como resultado de los trabajos de campo e investigación desarrollados en el marco del Proyecto “Flora Ameaçada de São Tomé e Príncipe”, brindarán “checklists” actualizadas y darán a conocer especies nuevas para la ciencia y (<https://cepf-stp-threat-flora.netlify.app/pt/>). Las familias más representativas del archipiélago son Euphorbiaceae, Orchidaceae y Rubiaceae, que albergan más de la mitad de los taxa endémicos (Figueiredo *et al.*, 2011). La familia Rubiaceae, de gran relevancia para la flora insular, contiene 36 géneros y 64 especies en ambas islas, de las que 27 son endémicas, lo que pone de manifiesto las elevadas tasas de endemidad en el grupo, cercanas al 40% (Figueiredo, 2005; Davis & Figueiredo, 2007). En términos de riqueza en especies (nº) también se destaca la importancia de la familia Orchidaceae, compuesta por 129 taxa (Stévant, Geerinck & Lejoly, 2000).

Acorde a los patrones de riqueza en especies y endemidad (Tabla 3), se pone de manifiesto el hecho de que en las islas oceánicas del archipiélago el número total de especies es menor que en el enclave continental, sin embargo, la endemidad es mayor. Además, la presencia de elementos endémicos monoinsulares (single island endemics, SIE) es más frecuente que la de los endemismos de amplia distribución en el archipiélago (multiple island endemics, MIE), lo que consituye una evidencia del alto grado de aislamiento en que la flora insular ha evolucionado (Exell, 1973).

Tabla 3: Relación del número de especies de flora (espermatofitos) presentes en São Tomé y en Príncipe, porcentaje de endemidad y de endemismos monoinsulares en cada isla. Modificada a partir de Davis & Figueiredo (2007).

	São Tomé	Príncipe
Flora (espermatófitos)	784	362
Especies endémicas	14%	12%
Endemismos monoinsulares (SIE)	75%	48%

Esta singularidad convierte al archipiélago en uno de los 35 hotspots de biodiversidad mundial (Williams *et al.*, 2011), pertenecientes al hotspot “Guinean Forest of West Africa” (Myers *et al.*, 2000). Este término, acuñado por Myers en 1988, fue empleado para denominar “hotspots” a aquellos lugares con extraordinaria flora endémica y con acusada pérdida de hábitat, si bien el término ha experimentado revisiones con respecto

a su definición original (Mittermeier *et al.*, 1999; Myers *et al.*, 2000; Mittermeier *et al.*, 2011; Marchese, 2014), lo que sin lugar a dudas es evidente es la contribución de este pequeño territorio a la biodiversidad global, especialmente en cuanto a flora se refiere (Figura 2).

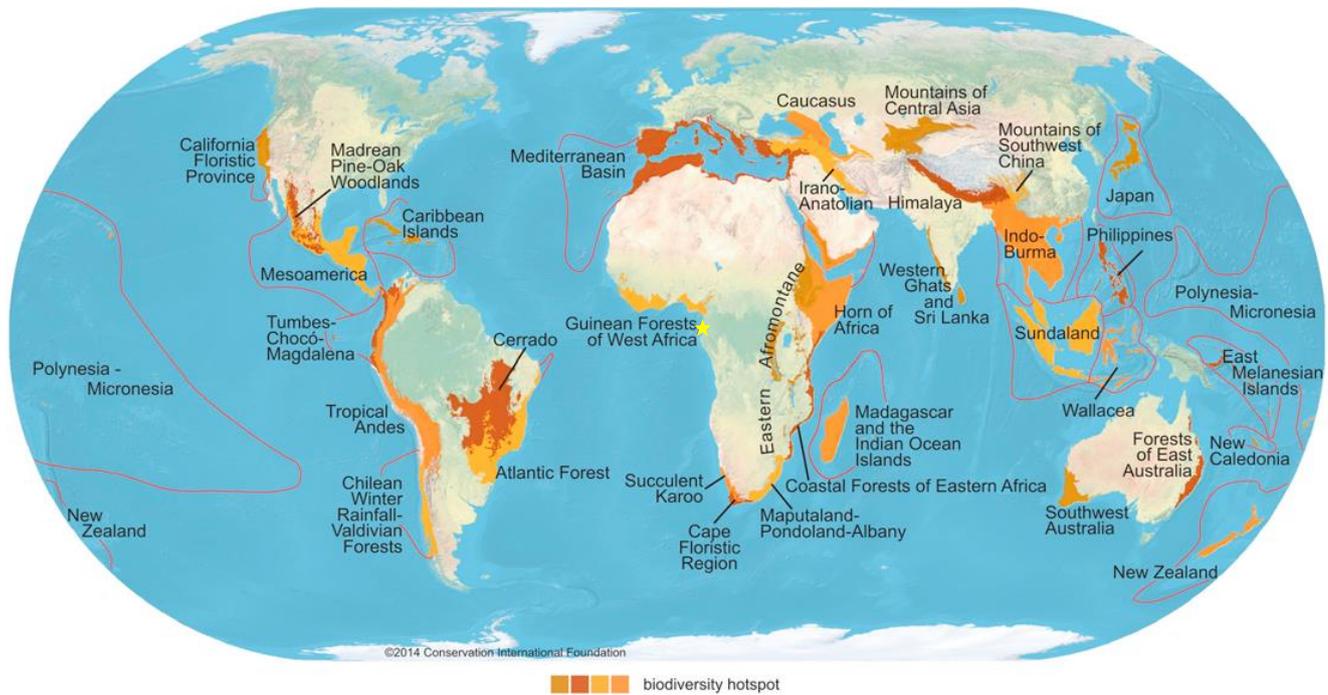


Figura 2: Distribución de los 35 hotspots de biodiversidad mundial. La marca amarilla indica el emplazamiento del archipiélago. Modificado de Marchese (2014).

1.2.3 Impacto humano, amenazas a la biodiversidad y medidas de protección

La vegetación de las islas fue radicalmente transformada tras la llegada de los portugueses en el siglo XV, periodo en el que éstas, aún inhabitadas, presentaban una exuberante vegetación (Exell, 1944; Figueiredo *et al.*, 2011; Sergio & García, 2011), caracterizada por formaciones densas y húmedas de bosque primario, que recubriría la totalidad de las islas, sin zonas semiáridas como las que se pueden encontrar en la isla de São Tomé en la actualidad (Diniz & Matos, 2002).

La ocupación de las islas por parte de los primeros colonos a partir de 1486 introdujo el cultivo de caña de azúcar, proveniente de Madeira. Se recoge en los escritos que São Tomé llegó a convertirse en uno de los primeros lugares dedicados a la agricultura de exportación (Exell 1944, 1973). Posteriormente, en el siglo XVI, cuando perdió rentabilidad, el cultivo de la caña fue abandonado y permitió cierta regeneración de la vegetación, permitiendo el desarrollo de parches de bosque secundario (Figueiredo *et al.*, 2011). Tras el declive de la caña comenzó el cultivo intensivo de cacao y café (año 1800),

trayendo consigo la deforestación, especialmente agresiva durante el siglo XIX, periodo en el que la selva de las partes bajas (hasta los 1500 m s.n.m.) fue remplazada casi al completo por estas plantaciones (Chevalier, 1939; Exell, 1944; Figueiredo *et al.*, 2011). En la Isla de Príncipe destaca el alto impacto medioambiental resultante de la campaña de erradicación de la mosca Tsé-Tsé (de 1911 a 1914), cuyas actuaciones consistieron en la destrucción del hábitat de este insecto por medio de la deforestación dirigida a especies nativas, el desbroce indiscriminado, especialmente de herbáceas y arbustivas, incendios forestales provocados y el drenaje de humedales en toda la mitad norte de la isla (Figueiredo Moura da Silva, 2019).

Hoy en día, este territorio de frágil biodiversidad, al igual que otros territorios insulares, afronta serios problemas debido a las amenazas que se ciernen sobre los diferentes grupos taxonómicos, tales como la pérdida de hábitats (Collar & Stuart, 1988; Atkinson, Peet & Alexander, 1991; IUCN, 1991; Jones, 1994; Thorhaug, 2009; Ricardo Lima, 2012; Lima & Melo, 2021), la introducción de especies exóticas (Dutton, 1994; VI National Biodiversity Report, 2019; Heleno *et al.*, 2022), el empleo de pesticidas (Atkinson, Peet & Alexander, 1991; III National Biodiversity Report, 2007), la caza y otras actuaciones antrópicas, de impacto significativamente menor (Atkinson, Peet & Alexander, 1991).

La Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN, en adelante) para el archipiélago está siendo actualizada en el marco del citado proyecto en curso, sin embargo, la tendencia en áreas de excepcional diversidad florística, revela cifras poco esperanzadoras para la flora africana de afinidad tropical, llegando a estimarse en torno a un tercio el número de especies potencialmente amenazadas de extinción debido al estado actual de los ecosistemas y a las presiones de origen antrópico (Stévant *et al.*, 2019). En términos generales, no existen datos de especies extintas en las islas, por lo que los estudios palinológicos podrían, en el caso de encontrar evidencias, aportar datos de gran interés para la flora tomense y contribuir al refuerzo de las cifras estimadas en las evaluaciones de conservación.

Debido a estas razones ha sido, y es, especialmente importante implementar políticas efectivas para la conservación de hábitats y las especies que los ocupan. El primer régimen de protección para el suelo, la flora y la fauna fue establecido por Decreto 40 040, en el año 1955, posteriormente en el año 1999, con la Ley de Conservación de la fauna, flora y áreas protegidas (Lei da Conservação da Fauna, Flora e das Áreas

Protegidas: Lei nº11/99) se establece el régimen jurídico que define y clasifica las áreas protegidas e introduce las normas para su gestión, que se articula por los planes de manejo y de gestión, a corto y largo plazo, respectivamente.

En el año 2006, se creó el Parque Natural de Obô en ambas islas, São Tomé y Príncipe (Lei do Parque Natural Obô de São Tomé: Lei nº 6/2006 y Lei do Parque Natural Obô do Príncipe: Lei nº 7/2006), abarcando un área de 26.900 ha, correspondiente mayoritariamente a áreas de bosque primario y bosque secundario maduro (Albuquerque *et al.*, 2009). Posteriormente, en el año 2012, la isla de Príncipe, obtiene la designación de Reserva de la Biosfera por el programa *MaB* (Man and Biosphere) de la UNESCO (<https://en.unesco.org/biosphere/africa/island-of-principe>).

En la actualidad, este Parque Natural comprende un territorio que abarca 262 km² en la isla de São Tomé y 45 km² en la isla de Príncipe (UNEP-WCMC, 2022) que incluye las extensiones más importantes de bosque tropical y alberga importantes poblaciones de especies endémicas amenazadas (VI National Biodiversity Report, 2019).

1.3 Marco biogeográfico

1.3.1 Situación geográfica

Las Islas del Golfo de Guinea incluyen a Bioko, Príncipe, São Tomé y la isla de Annobón, además de un grupo de pequeños islotes, que incluye Rolas, Cabras, Bom-bom y Carroço o Boné de Jóquei.

1. Bioko, anteriormente conocida como isla de Fernando Pó, forma parte de Guinea Ecuatorial. Es la isla mayor del archipiélago, y la más próxima al continente, de hecho, es la única de origen continental; 32 km la separan de la costa dos Camarões.
2. Príncipe, situada a 210 km al sur-suroeste de Bioko y a 220 km al oeste del continente.
3. São Tomé, que se sitúa a 146 km al sur-suroeste de Príncipe y a 255 km de la costa oeste de Gabón. La línea del ecuador pasa por el Islote das Rolas en el sur.
4. Annobón, anteriormente conocida como Pagalú o Ano Bom y, que pertenece a Guinea Ecuatorial en la actualidad, es la más pequeña y alejada de las islas, situada a 180 km al sur-suroeste de São Tomé y a 340 km del continente africano.

Los patrones de riqueza de especies (nº) y de endemidad en las islas del Golfo de Guinea revelan la historia biogeográfica de las mismas (Jones, 1994). Bioko es una isla continental (IUCN, 1991; Jones, 1994), que estuvo conectada con el continente vecino durante la última glaciación, lo que permitió el establecimiento de un corredor entre

ambos (se encuentra separada por unas profundidades de 60 m) y lleva aislada del continente, al menos, los últimos 10-11.000 años (Jones, 1994), Príncipe, São Tomé y Annobón, en cambio, son islas oceánicas que jamás han estado conectadas al continente, ni entre sí, separadas por profundidades que superan los 1800 m (IUCN, 1991).

Por lo tanto, el resultado es que la biota de Bioko es más diversa en cuanto a especies se refiere, pero con menor número de taxa endémicos, mientras que, para el resto de islas, sucede el fenómeno contrario (Jones, 1994, Cronin *et al.*, 2014).

1.3.2 Geología

Las islas del Golfo de Guinea conforman la parte sur de la Línea Volcánica de Camarões (LVC), de origen terciario (IUCN, 1991). La LVC es un conjunto de cadenas volcánicas de aproximadamente 1700 km, que se adentra hacia el continente africano con dirección suroeste-noreste, desde la isla de Annobón hasta el Altiplano de Kapsiki (Camarões), con ramificaciones en dirección norte hacia el Altiplano de Biu (Nigeria) y al este hacia el Altiplano de Amadawa (Camarões) (Munhã *et al.*, 2007; Lopes, 2020). Este alineamiento volcánico comprende porciones de litosfera oceánica y continental (Munhã *et al.*, 2007; Lopes, 2020), la isla de Bioko se encuentra en la frontera entre ambas, mientras que el resto de islas se ubica sobre litosfera oceánica.

El origen tectónico-magmático del alineamiento ha sido controvertido (Fitton & Dunlop, 1985; Lee *et al.*, 1994; Njome & de Wit, 2014), sin embargo, en estudios recientes (Lopes, 2020) se descarta la teoría del “hotspot” debido a la inexistencia de un patrón de edad de las rocas que refleje continuidad espacial.

Las islas de São Tomé y Príncipe, de origen volcánico, fueron originadas fundamentalmente por lavas basálticas y fonolíticas (Caldeira & Munhã, 2002; Caldeira *et al.*, 2003), cuyas dataciones radiométricas (Ar-Ar) revelan una antigüedad de casi 31 millones de años (Ma, en adelante), 30,6 Ma, para la isla de Príncipe y una edad más reciente para la isla de São Tomé (islote de Cabras), de 14,5 Ma (Lopes, 2020).

En la isla de Príncipe, se han encontrado las rocas más antiguas, con edades comprendidas entre los 30,6 Ma y los 3,5 Ma, mientras que, en la isla de São Tomé, las rocas de mayor antigüedad son las de la Formación del islote de Cabras, de 14,5 Ma, por el contrario, algunas lavas del Complejo de São Tomé presentan edades inferiores a 1 Ma (Lopes, 2020). Los registros de vulcanismo reciente señalan un periodo de actividad volcánico simultáneo en ambas islas entre hace 3 y 6 Ma (Lopes, 2020), estos indican actividad

entorno a los 1,5 Ma en la isla de São Tomé, mientras que para la isla de Príncipe se ha registrado hace 3,5 Ma su última actividad magmática.

Este origen volcánico caracteriza el paisaje de las islas, que albergan impresionantes calderas volcánicas y cuentan con escarpados paisajes montañosos, elevándose hasta los 2040 m s.n.m. en el Pico de São Tomé (región meridional) desde los 3000 m de profundidad y llegando a alcanzar los 948 m s.n.m. en el Pico do Príncipe, Príncipe. En cuanto a la red hidrográfica resultante de este relieve, la isla de São Tomé presenta una red hidrográfica de disposición radial (Munhã *et al.*, 2007), cuyos principales ríos son: Rio d'Ouro, Manuel Jorge, Contador, Lembá, Abade, Provaz e Iô Grande, mientras que Príncipe, en cambio, solo tiene un río de cierta importancia, el Rio Papagaio (IUCN, 1991).

1.3.3 Clima

El clima de las islas São Tomé y Príncipe está fuertemente condicionado por la corriente del Golfo y por el relieve accidentado (Munhã *et al.*, 2007), que intercepta las corrientes de los vientos húmedos predominantes del suroeste durante todo el año. Por ello, el régimen de precipitaciones en las regiones suroeste supera los 7000 mm/año en la isla de São Tomé y los 5000 mm/año en Príncipe, mientras que en el noreste apenas se superan los 2000 mm/año, pudiendo llegar a los 600 mm/año en el extremo norte de São Tomé (IUCN, 1991; Lima & Melo, 2021).

Al ubicarse en la línea del ecuador, el clima se caracteriza por dos estaciones secas, seguidas de dos periodos más húmedos a lo largo del año. La principal estación seca, conocida como “gravana”, se extiende de junio a septiembre y es más acusada en el norte de las islas y a baja altitud; la segunda estación seca, “gravanito”, es un periodo de baja pluviosidad, que tiene lugar entre diciembre y febrero. Sin embargo, en las regiones suroeste y central (mayor altitud) de ambas islas el régimen de precipitaciones es intenso y se mantiene a lo largo del año (IUCN, 1991; Munhã *et al.*, 2007).

La temperatura media anual (a nivel del mar) es de 25,6° C, con una humedad relativa del 80% (Munhã *et al.*, 2007). Las temperaturas medias máximas se mantienen en rangos similares en la costa y en el interior, mientras que las mínimas absolutas descienden con la altitud (IUCN, 1991), llegando a disminuir hasta 1,5°C cada 200 m (Munhã *et al.*, 2007). Los vientos son generalmente suaves (no existen huracanes conocidos), si bien pueden ganar fuerza e ir acompañados de tormentas durante los cambios de estación.

En lo que respecta a los niveles de luminosidad son bajos, con pocas horas de sol debido a la intensa nubosidad prevalente (que puede ser casi permanente) en las regiones centro y sur de las islas (Lima & Melo, 2021).

1.4 Justificación del estudio

Debido a la alta diversificación y a la complejidad morfológica de los pólenes pertenecientes a la flora tropical, la investigación en los campos de la palinología y la paleobotánica representa un desafío. La identificación y agrupación de las especies son herramientas necesarias para reflejar la dinámica de la vegetación, así como dinámicas ecológicas y de interacción entre especies en estas áreas, con el fin de no asumir una entidad de especie (taxa) basada únicamente en su morfología (Adojoh *et al.*, 2019).

Por estas razones, y debido a la importancia de la palinología y sus aplicaciones, han sido diversos los autores y autoras que han contribuido significativamente al conocimiento del polen de las especies afrotropicales a través de publicaciones y de la confección de atlas de flora africana (por regiones o países) que han permitido la identificación de los tipos polínicos (van Zinderen Bakker, 1953, 1956; Reille, 1998, 1999; Gosling, Miller & Livingstone, 2013; Schuler & Hemp, 2016; Rasoloarijao *et al.*, 2019). Además, las recientes contribuciones al conocimiento del polen afrotropical por iniciativas de colaboración internacional tales como el repositorio virtual African Pollen Database (<https://globalpollenproject.org>) han marcado un precedente en el avance en este campo de conocimiento. Sin embargo, estas valiosas contribuciones a la palinología, con alguna salvedad (i. e. Daniel & Figueiredo, 2009), no han tenido como objetivo principal de estudio el marco geográfico en el que se sitúa el presente trabajo, la flora de las islas de São Tomé y Príncipe.

Pese a los estudios existentes de este archipiélago, aún quedan muchos interrogantes abiertos en cuanto a su biogeografía, los impactos de origen antrópico, las interacciones ecológicas, cuestiones que se pueden abarcar desde la paleoecología y la palinología, entre otras disciplinas. La confección de un primer atlas polínico para la región supone una aproximación hacia el desarrollo de estudios palinológicos en este archipiélago y representa una forma de rendir tributo y contribuir a consolidar parte del trabajo previo llevado a cabo en las islas.

Entre las principales aplicaciones de este estudio se encuentran:

- Reconstrucción paleoecológica del bosque montano, estableciendo la relación entre la dinámica de la vegetación actual y pasada. El análisis del registro fósil facilitará el entendimiento de los cambios en la vegetación y en el clima, así como de las afectaciones antrópicas a la composición de las formaciones vegetales. Además, puede contribuir a determinar si existen extinciones de taxa vegetales en las islas, no reportadas hasta la actualidad (IUCN, 2021).
- Estudios de polinización, redes de interacción planta-animal, mediante la creación de una colección de referencia que contribuya al desarrollo de esta disciplina.
- Contribución al desarrollo de disciplinas de aplicación socioeconómica como la aerobiología y su utilidad en la salud pública, la melisopalinología, en el control de la calidad y origen de la producción de mieles, así como iniciativas de apicultura sostenible en el Parque Natural de Obô en Príncipe (Projeto de Apoio à Pequena Agricultura Comercial, PAPAC), como alternativa de ingresos e incentivo de una mejor gestión del hábitat forestal (Flora & Fauna, Internacional, 2019).

1.5 Objetivos principales y específicos

El principal objetivo de este trabajo es contribuir a la creación de un trabajo propiamente destinado a la palinología de la flora nativa y endémica de las islas: un primer atlas polínico a partir de una selección de material de herbario, y la creación de una palinoteca de referencia en el archipiélago de São Tomé y Príncipe.

El objetivo de este atlas es complementar otros estudios que actualmente se están llevando a cabo en la región, su principal aplicación, y la más directa, es la de brindar una base de referencia para estudios paleoecológicos, estudios de polinización, redes de interacción planta-animal, melisopalinología y otras disciplinas estrechamente relacionadas, como la aerobiología. Los estudios paleoecológicos en esta región permitirán establecer la relación entre la dinámica actual y la dinámica del pasado, entender los cambios en la vegetación y el clima y la magnitud de la intervención y usos antropogénicos de los recursos naturales de la zona.

Objetivo principal:

- Elaborar un primer atlas polínico del archipiélago a partir de material de herbario.
- Contribuir a la creación de una palinoteca de referencia.

Objetivos específicos:

- Realizar una selección de especies representativas de las formaciones vegetales de bosque montano.
- Describir las principales características morfológicas y aportar fotografías de los granos de polen de las especies y familias más representativas o relevantes de la flora insular.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio

El material vegetal objeto de este estudio, empleado para la extracción y tratamiento de los pólenes presentados en este trabajo, fue obtenido durante el mes de junio de 2021, en las islas de São Tomé y Príncipe (STP, en adelante).

El material polínico obtenido (ver punto 2.3) procede de muestras herborizadas que conforman la colección del Herbário Nacional de São Tomé y Príncipe, (STPH), creado en el ámbito del proyecto europeo ECOFAC (Programa Regional de conservação e valorização dos ECOsistemas Florestais da Africa Central), en el año 1994 (<https://www.uc.pt/>). La abreviatura del herbario, STPH, sigue la nomenclatura del Jardín Botánico de Nueva York (Thiers, 2022, actualización continua).

Un total de 62 muestras, 44 correspondientes a la isla de São Tomé (ST 1-ST 44) y 18 a la isla de Príncipe (PRI 1-PRI 18), fueron inicialmente seleccionadas para la confección del presente trabajo. Todas las muestras corresponden a pliegos de plantas vasculares (Tabla 4), recolectadas en el archipiélago entre los años 1994 y 2019, especialmente en el periodo comprendido entre 1993-1998, años en los que el estudio de la flora del archipiélago en el marco del programa ECOFAC se llevó a cabo activamente, inventariándose hasta 1896 pliegos de herbario (Lejoly, 2000), por diversos recolectores y recolectoras, entre ellos personas que han contribuido notablemente al estudio de la flora vascular del Golfo de Guinea, tales como Joffroy, Lejoly, Matos y Oliveira, entre otros.



Figura 3: Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe (HSTP). Fotografía: ACB.

Tabla 4: Relación de los pliegos de herbario (ID y código de la muestra en el herbario HSTP) y las especies inicialmente seleccionadas para su inclusión en el atlas. ID: número asignado a la muestra para su

tratamiento en el laboratorio; Herbarium code: código original de la etiqueta del pliego; Año: año de recolección. Siglas: EBP: equipa Botânica do Príncipe; TriPri: Príncipe Transects *et al.*; JG: Joffroy, G.; FO: Faustino de Oliveira.

ID	Herbarium code	AÑO	Familia	Especie
PRI_1	EBP 44	2016	Rubiaceae	<i>Bertiera racemosa</i>
PRI_2	EBP 78	2017	Rubiaceae	<i>Trichostachys aurea</i>
PRI_3	TrPri 374	2019	Rubiaceae	<i>Tarenna principensis</i>
PRI_4	EBP 405	2019	Melastomataceae	<i>Memecylon</i> sp
PRI_5	EBP 97	2017	Costaceae	<i>Costus giganteus</i>
PRI_6	EBP 77	2016	Rubiaceae	<i>Mussaenda tenuiflora</i>
PRI_7	EBP 108	2017	Apocynaceae	<i>Funtumia africana</i>
PRI_8	EBP 43		Cyperaceae	<i>Principina grandis</i>
PRI_9	DD 29		Ochnaceae	<i>Campylospermum nutans</i>
PRI_10	EBP 80		Ochnaceae	<i>Campylospermum vogelii</i>
PRI_11	EBP 228	2018	Phyllanthaceae	<i>Protomegabaria stapfiana</i>
PRI_12	EBP 237	2018	Phyllanthaceae	<i>Thecacoris stenopetala</i>
PRI_13	EBP 238		Primulaceae	<i>Ardisia staudtii</i>
PRI_14	DD 97		Ochnaceae	<i>Campylospermum reticulatum</i>
PRI_15	DD 22		Begoniaceae	<i>Begonia ampla</i>
PRI_16	DD 47		Dilleniaceae	<i>Tetracera alnifolia</i>
PRI_17	DD 23		Melastomataceae	<i>Tristemma albiflorum</i>
PRI_18	DD 57		Rubiaceae	<i>Ecpoma gigantostipulum</i>
ST_1	97/352	1997	Rubiaceae	<i>Craterispermum montanum</i>
ST_2	JG 71	1999	Rubiaceae	<i>Oxyanthus speciosus</i>
ST_3	7584	1999	Rubiaceae	<i>Canthium cordatum</i>
ST_4	FO 154	2009	Rubiaceae	<i>Sabicea ingrata *insularis</i>
ST_5			Rubiaceae	<i>Pavetta monticola</i>
ST_6			Rubiaceae	<i>Psychotria subobliqua</i>
ST_7	7484	1994	Rubiaceae	<i>Psychotria peduncularis</i>
ST_8	95/2	1995	Rubiaceae	<i>Psychotria nubicola</i>
ST_9	310	1997	Rubiaceae	<i>Pauridiantha floribunda</i>
ST_10		2009	Rubiaceae	<i>Chassalia doniana</i>
ST_11		2009	Rubiaceae	<i>Sabicea excelli</i>
ST_12	7377	1994	Rubiaceae	<i>Cinchona ledgeriana</i>
ST_13			Rubiaceae	<i>Ecpoma cauliflorum</i>
ST_14		2004	Rubiaceae	<i>Geophylla repens</i>
ST_15	FO 885	2004	Euphorbiaceae	<i>Discoclaoxylon occidentale</i>
ST_16	FO 3		Euphorbiaceae	<i>Pseudogrostistachys africana</i>
ST_17	FO 858	2004	Euphorbiaceae	<i>Erythrococa molleri</i>
ST_18	FO 1246	2008	Apocynaceae	<i>Tabernaemontanum stenosphon</i>
ST_19			Apocynaceae	<i>Rauvolfia dichotoma</i>
ST_20			Meliaceae	<i>Trichilia grandifolia</i>
ST_21			Meliaceae	<i>Carapa gogo</i>
ST_22			Oleaceae	<i>Olea capense</i>
ST_23		2004	Balsaminaceae	<i>Impatiens bucinalis</i>
ST_24	7485	1994	Begoniaceae	<i>Begonia baccata</i>
ST_25	FO 137/98	1998	Piperaceae	<i>Piper umbellatum</i>
ST_26	607	1998	Sapotaceae	<i>Gambeya</i> sp.
ST_27			Melastomataceae	<i>Calvoa crassinoda</i>
ST_28			Commelinaceae	<i>Palisota pedicellata</i>
ST_29	311	1997	Anacardiaceae	<i>Pseudospondias microcarpa</i>
ST_30		1994	Thymelaeaceae	<i>Peddiea thomensis</i>
ST_31			Lecythidaceae	<i>Scypetalum kamerunianum</i>
ST_32	251	1997	Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>
ST_33			Ulmaceae	<i>Trema orientalis</i>
ST_34			Salicaceae	<i>Homalium henriquesii</i>
ST_35	JG_172	1999	Ericaceae	<i>Erica thomensis</i>
ST_36	7332	1994	Podocarpaceae	<i>Podocarpus manii</i>
ST_37	7359	1994	Gentianaceae	<i>Anthocleista scandens</i>

ST_38	137	1997	Acantaceae	<i>Heteradelphia paulowilhelmia</i>
ST_39	94/514	1994	Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i>
ST_40	7685	1994	Sapindaceae	<i>Chytranthus manii</i>
ST_41			Verbenaceae	<i>Clerodendrum silvanum</i>
ST_42			Solanaceae	<i>Solanum terminal</i>
ST_43	JG_115	1999	Solanaceae	<i>Cestrum levigatum</i>
ST_44	97/253	1997	Myrsinaceae	<i>Rapanea melanophloeos</i>

2. 2 Selección de muestras de herbario

La selección inicial de los ejemplares de herbario escogidos para su inclusión en el atlas polínico se realizó en base a los siguientes criterios:

1. Relevancia del taxa para la flora del archipiélago.
 - 1.1 Importancia de las especies en la composición del bosque primario, como indicadoras de su conservación (endemismos o especies nativas) y/o alteración (especies introducidas).
 - 1.2 Representación de las principales familias del archipiélago en términos de endemicidad y abundancia en especies.
2. Especies vegetales cuyo material polínico no se encuentra representado en otros trabajos de atlas polínicos africanos (en especial, los pertenecientes a especies endémicas del archipiélago).
3. Disponibilidad de pliegos y material suficiente en las colecciones de herbario.
4. Tamaño adecuado de muestreo.
5. Aplicaciones futuras.

2.2.1 Terminología para la descripción palinológica

La terminología empleada para las descripciones de granos de polen es la propuesta por Punt *et al.* (2007), en concordancia con la literatura de referencia empleada en este trabajo (Gosling, Miller & Livingstone, 2013; Schüler & Hemp, 2016; Adojoh *et al.*, 2019). Debido a la confusión que puede originarse debido a la traducción de los términos anglosajones correspondientes a forma y contorno, siguiendo a Punt *et al.* (2007), la forma del polen se define en clases que atienden a la relación P/E (ratio entre el eje polar (P) y el diámetro ecuatorial (E) de un grano de polen), Erdtman (1952). El contorno, en cambio, puede definirse en vista polar (vp, en adelante), “amb”, o en vista ecuatorial, (ve, en adelante) “shape”, en este trabajo se sigue la nomenclatura propuesta por Reitsma (1970).

2.2.2 Nomenclatura de las especies

La nomenclatura a nivel de especie ha sido revisada y actualizada acorde a la información contenida en la base de datos African Plant Database (APD, v3.4.0). Algunos de los taxa han sido sometidos a cambios nomenclaturales (Tabla 5) con respecto a los nombres asignados originalmente en sus respectivos pliegos de herbario (etiquetas identificativas), las actualizaciones se indican en la tabla 7, donde se agrupan por familias en orden alfabético, tal y como se presenta en las láminas (“plates”) resultantes. Con respecto a las modificaciones taxonómicas a nivel de familia (en 8 de las muestras) se tuvo en consideración la información de African Plant Database (APD, v3.4.0) y Tropicos (Tropicos v3.3.2). En los casos en los que no se dio la misma asignación (diferente familia) para el taxa en cuestión, prevaleció la asignación dada por esta última (Tropicos), siguiendo recomendaciones del equipo del Proyecto Flora Ameaçada de STP con el fin de unificar criterios (Tabla 6). Asimismo, la relación de tipos polínicos que conforman este trabajo se indica en la tabla 7, donde, para cada taxa se indica: nombre, familia y número asignado a lámina en la que se ubican sus imágenes correspondientes.

Tabla 5: Relación de taxa con modificaciones nomenclaturales (a nivel de género y/o especie) con respecto a los pliegos de herbario. En la columna 1 (de izquierda a derecha) se muestran los nombres aceptados, en la columna 2, las sinonimias antiguas y en la columna 3, la fuente de la que se saca la información. APD: African Plant Database.

Nombre aceptado	Sinonimia (herbario)	Fuente
<i>Campylospermum costatum</i> (Tiegh.) Biss., comb. nov	<i>Campylospermum vogelii</i>	Bissiengou <i>et al.</i> (2013)
<i>Campylospermum andongensis</i> (Hiern) Biss., comb. nov.	<i>Campylospermum reticulatum</i>	Bissiengou <i>et al.</i> (2013)
<i>Rauvolfia vomitoria</i>	<i>Rauvolfia dichotoma</i>	APD
<i>Afrocarpus mannii</i>	<i>Podocarpus mannii</i>	APD
<i>Paulo-wilhelmia nobilis</i>	<i>Heteradelphina paulowilhelmia</i>	APD
<i>Cinchona calisaya</i>	<i>Cinchona ledgeriana</i>	APD
<i>Sabicea</i>	<i>Ecpoma</i>	APD

Tabla 6: Relación de taxa con modificaciones nomenclaturales a nivel de familia con respecto a las etiquetas identificativas de los pliegos de herbario. En la columna 1 se muestran los nombres aceptados, en la 2, la familia asignada en este trabajo, en la columna 3, Tropicos, y en la columna 4, la asignación dada por African Plant Database (APD).

Especie	Familia asignada	Tropicos	APD
<i>Costus giganteus</i>	Costaceae	Costaceae	Zingiberaceae
<i>Trema orientalis</i>	Cannabaceae	Cannabaceae	Ulmaceae
<i>Anthocleista scandens</i>	Gentianaceae	Gentianaceae	Loganiaceae
<i>Clerodendrum silvanum</i>	Lamiaceae	Lamiaceae	Verbenaceae

<i>Scytopetalum klaineianum</i>	Lecythidaceae	Lecythidaceae	Scytopetalaceae
<i>Protomegabaria stapfiana</i>	Phyllanthaceae	Phyllanthaceae	Euphorbiaceae
<i>Ardisia staudtii</i>	Primulaceae	Primulaceae	Myrsinaceae
<i>Rapanea melanophloeos</i>	Primulaceae	Primulaceae	Myrsinaceae

Tabla 7: Relación de los taxa (con material polínico) que conforman las láminas del atlas.

Los taxa se presentan ordenados alfabéticamente por familia (columna 1), género y especie (columna 2) y se les asigna su lámina correspondiente (columna 3), siguiendo a Gosling, Miller & Livingstone (2013).

(*) Familias no representadas en las láminas debido a la ausencia de material polínico (pólenes ausentes) con sus respectivas especies sombreadas en gris. En azul se resaltan las familias muestreadas conformadas únicamente por especies introducidas.

Familia	Especie	Lámina
Acantaceae	<i>Paulo-wilhelmia nobilis</i>	I
Anacardiaceae	<i>Pseudospondias microcarpa</i>	I
Apocynaceae	<i>Funtumia africana</i>	I
	<i>Rauvolfia vomitoria</i>	I
	<i>Tabernaemontana stenosiphon</i>	I
Balsaminaceae	<i>Impatiens buccinalis</i>	II
Begoniaceae	<i>Begonia ampla</i>	-
	<i>Begonia baccata</i>	II
Cannabaceae*	<i>Trema orientalis</i>	-
Commelinaceae	<i>Palisota pedicellata</i>	II
Costaceae*	<i>Costus giganteus</i>	-
Cyperaceae	<i>Principina grandis</i>	II
Dilleniaceae*	<i>Tetracera alnifolia</i>	-
Ericaceae	<i>Erica thomensis</i>	II
Euphorbiaceae	<i>Erythrococca molleri</i>	III
	<i>Pseudagrostistachys africana</i>	III
Gentianaceae	<i>Anthocleista scandens</i>	III
Lamiaceae	<i>Clerodendrum silvanum</i>	III
Lecythidaceae	<i>Scytopetalum klaineianum</i>	III
Melastomataceae	<i>Calvoa crassinoda</i>	IV
	<i>Memecylon</i> sp.	IV
	<i>Tristemma albiflorum</i>	Suplementaria II
Meliaceae	<i>Carapa gogo</i>	IV
	<i>Trichilia grandifolia</i>	IV
Ochnaceae	<i>Campylospermum andongensis</i>	IV
	<i>Campylospermum costatum</i>	-
	<i>Campylospermum nutans</i>	IV
Oleaceae	<i>Olea capensis</i>	V
Phyllanthaceae	<i>Protomegabaria stapfiana</i>	V
	<i>Thecacoris stenopetala</i>	V
Piperaceae	<i>Piper umbellatum</i>	Suplementaria I
Podocarpaceae	<i>Afrocarpus mannii</i>	V
Primulaceae	<i>Ardisia staudtii</i>	V
	<i>Rapanea melanophloeos</i>	V
Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>	Suplementaria I
Rubiaceae	<i>Bertiera racemosa</i>	VI
	<i>Canthium cordatum</i>	Suplementaria I
	<i>Chassalia doniana</i>	VI
	<i>Craterispermum montanum</i>	VI
	<i>Cinchona calisaya</i>	Suplementaria I
	<i>Geophila repens</i>	Suplementaria I
	<i>Mussaenda tenuiflora</i>	VI
	<i>Oxyanthus speciosus</i>	VI
	<i>Pauridiantha floribunda</i>	VI
	<i>Pavetta monticola</i>	VII
	<i>Psychotria nubicola</i>	VII

	<i>Psychotria peduncularis</i>	VII
	<i>Psychotria subobliqua</i>	VII
	<i>Sabicea cauliflora</i>	Suplementaria II
	<i>Sabicea exellii</i>	VIII
	<i>Sabicea gigantostipula</i>	VIII
	<i>Sabicea ingrata</i>	VIII
	<i>Tarenna principensis</i>	VIII
	<i>Trichostachys aurea</i>	Suplementaria II
Salicaceae	<i>Homalium henriquesii</i>	VIII
Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i>	VIII
	<i>Chytranthus mannii</i>	VIII
Sapotaceae	<i>Gambeya</i> sp.	VIII
Solanaceae	<i>Cestrum laevigatum</i>	Suplementaria I
	<i>Solanum terminale</i>	-
Thymelaeaceae*	<i>Peddiea thomensis</i>	-

2.2.3 Distribución y hábitat

Los datos relativos a la distribución y hábitat de las especies siguen a Figueiredo *et al.* (2011), para la familia Rubiaceae se sigue, además, a Davis & Figueiredo (2007), para las especies no incluidas en esta “checklist” (año 2011) se ha utilizado la información disponible en African Plant Database (APD) y en Plants of the World on Line (POWO). La relación de taxa que no sigue estas autorías se indica en la tabla 8. Los datos referentes al origen de los taxa siguen el criterio de esta autoría (Figura 11), bajo el término endémico se consideran aquellos taxa exclusivos de ambas islas (E), si se distribuyen además de en STP en Annobón, Bioko y/o en el resto de Guinea Ecuatorial continental se consideran nativos (N), mientras que se consideran introducidas aquellas especies de las que se tienen registros de su introducción (I).

Tabla 8: Relación de taxa cuyos datos de origen y hábitat se han obtenido de otras fuentes bibliográficas (no incluidos en Figueiredo *et al.*, 2011, APD, ni POWO).

Taxa	Autoría
<i>Campylopermum</i>	Bissiengou <i>et al.</i> (2013)
<i>Carapa gogo</i>	Kenfack (2011)
<i>Homalium henriquesii</i>	Sleumer (1973)
<i>Principina grandis</i>	Mesterházy & Browning (2014)

2.2.4 Categorías de amenaza

Debido a la falta de un catálogo, reporte o listado nacional oficial actualizado de especies amenazadas para la región, las categorías de amenaza asignadas a las especies endémicas en este trabajo representadas se basan en la información contenida en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (<https://www.iucnredlist.org>, IUCN, 2022) y en los datos disponibles en el momento de redacción de la presente memoria (Red List data book of the plant species endemic to Sao Tomé and Príncipe, Stévant *et al.*, 2022, en prep.

https://gdauby.github.io/saothreath_book/sp-list.html), tabla 9. Acorde a esta lista roja de especies amenazadas, las categorías son nueve, de menor a mayor amenaza: no evaluado (Not Evaluated, NE), datos insuficientes (Data Deficient, DD), menor preocupación (Least Concern, LC), casi amenazado (Near Threatened, NT), vulnerable (Vulnerable, VU), amenazado (Endangered, EN), críticamente amenazado (Critically Endangered, CR), extinto en la naturaleza (Extinct in the Wild, EW) y extinto (Extinct EX).

Tabla 9: Relación de taxa representados en el atlas evaluados y asignados a alguna de las categorías de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN.

En negrita se resaltan las especies endémicas; en rojo se resaltan las categorías CR y EN; en la columna “evaluación” se indican la fecha correspondiente a los datos de evaluación de la especie (IUCN RedList), aún no evaluadas en el marco del proyecto en curso.

Familia	TAXA	Categoría	Evaluación
Acantaceae	<i>Paulo-wilhelmia nobilis</i>	VU	
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana stenosphon</i>	LC	
Balsaminaceae	<i>Impatiens buccinalis</i>	EN	
Begoniaceae	<i>Begonia baccata</i>	LC	
Commelinaceae	<i>Palisota pedicellata</i>	LC	
Cyperaceae	<i>Principina grandis</i>	EN	(2021)
Ericaceae	<i>Erica thomensis</i>	CR	
Euphorbiaceae	<i>Erythrococca mollerii</i>	NT	(1998)
Euphorbiaceae	<i>Pseudagrostistachys africana</i>	VU	(2004)
Meliaceae	<i>Carapa gogo</i>	VU	
Meliaceae	<i>Trichilia grandifolia</i>	NT	(1998)
Podocarpaceae	<i>Afrocarpus mannii</i>	EN	
Rubiaceae	<i>Chassalia doniana</i>	V	(2021)
Rubiaceae	<i>Mussaenda tenuiflora</i>	DD	
Rubiaceae	<i>Psychotria nubicola</i>	EN	(2021)
Rubiaceae	<i>Sabicea exellii</i>	EN	(2021)
Rubiaceae	<i>Sabicea ingrata</i>	LC	(2021)
Rubiaceae	<i>Tarenna principensis</i>	EN	(2021)
Salicaceae	<i>Homalium henriquesii</i>	DD	(2021)
Sapindaceae	<i>Chytranthus mannii</i>	DD	(2020)

2.3 Procesado de muestras para análisis polínico

Las muestras recogidas en el herbario de origen (HSTP) fueron transportadas al laboratorio de ecología del Instituto Universitario de Enfermedades Tropicales y Salud Pública de Canarias, La Laguna (Tenerife) y conservadas en frío (4°C) por un tiempo inferior a un mes en bolsas de plástico con cierre hermético.

El protocolo empleado para la obtención de granos de polen y láminas polínicas de referencia, debido a la escasez y a la fragilidad del material vegetal disponible, siguió el método de acetólisis modificada propuesta por R.G. West en *Pleistocene Geology and Biology* (1968) (Tabla 10).

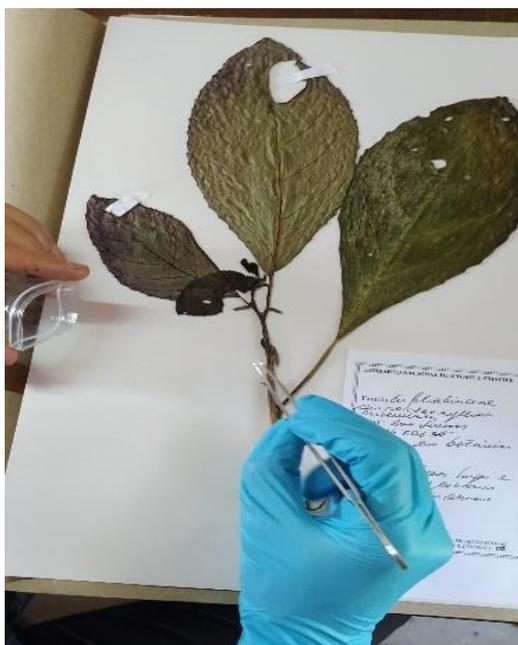


Figura 4: Obtención de muestras de pliegos de la colección del Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe. Fotografía: ACB.

2.3.1 Acetólisis

La acetólisis se basa en el tratamiento de las muestras con una mezcla de ácidos, ácido acético glacial y ácido sulfúrico, para la eliminación de protoplasma, intina y celulosa (principal componente de restos de flores y hojas), con el fin de permitir la observación de la exina (capa externa) y los detalles de su ornamentación (Erdtman, 1960). La acetólisis es un método indispensable para el estudio de los granos de polen con microscopía óptica (Hesse *et al.*, 2009), la desventaja es que, además de eliminar estructuras interesantes como la intina, deforma algo los granos de polen, algunos pólenes de cubiertas lábiles pueden llegar a quedarse muy deformados por arrugas y contracciones (Pla Dalmáu, 1957).

En este trabajo, para la obtención de las muestras de polen se utilizó un método de acetólisis modificada, con el fin de evitar la destrucción de los granos de polen por exceso de corrosividad que aportan técnicas como la acetólisis clásica de Erdtman (1960) (González & Mosquera, 2016). El protocolo empleado para el tratamiento de muestras y obtención de polen consistió en una acetólisis adaptada de R.G. West (1968), en la que las proporciones de la mezcla de ácidos varían ligeramente con respecto al método propuesto por Erdtman (1960) (Tabla 10).

Tabla 10: Protocolo de tratamiento de muestras por medio de hidrólisis ácida de membranas (acetólisis), adaptada de R.G. West (1968).

PROTOCOLO DE ACETÓLISIS (Adaptado de R. G. West, 1968)	
<p>Paso 1. Preparación de las muestras.</p> <p>Del material de herbario se extraen restos de corolas, estambres o sépalos y se introducen en tubos de centrífuga (pueden ser ligeramente hidratados con agua destilada).</p>	<p>Objetivo: liberación del material polínico de las anteras para someterlo a tratamiento químico con ácidos.</p>
<p>Paso 2. Tratamiento con mezcla de ácidos.</p> <p>Se añaden 5ml de ácido acético glacial y se agita vigorosamente con varilla metálica (machacado), se añade 1 ml de ácido sulfúrico y se lleva la mezcla a ebullición en baño térmico. Se deja enfriar la mezcla y se añaden 2 ml de ácido acético glacial.</p>	<p>Objetivo: eliminación de restos de materia orgánica y protoplasma de los granos de polen.</p>
<p>Paso 3. Filtrado.</p> <p>La mezcla es sometida a centrifugado y decantación, a continuación, se lava con agua destilada autoclavada.</p>	<p>Objetivo: obtención y separación de los granos de polen.</p>
<p>Paso 4. Tinción.</p> <p>A las disoluciones se les añade 10 μL de safranina.</p>	<p>Objetivo: aumentar el contraste y mejorar la observación de los caracteres morfológicos del polen a MO.</p>
<p>Paso 5. Filtrado.</p> <p>Se centrifuga y decanta la mezcla.</p>	<p>Objetivo: optimización de la obtención de material polínico y separación de los granos de polen.</p>
<p>Paso 6. Deshidratación.</p> <p>Se añaden 5ml de isopropanol a la mezcla.</p>	<p>Objetivo: eliminar exceso de hidratación de los granos de polen para la correcta visualización de los caracteres morfológicos.</p>
<p>Paso 7. Filtrado.</p> <p>Se centrifuga y decanta la mezcla (x2 veces).</p>	<p>Objetivo: separación de los granos de polen obtenidos.</p>
<p>Paso 8. Conservación.</p> <p>Se añade aceite de silicona a los precipitados resultantes.</p>	<p>Objetivo: conservación del material polínico.</p>
<p>Paso 9. Montaje.</p> <p>Se montan las muestras en portaobjetos de vidrio y se sellan con laca de uñas.</p>	<p>Objetivo: preservación a largo plazo de la colección polínica de referencia.</p>



Figura 5: Secuencia de los pasos más relevantes de la preparación de muestras por el método de acetólisis modificada en el laboratorio. Fotografías: RDCA.

1: Preparación de las muestras y depósito en tubos de centrifuga; 2: Mezcla de ácidos (acético glacial y sulfúrico); 3: Calentamiento en baño térmico; 4: Adición de ácido acético; 5: Centrifugado; 6: Lavado con agua destilada; 7: Teñido con safranina; 8: Centrifugado; 9: Preservación de las muestras con aceite de silicona en microtubos.

2.3.2 Montaje en portaobjetos

Los precipitados resultantes de la acetólisis se montaron en aceite de silicona en portaobjetos para su observación al microscopio óptico (MO, en adelante).

El aceite de silicona es un líquido de alta viscosidad que permite montar preparaciones/láminas permanentes (Andersen, 1960). En el presente estudio el montaje de los granos de polen se ha hecho con aceite de silicona debido a la facilidad de la técnica, porque permite un montaje de larga duración y por su ventajoso coste económico. Además, este montaje permite el desplazamiento/rotación de los granos de polen, lo que facilita obtener diferentes vistas, necesarias para las descripciones de los tipos polínicos y la toma de imágenes para la composición de las láminas.



Figura 6: Adición de aceite de silicona a las muestras (izqda.) y montaje en portaobjetos (dcha.). Fotografías: RDCA.

2.4 Obtención y procesado de imágenes

Las preparaciones resultantes han sido estudiadas mediante el uso de microscopía óptica (MO, en adelante) de alta potencia, por ser el método más frecuentemente utilizado (Sáenz, 1978; Erdtman, 1952) para la observación de los principales caracteres utilizados en la descripción de los tipos polínicos. Para la visualización de los tipos polínicos se dispuso de microscopio modelo Leica DM 1000 con cámara digital de alta definición LEICA ICC50 HD, para la captura y almacenamiento de las imágenes, empleadas en el montaje de láminas y descripción de los granos de polen. La relación de escalas y medidas han sido adicionadas por el software de adquisición de imágenes Leica Application Suite LAS EZ 2016 (v.3.4.0), para la confección de figuras (láminas) se empleó el editor de gráficos INKSCAPE (v.1.1).

Todas las fotografías integrantes de las láminas fueron tomadas a 1000x (visualizadas con objetivo 100x y mediante empleo de aceite de inmersión), a las que se han añadido una barra de escala de 10 micrones (μm) para facilitar la visualización de las imágenes.

2.4.1 Organización y presentación de láminas

Tras la elaboración de las láminas fijas de las muestras de polen (portaobjetos) estas se observaron al MO (con aumento 1000x) para la toma de imágenes, medidas y observación de los caracteres morfológicos de los granos de polen.

Las imágenes resultantes (227 microfotografías) se presentan en 10 láminas (cada lámina contiene un mínimo de 3 hasta un máximo de 6 fotos por taxa) con imágenes correspondientes a vistas polares y ecuatoriales en los casos que fue posible obtener

ambas vistas. De éstas, 8 láminas continen los tipos polínicos presentes en cada familia (integradas por una o más especies, en función de los taxa en cuestión); una lámina correspondiente a los taxa que se consideran introducidos en las islas (lámina suplementaria I) y, por último, una lámina correspondiente a tipos polínicos de varias familias (lámina suplementaria II) cuya descripción no fue viable con los granos existentes e imágenes obtenidas.

- Láminas I-VIII: láminas organizadas según orden alfabético por familia y especie, abarcando desde la familia Acanthaceae (A) hasta la Sapotaceae (S).
- Lámina suplementaria I, compuesta por 6 taxa pertenecientes a 4 familias, Piperaceae, Rosaceae, Rubiaceae (3) y Solanaceae.
- Lámina suplementaria II, compuesta por 3 taxa correspondientes a 2 familias, Melastomataceae (1) y Rubiaceae (2).

Las láminas resultantes se componen de las imágenes del grano (o de los granos) de polen mejor preservado/s o que brinda/n el mejor detalle del carácter/caracteres o información relevante para la descripción morfológica, si bien el resto de imágenes no incluidas en las láminas han permitido la caracterización de los granos de polen, así como sus mediciones.

2.4.2 Categorización de muestras según abundancia y preservación

El escaneo visual de las preparaciones permite el conteo de los granos de polen. Según el número total de granos, se asigna a cada preparación una categoría (ver Resultados), teniendo en cuenta el número de granos de polen presentes en la preparación (portaobjetos) o, en el caso de haberse repetido, del sumatorio de granos de polen de todas las preparaciones. Se han contabilizado los granos que presentan condiciones óptimas de preservación (no degradados, plegados o con lisis de membrana) para la definición de sus caracteres morfológicos. En muestras con abundante concentración de polen (más de 10 granos de polen) se procedió a tomar fotografías en un solo portaobjetos mientras que en muestras con escasa (o nula) concentración se procedió al montado y escaneo visual (cada mm) de hasta 3 portaobjetos o, en su defecto, hasta agotar el contenido del precipitado resultante de la preparación de la muestra en cuestión.

Los taxa de la lámina suplementaria II muestran las mejores fotos obtenidas para las muestras en cuestión, pero el contenido (de 1 a 2 granos de polen) o estado de preservación ha sido insuficiente para proporcionar una descripción de los caracteres morfológicos de los mismos. Las muestras correspondientes a estos taxa fueron montadas

dos veces cada una (repeticiones determinadas por la cantidad de precipitado resultante) con el objetivo de intentar representar en el atlas el tipo polínico.

Los taxa que no han sido incluidos en el atlas (8) son aquellas muestras de herbario, categorizadas como ausentes (ver Resultados) cuyas preparaciones resultantes no contenían material polínico y fueron montadas hasta tres veces cada una, sin obtenerse resultados. Las preparaciones de material categorizado como escaso (menos de 5 granos de polen) fueron montadas dos veces cada una, para verificar la inexistencia de contenido en granos de polen. Las preparaciones de las muestras no se pudieron repetir un mayor número de veces debido a la escasez, en términos generales, del material vegetal disponible, por lo que finalmente fueron montadas un total de 99 muestras (preparaciones en portaobjetos) para la confección de este atlas.

La colección de polen, consistente en los portaobjetos con los granos de polen, debidamente identificados, se almacenó en el Laboratorio de Ecología de la Universidad de La Laguna.

3. Resultados

3.1 Tabla de atributos

En la tabla 10 se detalla una relación de 51 descripciones, correspondientes a las muestras con contenido polínico suficiente para realizar las mismas, es decir, se excluyen los taxa cuyas preparaciones no contenían granos de polen (8) y los taxa con contenido insuficiente (3) para brindar descripciones (ver: lámina suplementaria II).

La descripción de los granos de polen observados incluye: polaridad, simetría, forma (relación P/E), contorno (“amb” y “shape”), tipo y número de aperturas, dimensión del grano de polen (tamaño en vp y ve), exina (grosor y/o elementos ornamentales), así como la unidad de dispersión de los mismos. Para cada especie se toma el número de granos de polen (N) obtenidos de las preparaciones resultantes, atendiendo a la categorización dada, las muestras abundantes, con más de 10 granos de polen (19) brindan las descripciones más completas, en las que se toman 10 granos de polen para la descripción de cada uno de los caracteres, en vista polar y ecuatorial, siempre que fue posible. Para el resto de categorías, se indica el número de granos de polen (N) empleados para la descripción de sus caracteres, así como el número de granos observados en vista polar (vp) y en vista ecuatorial (ve). En la tabla además, se asigna el ID_Lab Muestra, es decir, el código de muestra asociado al taxa, organizada en este orden además de indicar la lámina en la que se representa.

Tabla 11: Descripción de los principales caracteres morfológicos del polen obtenido de pliegos de herbario del Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe. Se marcan en azul los taxa correspondientes a especies introducidas. Lám: lámina; Supl I: lámina suplementaria I.

ID_Lab Muestra	Familia	Especie	Unidad de dispersión	Polaridad	Simetría	Forma ratio (P/E) (Erdtman, 1943)	Contorno "Amb" (vp) (Erdtman,1952)	Contorno "Shape" (ve) (Reitsma,1970)	Aperturas	Exina	Vista polar, vp (µm)	Vista ecuatorial, ve (µm)	Exina (grosor)	N (vp,ve)	Lám
ST1	Rubiaceae	<i>Craterispermum montanum</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Circular-Triangular convexo	-	3/4-colporado	Reticulado (micro)	21,32-19,26 (20,29)	24,60-12,49 (18,45)	<1 0,91	6 (5,1)	VI
ST2	Rubiaceae	<i>Oxyanthus speciosus</i>	Tétrada	-	-	-	Elíptico-subcircular (Unidad)	Elíptico-rectangular (Unidad)	3-porado	Reticulado (micro)	30,057-29,32 (29,69 Tétrada)	29,94-26,38 (28,16 Tétrada)	<1 0,83	6 (3,3)	VI
ST3	Rubiaceae	<i>Canthium cordatum</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Circular	Circular-elíptico	3-porado	Reticulado – Clavado	37,256-34,70 (35,98)	32,75-27,59 (30,17)	>1 1,53	10 (7,3)	Supl I
ST4	Rubiaceae	<i>Sabicea ingrata *insularis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Subcircular-elíptico	Elíptico-rectangular	4-colporado	Reticulado (micro)	19,60-16,14 (17,87)	20,29-10,44 (15,36)	<1 0,93	6 (6,3)	VIII
ST5	Rubiaceae	<i>Pavetta monticola</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Subprolado	Triangular-subcircular	Subcircular-elíptico	3-colporado	Reticulado	23,13-21,53 (22,33)	23,67-18,03 (20,85)	<1 0,93	10 (3,8)	VII
ST6	Rubiaceae	<i>Psychotria suboblíqua</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Sub-circular	-	4-colpado	Reticulado	59,14-53,11 (56,11)	50,63-43,91 (47,27)	<1 0,80	10 (10,-)	VII
ST7	Rubiaceae	<i>Psychotria peduncularis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Elíptico	Elíptico-rómbico	3-colpado	Reticulado	65,49-56,94 (61,21)	38,20-26,18 (32,19)	≥2 2,00	5 (3,2)	VII
ST8	Rubiaceae	<i>Psychotria nubicola</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Sub-circular-elíptico	Elíptico-rómbico-obtuso	4-colpado	Reticulado	64,67-57,81 (61,24)	60,54-42,31 (51,42)	≥2,43	5 (3,2)	VII
ST9	Rubiaceae	<i>Pauridiantha floribunda</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Circular	Elíptico	3-colporado	Reticulado	15,3-14,66 (14,98)	14,71-11,58 (13,14)	<1 0,96	10 (8,2)	VI
ST10	Rubiaceae	<i>Chassalia doniana</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Subcircular-cuadrangular-obtuso	Elíptico	4-colpado	Reticulado	57,03-47,63 (52,33)	40,57-22,05 (20,87)	>1 1,06	5 (2,3)	VI
ST11	Rubiaceae	<i>Sabicea excelli</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Circular	-	3/4-colpado	Reticulado	21,99-20,46 (21,22)	-	=1 1,00	6 (6,-)	VIII
ST12	Rubiaceae	<i>Cinchona calisaya</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Suboblado	Circular	Elíptico	3-colporado	Reticulado (micro)	22,72-20,84 (21,78)	19,11-14,60 (16,86)	<1 0,85	10 (5,5)	Supl I
ST 14	Rubiaceae	<i>Geophila repens</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Triangular	Elíptico-rectangular	3-colpado	Rugulado	34,62-29,06 (31,84)	32,24-13,6 (22,92)	>1 1,5	5 (4,1)	Supl I
ST16	Euphorbiaceae	<i>Pseudagrostistachys africana</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	-	Elíptico	4-colporado	Reticulado	-	20,92-13,29 (17,10)	<1 0,56	5 (-,5)	III
ST17	Euphorbiaceae	<i>Erythrococca molleri</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Circular	Elíptico	4-colporado	Reticulado	16,22-15,68 (15,95)	18,40-12,67 (15,53)	=1 1,01	10 (10,10)	III
ST18	Apocynaceae	<i>Tabernaemontana stenosphon</i>	Mónada	Isopolar-subisopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Subcircular	Circular-subcircular	3-colporado	Psilado - Escábrido	27,67-24,25 (25,96)	28,01-25,55 (26,78)	<1 0,41	3 (1,2)	I
ST19	Apocynaceae	<i>Rauwolfia vomitoria</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Circular	-	3-colporado (con margo)	Psilado - Escábrido	52,78-43,96 (48,37)	37,43-20,45 (28,94)	≥1 1,44	4 (3,1)	I

ST20	Meliaceae	<i>Trichilia grandifolia</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Circular	Circular-subcircular	4-colporado	Psilado-Escábrido	32,43-34,49 (33,46)	36,16-32,34 (34,25)	≥1 1,55	4 (1,4)	IV
ST21	Meliaceae	<i>Carapa gogo</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	-	Circular	4-colporado	Verrucoso	-	21,96-20,39 (21,17)	<1 0,98	4 (-,4)	IV
ST22	Oleaceae	<i>Olea capensis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Suboblado	Circular	Elíptico-circular	3-colpado	Reticulado (tectum parcial, con columelas)	17,88-16,99 (17,43)	18,28-15,34 (16,81)	≥1 1,19	10 (10,4)	V
ST23	Balsaminaceae	<i>Impatiens buccinalis</i>	Mónada	Isopolar	Bilateral	-	Rectangular	-	4-colpado	Reticulado	37,78-19,78 (28,78)	-	<1 0,77	4 (4,-)	II
ST24	Begoniaceae	<i>Begonia baccata</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Circular	Elíptico	3-colporado	Estriado	11,70-10,94 (11,33)	15,85-8,64 (12,25)	<1 0,91	10 (4,10)	II
ST25	Piperaceae	<i>Piper umbellatum</i>	Mónada	Apolar	Asimétrico	Esférico	Subcircular	-	Inaperturado	Escábrido	D1: 10,05 D2: 8,61 X̄: 9,33446	-	<1 0,572	10	Supl I
ST26	Sapotaceae	<i>Gambeya</i> sp.	Mónada	Polar	Radial	Prolado	-	Elíptico	4-colporado	Psilado	-	25,2-14,43 (19,81)	<1 0,97	5 (-,5)	VIII
ST27	Melastomataceae	<i>Calvoa crassinoda</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Subcircular-triangular	Elíptico	Heterocolpado (3-poros, 6 colpos)	Psilado	24,06-22,75 (23,41)	28,69-17,13 (22,91)	>1 1,76	10 (10,10)	IV
ST28	Commelinaceae	<i>Palisota pedicellata</i>	Mónada	Heteropolar	Bilateral	Prolado	-	Rómbico-rectangular	1-sulcado	Escábrido (ligeramente)	-	31,90-16,62 (24,25)	<1 0,88	6 (-,6)	II
ST29	Anacardiaceae	<i>Pseudospondias microcarpa</i>	Mónada	Isopolar-subisopolar	Radial	Prolado	Subcircular	Elíptico	3-colporado	Psilado	16,45-14,83 (15,64)	20,01-11,87 (15,98)	=1 1,00	5 (2,5)	I
ST31	Lecythidaceae	<i>Scytopetalum klaineianum</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Subcircular-triangular	Elíptico-circular	3-colpado	Reticulado	24,58-23,49 (24,03)	19,65-17,41 (18,53)	>2 2,13	5 (4,1)	III
ST32	Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Circular	Elíptico	3-colporado	Rugulado	15,74-14,94 (15,34)	29,24-16,88 (23,06)	<1 0,83	5 (2,3)	Supl I
ST34	Salicaceae	<i>Homalium henriquesii</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Subcircular	Elíptico	3-colporado	Reticulado	15,14-13,64 (14,39)	17,17-11,59 (14,38)	>1 1,14	5 (2,5)	VIII
ST35	Ericaceae	<i>Erica thomensis</i>	Tétrada	-	-	-	Circular-Elíptico (unidad)	Elíptico (unidad)	3-colporado	Escábrido	18,93-10,22 (14,58)	19,89-13,15 (16,52)	>1 1,25	10 (9,2)	II
ST36	Podocarpaceae	<i>Afrocarpus manii</i>	Mónada	Heteropolar	Bilateral (bisacado)	-	Subcircular-rómbico (corpus)	Elíptico-rómbico (corpus)	1-leptomado	Escábrido-Verrucoso (sacci: reticulado)	Corpus Largo: 26,7-19,99 (23,48) Ancho: 17,11-12,36 (15,57)	Longitud total (corpus + sacci): 44,79-34,05 (40,024)	1,75	5 (4,5)	V
ST37	Gentianaceae	<i>Anthocleista scandens</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Circular	Circular	3-porado	Verrucoso	30,05-28,23 (29,14)	26,55-24,39 (25,47)	>1 1,87	10 (9,5)	III
ST38	Acantaceae	<i>Paulo-wilhelmia nobilis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	-	Elíptico	Heterocolpado (2-colpos, 8 pseudocolpos)	Reticulado	88,95-51,06 (70,00)	-	>3 3,5	10 (-,10)	I
ST39	Sapindaceae	<i>Allophylus africanus</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Peroblado	Triangular	Elíptico	3-porado	Estriado	21,82-19,63 (20,72)	19,57-7,46 (13,52)	<1 0,97	10 (8,6)	VIII
ST40	Sapindaceae	<i>Chytranthus manii</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Subcircular-subtriangular	Subcircular-elíptico	3-porado	Rugulado	24,42-23,33 (23,88)	22,73-20,93 (21,83)	>1 1,07	6 (1,5)	VIII

ST 41	Lamiaceae	<i>Clerodendrum silvanum</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Esferooidal	Circular	Circular	3-colpado	Equinulado (espínulas < 1,3)	38,22-36,96 (37,59)	33,21-32,26 (32,73)	>1 1,07	10 (10,3)	III
ST43	Solanaceae	<i>Cestrum laevigatum</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Esferooidal	Circular	Circular	3-colporado (endocíngulo)	Rugulado	30,07-29,51 (29,79)	24,91-24,47 (24,69)	>1 1,23	5 (3,2)	Supl I
ST44	Primulaceae	<i>Rapanea melanophloeos</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Circular-subcircular	-	4-colpado	Reticulado (micro<1)	23,67-22,21 (22,94)	-	>1 1,32	5 (5,-)	V
PRI1	Rubiaceae	<i>Bertiera racemosa</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Circular-subcircular	-	3-porado	Reticulado	21,25-20,34 (20,79)	-	>1 1,32	10 (10,-)	VI
PRI3	Rubiaceae	<i>Tarenna principensis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Suboblado	Circular	Subcircular elíptico	3-colporado	Reticulado	17,48-16,64 (17,06)	16,8--14,23 (15,52)	<1 0,91	5 (5,3)	VIII
PRI4	Melastomataceae	<i>Memecylon</i> sp.	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Subcircular-	Elíptico	Heterocolpado (6 colpos)	Psilado	10,24-10,06 (10,15)	11,40-8,01 (9,70)	>1 1,09	10 (10,10)	IV
PRI6	Rubiaceae	<i>Mussaenda tenuiflora</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado-esferoidal	Subcircular-cuadrangular	Elíptico-triangular obtuso	4-colporado	Reticulado	14,81-13,76 (14,28)	12,28-9,64 (10,96)	<1 0,98	10 (10,-)	VI
PRI7	Apocynaceae	<i>Funtumia africana</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Circular	Subcircular-elíptico	3-porado	Verrucoso	23,92-23,5 (23,71)	21,29-18,78 (20,04)	>1 1,17	6 (6,2)	I
PRI8	Cyperaceae	<i>Principina grandis</i>	Mónada	Apolar	Radial	Esferooidal	Subcircular-rectangular	Triangular-rómbico	Inaperturado o con apertura de tipo úlcera (ve)	Escábrido	-	13,48-11,96 (12,72)	<1 0,66	4 (1,4)	II
PRI9	Ochnaceae	<i>Campylopermum nutans</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Peroblado	Circular-triangular	Elíptico	3-porado	Verrucoso	12,30-11,93 (12,12)	13,32-6,51 (9,92)	>1 1,04	10 (10,2)	IV
PRI11	Phyllantaceae	<i>Protomegabaria stapfiana</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Prolado	Subcircular-subtriangular	Elíptico	3-colporado	Reticulado	11,99-12,74 (12,36)	21,85-12,01 (16,93)	>1 1,07	4 (2,4)	V
PRI12	Phyllantaceae	<i>Thecacoris stenopetala</i>	Mónada	Isopolar	Radial	-	Subcircular-subtriangular	Elíptico	3-colporado	Reticulado (micro<1)	-	16,96-7,67 (12,32)	<1 0,69	6 (1,6)	V
PRI13	Primulaceae	<i>Ardisia staudtii</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado	Subcircular-Triangular	Elíptico	4-colporado	Reticulado	15,63-14,08 (14,86)	16,4--10,06 (13,23)	<1 0,60	6 (3,3)	V
PRI14	Ochnaceae	<i>Campylopermum andongensis</i>	Mónada	Isopolar	Radial	Oblado-esferoidal	Circular	Circular	3-colporado	Escábrido-Rugulado	14,02-13,31 (13,67)	13,70-12,45 (13,07)	<1 0,54	6 (4,2)	IV
PRI18	Rubiaceae	<i>Sabicea gigantostipula</i>	Mónada	Isopolar-	Radial	-	Circular	-	4-colpado	Escábrido-Reticulado (finamente)	18,99-18,03 (18,51)	-	<1 0,89	4 (4,-)	VIII

3.2 Descripciones de los tipos polínicos y láminas

A continuación, se describen los taxa, organizados por familia, género y especie, tal y como se presentan en las láminas I-VIII, para facilitar la comprensión y brindar los datos relativos al tipo de polinización (dados a nivel de familia).

Láminas I-VIII

ACANTHACEAE

Polinización: entomófila. Mecanismos altamente especializados o no especializados (Watson & Dallwitz, 1992).

Paulo-wilhelmia nobilis

Muestra: ST 38. (Figueiredo *et al.*, 2011). Lámina: I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: grande, 70 μm (ve: 88,95-51,06, (70, 00)).

Forma y contorno: prolado (P/E), elíptico (ve).

Aperturas: heterocolpado (2-colpos, 8 pseudocolpos), presenta 2 aperturas de tipo colpo y 8 pseudoaperturas alargadas, pseudocolpos.

Exina: exina gruesa >3 (+/- 3,5 μm) y reticulada.

Hábitat: hierba perenne o arbusto de flores púrpura; especie característica del bosque tropical (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

ANACARDIACEAE

Polinización: familia predominantemente entomófila, con ciertas excepciones y algunos géneros anemófilos (no presentes en el atlas) (Pell *et al.*, 2011).

Pseudospondias microcarpa

Muestra: ST 29. Lámina: I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar (-subisipolar) radiosimétrico.

Tamaño: pequeño 15, 98 μm (vp: 16,45-14,83 (15,64); ve: 20,01-11,87 (15,98)).

Forma y contorno: prolado, subcircular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: de grosor fino, +/- 1 μm ; psilada.

Hábitat: árbol con flores blancas amarillentas (Exell, 1944); especie del bosque secundario y márgenes de carreteras (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe; Gabón y África Tropical (APD).

Estatus: nativa no endémica.

APOCYNACEAE

Polinización: predomina la entomofilia; la familia presenta ciertos mecanismos altamente especializados (Watson & Dallwitz, 1992).

Funtumia africana

Muestra: PRI 7. Lámina: I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño (vp: 23,92-23,5 (23,71); ve: 21,29-18,78 (20,04)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal, circular (vp), subcircular-elíptico (ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: fina, +/- 1,17 μm ; verrucosa.

Hábitat: árbol de entre 45–60 m altura (Exell, 1944), con flores amarillas-blancas; característica del bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe; África Tropical (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

Rauvolfia vomitoria

Muestra: ST 19. Lámina: I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 48, 37 μm (vp: 52,78-43,96 (48,37); ve: 37,43-20,45 (28,94)).

Forma y contorno: oblado (P/E), circular (vp).

Aperturas: 3-colporado (con margo).

Exina: de grosor +/- 1,44 μm ; psilada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño con flores blancas y frutos rojos; presente en formaciones de bosque primario y plantaciones (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe; Oeste de África Tropical hasta Tanzania y Angola (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

Tabernaemontana stenosphon

Muestra: ST 18. Lámina: I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar (-subisipolar) radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 26,78 μm (vp: 27,67-24,25 (25,96); ve: 28,01-25,55 (26,78)).

Forma y contorno: oblado- esferoidal, subcircular (vp) a circular-subcircular (ve).

Aperturas: 3-colporado.

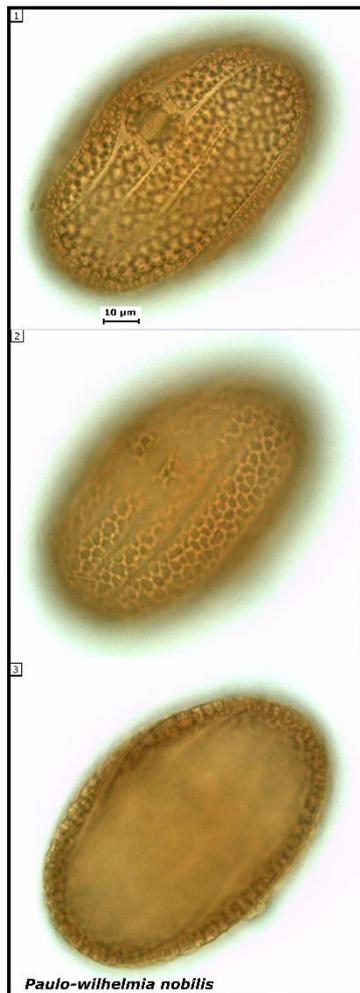
Exina: muy fina, +/-0,41 μm ; psilada a escábrida.

Hábitat: árbol de porte pequeño y flores blancas; presente en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

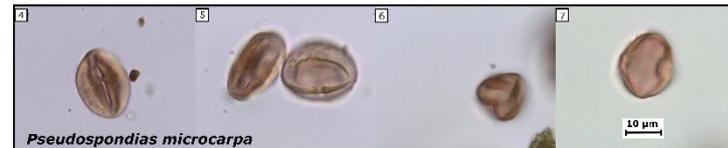
Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

ACANTHACEAE



ANACARDIACEAE



APOCYNACEAE

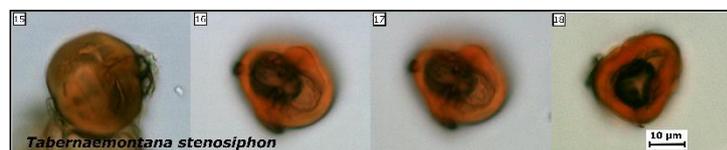
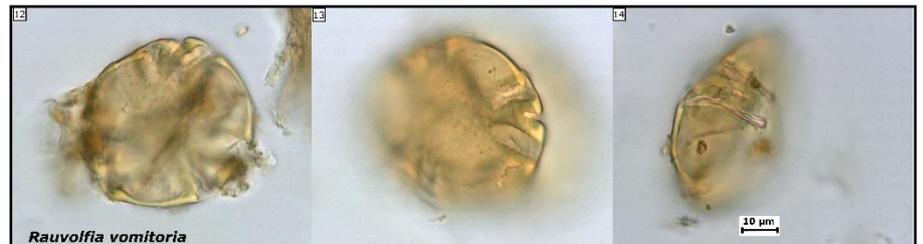


Lámina I. Familias Acanthaceae, Anacardiaceae y Apocynaceae.

BALSAMINACEAE

Polinización: según Schüler & Hemp (2016) los sistemas de polinización de la familia no han sido estudiados con la salvedad de algunas especies de clima templado, los autores, basándose en observaciones y estudios personales, señalan los siguientes polinizadores: abejorros, abejas y mariposas.

Impatiens bucinalis

Muestra: ST 23. Lámina II

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar bilateral.

Tamaño: mediano, 28,78 µm (vp: 37,78-19,78 (28,78)).

Forma y contorno: rectangular (vp).

Aperturas: 4-colpado.

Exina: de grosor fino, +/- 0,77 µm; reticulada.

Hábitat: hierba o arbusto hasta 3 m de altura, con flores rojas; especie presente en el bosque primario (obô) o en el bosque secundario (capoeira) (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

BEGONIACEAE

Polinización: entomófila. La escasa bibliografía disponible señala como insectos polinizadores abejas y moscas (Wilde, 2011).

Begonia baccata

Muestra: ST 24. Lámina II

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 12,25 μm (vp: 11,70-10,94 (11,33); ve: 15,85-8,64 (12,25)).

Forma y contorno: prolado, circular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: de grosor fino, +/- 0,91 μm ; estriada.

Hábitat: planta herbácea; bosque (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

CYPERACEAE

Polinización: anemófila, si bien dentro de la familia algunos géneros presentan polinización mediada por insectos, por el viento o presentan mecanismos de auto polinización (Goetghebeur, 1998).

Principina grandis

Muestra: PRI 8 (Mesterházy & Browning, 2014). Lámina II

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: polen apolar, simétrico.

Tamaño: pequeño, 12, 72 μm (13,48-11,96 (12,72)).

Forma y contorno: esferoidal; de subcircular-rectangular a triangular-rómbico.

Aperturas: polen inaperturado (o con apertura de tipo úlcera).

Exina: muy fina, +/- 0,66 μm ; escábrida.

Hábitat: hierba perenne robusta; característica del bosque primario.

Distribución: São Tomé y Príncipe.

Estatus: endémica.

COMMELINACEAE

Polinización: flores principalmente entomófilas, abejas y dípteros constituyen los principales polinizadores (Faden, 1998).

Palisota pedicellata

Muestra: ST 28. Lámina II

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano de polen heteropolar, bilateral.

Tamaño: pequeño, 24,25 μm (ve: 31,90-16,62 (24,25)).

Forma y contorno: prolado; rómbico-rectangular (ve).

Aperturas: 1-sulcado.

Exina: fina, +/- 0,88 μm ; ligeramente escábrida.

Hábitat: planta herbácea de flores blancas; en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe; Annobón (AFD).

Estatus: nativa no endémica.

ERICACEAE

Polinización: mecanismos de auto polinización y mecanismos de polinización cruzada mediada por insectos voladores y aves (Sarwar, 2007).

Erica thomensis

Muestra: ST 35. Lámina II

Unidad de dispersión: tétradas decusadas y tetraédricas.

Polaridad y simetría: -

Tamaño (unidad): pequeño, 16,52 μm (vp: 18,93-10,22 (14,58); ve: 19,89-13,15 (16,52)).

Forma y contorno (unidad): circular- elíptico (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

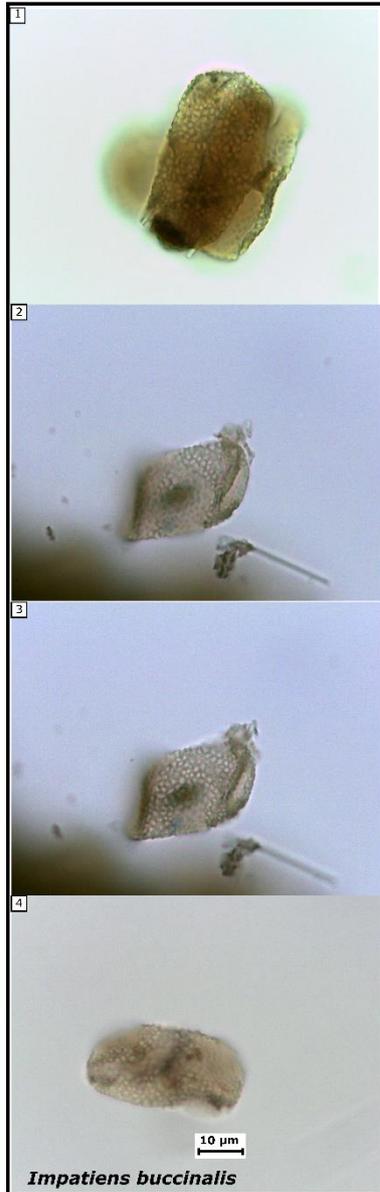
Exina: fina, +/-1,25 μm ; escábrida.

Hábitat: arbusto; especie presente en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

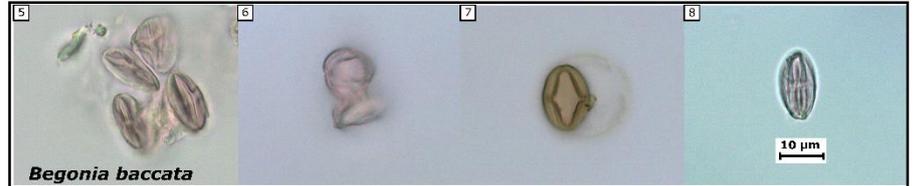
Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

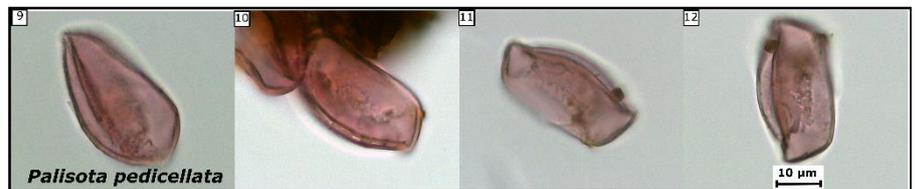
BALSAMINACEAE



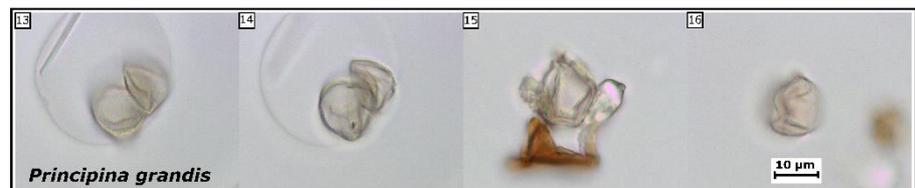
BEGONIACEAE



COMMELINACEAE



CYPERACEAE



ERICACEAE



Lámina II. Familias Balsaminaceae, Begoniaceae, Commelinaceae, Cyperaceae y Ericaceae.

EUPHORBIACEAE

Polinización: familia con diversidad de mecanismos de polinización, tanto abiótica (anemófila) como biótica, mediada por himenópteros y dípteros (Webster, 2014).

Erythrococca molleri

Muestra: ST 17. Lámina III

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 15,95 μm (vp: 16,22-15,68 (15,95); ve: 18,40-12,67 (15,53)).

Forma y contorno: prolado; circular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: grosor fino, +/-1,01 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño; especie del bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

Pseudagrostistachys africana

Muestra: ST 16. Lámina III

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 17,10 μm (ve: 20,92-13,29 (17,10)).

Forma y contorno: prolado; elíptico (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: muy fina, +/-0,56 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol con flores blancas; presente en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical (oeste y centro-oeste) (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

GENTIANACEAE

Polinización: entomófila (Watson & Dallwitz, 1992).

Anthocleista scandens

Muestra: ST 37. Lámina III

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 29,14 μm (vp: 30,05-28,23 (29,14); ve: 26,55-24,39 (25,47)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal; circular (vp; ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: grosor +/-1,87 μm ; verrucosa.

Hábitat: árbol o trepadora con flores blancas; bosque primario y bosque secundario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: Camerún, Bioko, São Tomé (AFD).

Estatus: nativa no endémica.

LAMIACEAE

Polinización: zoófila, entomófila u ornitófila. Los polinizadores más frecuentes son himenópteros, lepidópteros o dípteros (Watson & Dallwitz, 1992).

Clerodendrum silvanum

Muestra: ST 41. Lámina III

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 37,59 μm (vp: 38,22-36,96 (37,59); ve: 33,21-32,26 (32,73)).

Forma y contorno: esferoidal, circular (vp; ve).

Aperturas: 3-colpado.

Exina: +/-1,07 μm ; polen equinulado, presenta espínulas < 1,3 μm .

Hábitat: arbusto enredadera o liana, con flores blancas (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

LECYTHIDACEAE

Polinización: ornitófila o quiropterófila (Watson & Dallwitz, 1992).

Scytopetalum klaineanum

Muestra: ST 31. Lámina III

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 24,03 μm (vp: 24,58-23,49 (24,03); ve: 19,65-17,41 (18,53)).

Forma y contorno: subcircular-triangular (vp), elíptico-circular (ve).

Aperturas: 3-colpado.

Exina: grosor > 2 , ± 2 , $13 \mu\text{m}$; reticulada.

Hábitat: árbol (10-20 m); presente en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical (centro-oeste) (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

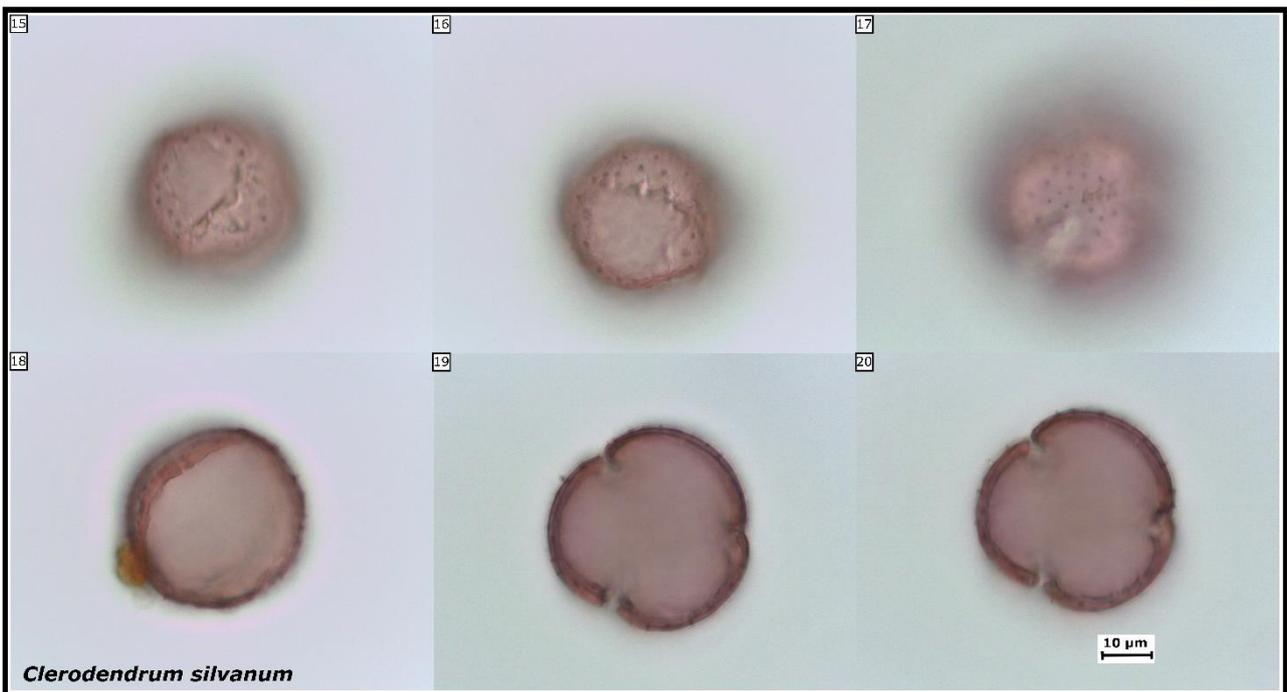
EUPHORBIACEAE



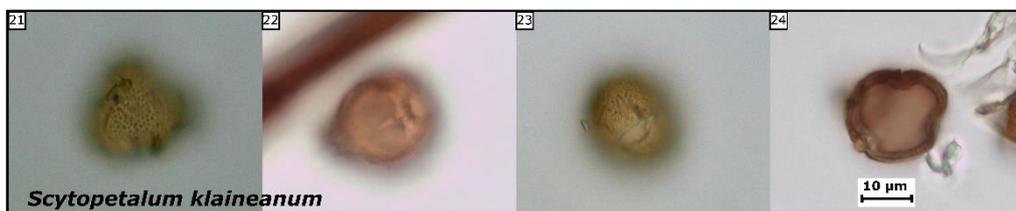
GENTIANACEAE



LAMIACEAE



LECYTHIDACEAE



MELASTOMATACEAE

Polinización: entomófila, ornitófila o quiropterófila (Watson & Dallwitz, 1992).

Calvoa crassinoda

Muestra: ST 27. Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 23,41 μm (vp: 24,06-22,75 (23,41); ve: 28,69-17,13 (22,91)).

Forma y contorno: oblado, subcircular-triangular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: polen heterocolpado, con 3 aperturas simples de poro y 6 de tipo colpo (3-poros, 6 colpos).

Exina: grosor +/- 1,76 μm ; psilada.

Hábitat: arbusto hasta 2,5 m de altura, con flores rosa; en el bosque primario y bosque secundario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

Memecylon sp.

Muestra: PRI 4. Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 10,15 μm (vp: 10,24-10,06 (10,15); ve: 11,40-8,01 (9,70)).

Forma y contorno: prolado; subcircular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: heterocolpado (6 colpos).

Exina: fina, +/-1,09 μm , psilada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: nativa (probable) (APD).

MELIACEAE

Polinización: la mayor parte de las especies son entomófilas: abejas, sírfidos, lepidópteros (incluyendo polillas) (Mabberley, Pannell & Sing, 2011).

Carapa gogo

(Clasificada como *Carapa procera* por muchos autores, Kenfack, 2011).

Muestra: ST 21. Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 21,17 μm (ve: 21,96-20,39 (21,17)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal, circular (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: fina, < 1 μm , +/-0,98 μm ; verrucosa.

Hábitat: árboles de porte grande (hasta 40 m de altura); bosque, hasta los 1500 m altitud.

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

Trichilia grandifolia

Muestra: ST 20 (Figueiredo *et al.*, 2011). Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 34,25 μm (vp: 32,43-34,49 (33,46); ve: 36,16-32,34 (34,25)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal; circular (vp), circular-subcircular (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: grosor +/- 1,55 μm ; de psilada a ligeramente escábrida.

Hábitat: árbol; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

OCHNACEAE

Polinización: entomófila, mediada por mecanismos vibratoriales “buzz” de liberación de polen activados por abejas (Kubitzki & Amaral, 1991).

Campylospermum andongensis

Muestra: PRI 14. Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 13,67 μm (vp: 14,02-13,31 (13,67); ve: 13,70-12,45 (13,07)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal, circular (vp, ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: muy fina, +/- 0,54 μm ; de escábrida a rugulada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical (APD).

Estatus: nativa no endémica.

CampylospERMUM nutans

Muestra: PRI 9. Lámina IV

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 12,12 μm (vp: 12,30-11,93 (12,12); ve: 13,32-6,51 (9,92)).

Forma y contorno: peroblado, circular-triangular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: fina, +/- 1,04 μm , verrucosa.

Hábitat: arbusto de flores amarillas (Figueiredo *et al.*, 2011).

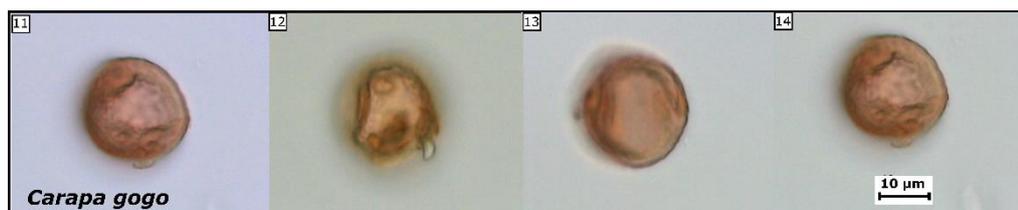
Distribución: Príncipe (Bissiengou *et al.*, 2013).

Estatus: endémica.

MELASTOMATACEAE



MELIACEAE



OCHNACEAE

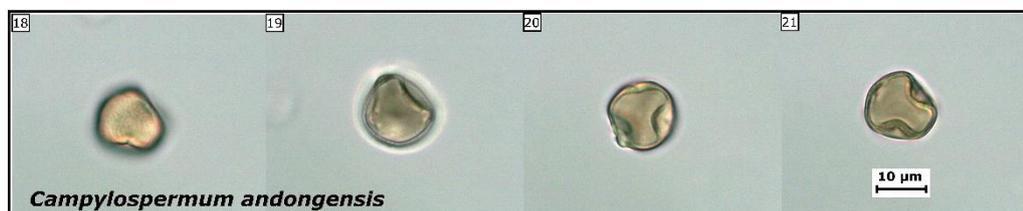


Lámina IV. Familias Melastomataceae, Meliaceae y Ochnaceae.

OLEACEAE

Polinización: entomófila en la mayoría de la familia (Green, 2004), si bien algunos géneros son anemófilos (*Olea*) o ambófilos (*Fraxinus*).

Olea capensis

Muestra: ST 22. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 17,43 μm (vp: 17,88-16,99 (17,43); ve: 18,28-15,34 (16,81)).

Forma y contorno: suboblado, circular (vp), elíptico-circular (ve).

Aperturas: 3-colpado.

Exina: grosor +/- 1,19 μm ; reticulada. Presenta tectum parcial con columelas.

Hábitat: arbusto o árbol con flores pequeñas de color blanco; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical, Sudáfrica y Comoros (POWO).

Estatus: nativa.

PHYLLANTACEAE

Polinización: entomófila, mecanismos mutualistas en muchas especies polinizadas por polillas (Finch *et al.*, 2021; Kawakita, 2010).

Protomegalaria stapfiana

Muestra: PRI 11. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 16,93 μm (vp: 11,99-12,74 (12,36); ve: 21,85-12,01 (16,93)).

Forma y contorno: prolado, subcircular-subtriangular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, +/- 1,07 μm ; reticulada.

Hábitat: árbol hasta 20 m altura; bosque tropical (APD).

Distribución: África Tropical (centro y centro-oeste) (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

Thecacoris stenopetala

Muestra: PRI 12. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 12,32 μm (vp: 16,96-7,67 (12,32)).

Forma y contorno: en vp contorno subcircular-subtriangular, en ve contorno elíptico.

Aperturas: 3- colporado.

Exina: micro reticulada, lúmenes <1 μm .

Hábitat: árbol hasta 6 m altura con flores blancas-verdecinas; bosque (APD).

Distribución: Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); se distribuye desde Guinea a Liberia (POWO).

Estatus: nativa no endémica.

PODOCARPACEAE

Polinización: anemófila (Tomlinson *et al.*, 1991).

Afrocarpus manni

Muestra: ST 36. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: heteropolar, bisacado. Polen conformado por cuerpo (corpus) y 2 sacos aéreos (sacci).

Tamaño: mediano, 40,024 μm .

Longitud total (corpus + sacci): 44,79-34,05 (40,024), ve.

Corpus (vp): largo: 26,7-19,99 (23,48); ancho: 17,11-12,36 (15,57).

Forma y contorno (corpus): en vp contorno de subcircular a rómbico (corpus), en ve contorno de elíptico a rómbico (corpus).

Aperturas: 1-leptomado; presumible apertura distal característica de coníferas.

Exina: grosor de +/- 1,75 μm . Corpus de escábrido a verrucoso y sacci finamente reticulados.

Hábitat: bosque mixto (por encima de los 1400 m) (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

PRIMULACEAE *(Myrsinaceae)

Polinización: estudios basados en el género *Ardisia* señalan a las abejas como principales polinizadores (Kress & Beach, 1994), sin embargo, el género *Rapanea* y *Myrsine* presentan polinización anemófila (Otegui & Cocucci, 1999).

Ardisia staudtii

Muestra: PRI 13. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 14,86 μm (vp: 15,63-14,08 (14,86); ve: 16,4-10,06 (13,23)).

Forma y contorno: oblado, subcircular-triangular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: muy fina, < 1 μm , +/- 0,60 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño de flores rojas; bosque (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); África central (de Nigeria hasta Uganda) (APD).

Estatus: nativa no endémica.

Rapanea melanophloeos

Polinización: mayoritariamente entomófila, mediada por abejas y moscas (Ståhl & Anderberg, 2004). Sin embargo, en géneros como *Rapanea/Myrsine* se ha observado anemofilia (Otegui & Cocucci, 1999).

Muestra: ST 44. Lámina V

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 22,94 μm (vp: 23,67-22,21 (22,94)).

Forma y contorno: en vp contorno de circular a subcircular.

Aperturas: 4-colpado.

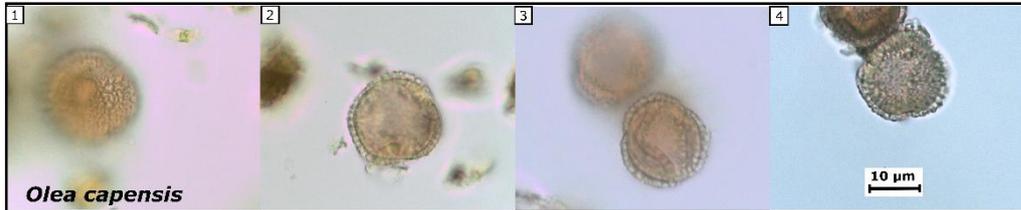
Exina: grosor > 1 μm , +/- 1,32 μm ; micro reticulado (< 1 μm).

Hábitat: arbusto o árbol pequeño de florecitas blancas o amarillentas; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

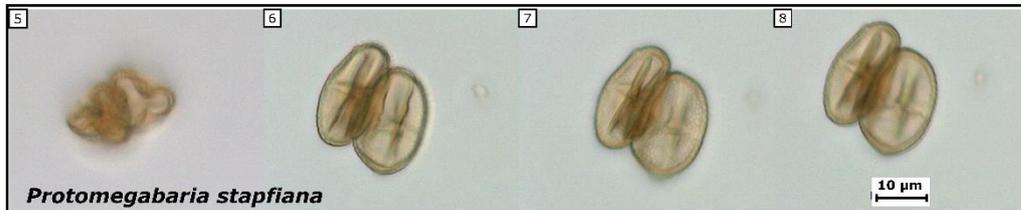
Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011); Camerún, islas del Golfo de Guinea, Este de África (de Etiopía a Sudáfrica, Madagascar) (APD).

Estatus: nativa no endémica.

OLEACEAE



PHYLLANTHACEAE



PODOCARPACEAE



PRIMULACEAE

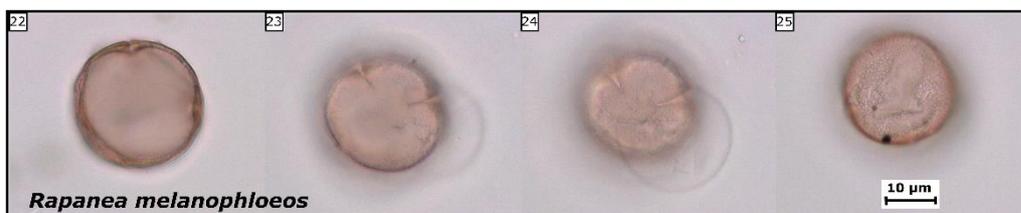
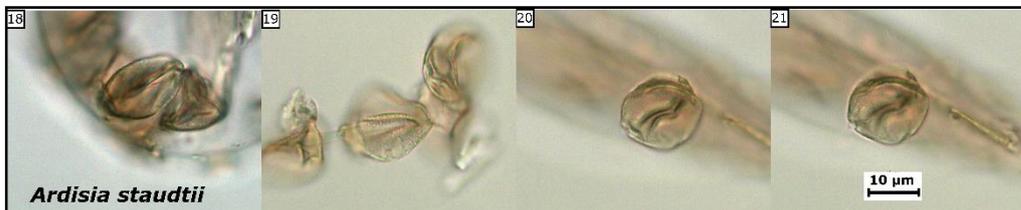


Lámina V. Familias Oleaceae, Phyllanthaceae, Podocarpaceae y Primulaceae.

RUBIACEAE

Debido a la gran variabilidad de esta familia, se brinda una descripción genérica, sin perjuicio de las particularidades y estudios más recientes que pudieran encontrarse a nivel de género. Tal y como se recoge en *Tropical Woody Rubiaceae* (Robbrecht, 1988) la morfología floral determina fuertemente el tipo o síndrome de polinización. Siguiendo la síntesis de este autor:

“en los ecosistemas tropicales, Rubiaceae es una de las familias dominantes entre el grupo de plantas nectaríferas (Opler 1983). Las flores generalmente producen néctar en la base del tubo de la corola, en consecuencia, la mayoría de las Rubiáceas son zoófilas. La ornitofilia, en cambio, es rara; se registra en las especies de flores rojas, en algunos géneros se ha observado quiropterofilia”.

Polinización: la mayoría de las especies son polinizadas por insectos (entomofilia), muchas especies tienen flores blancas fuertemente perfumadas por la noche, siendo obviamente polinizadas por polillas. Sin duda, a pesar de los mecanismos especiales, existen muchos casos de autopolinización (Verdcourt, Beentje & Polhill, 1976).

Bertiera racemosa

Muestra: PRI 1. Lámina VI

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 20,79 μm (vp: 21,25-20,34 (20,79)).

Forma y contorno: en vp contorno de circular a subcircular.

Aperturas: 3-porado.

Exina: grosor $> 1 \mu\text{m}$, +/- 1,32 μm ; reticulada.

Hábitat: árbol o arbusto del bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: países del Golfo de Guinea y limítrofes hasta la República Central Africana (APD).

Estatus: nativa.

Chassalia doniana

Muestra. ST 10. Lámina: VI

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: grande, 52,33 μm (vp: 57,03-47,63 (52,33), ve: 40,57-22,05 (20,87)).
Forma y contorno: oblado, de subcircular a cuadrangular-obtuso (vp), elíptico (ve).
Aperturas: 4-colpado.
Exina: grosor +/- 1,06 μm ; reticulada.
Hábitat: arbusto, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).
Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).
Estatus: endémica.

Craterispermum montanum

Muestra: ST 1. Lámina VI
Unidad de dispersión: mónada.
Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.
Tamaño: pequeño, 20,29 μm (vp: 21,32-19,26 (20,29), ve: 24,60-12,49 (18,45)).
Forma y contorno: oblado, circular-triangular (vp).
Aperturas: de 3 a 4 aperturas compuestas de tipo colporo, 3/4-colporado.
Exina: fina < 1 μm , +/- 0,91 μm ; micro reticulada.
Hábitat: árbol, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).
Distribución: São Tomé, Príncipe, Annobón (Davis & Figueiredo, 2007).
Estatus: nativa.

Mussaenda tenuiflora

Muestra: PRI 6. Lámina VI
Unidad de dispersión: mónada.
Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.
Tamaño: pequeño, 14,28 μm (vp: 14,81-13,76 (14,28), ve: 12,28-9,64 (10,96)).
Forma y contorno: prolado-esferoidal, subcircular-cuadrangular (vp), elíptico-triangular obtuso (ve).
Aperturas: 4-colporado.
Exina: fina, +/- 0,98 μm ; reticulada.
Hábitat: trepadora leñosa, bosque (Figueiredo *et al.*, 2011).
Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011).
Estatus: endémica.

Oxyanthus speciosus

Muestra: ST 2. Lámina VI

Unidad de dispersión: tétrada.

Polaridad y simetría: -

Tamaño (tétrada): mediano, 29,69 μm (vp: 30,057-29,32 (29,69), ve: 29,94-26,38 (28,16)).

Forma y contorno (unidad): elíptico- subcircular (vp), elíptico-rectangular (ve)

Aperturas: 3-porado.

Exina: +/- 0, 83 μm ; micro reticulado.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: África tropical hasta Sudáfrica (APD).

Estatus: nativa.

Pauridiantha floribunda

Muestra: ST 9. Lámina: VI

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 14,98 μm (vp: 15,3-14,66 (14,98), ve: 14,71-11,58 (13,14)).

Forma y contorno: prolado, circular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, <1 μm , +/- 0,96 μm ; reticulada.

Hábitat: árbol o arbusto, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: desde el sur de Nigeria a Gabon, islas del Golfo de Guinea (Davis & Figueiredo, 2007).

Estatus: nativa.

RUBIACEAE

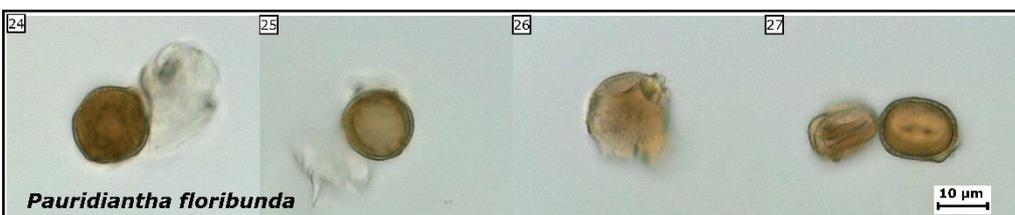
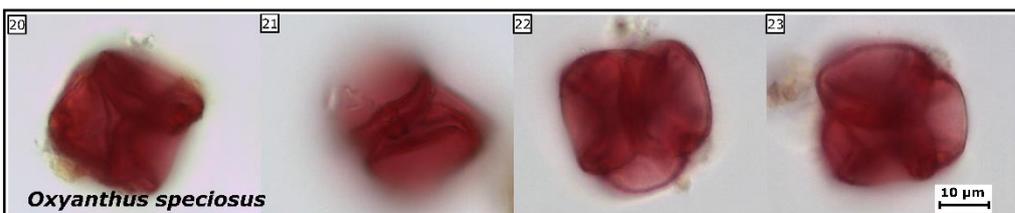
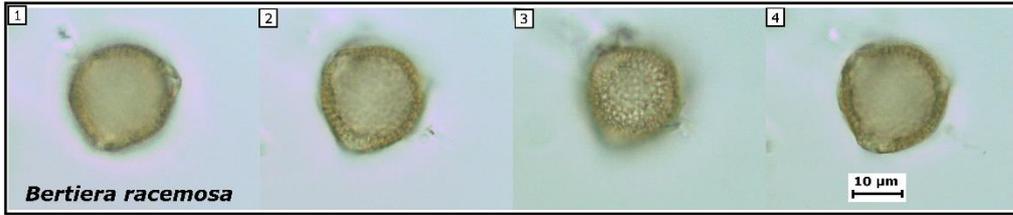


Lámina VI. Familia Rubiaceae (1/3).

Pavetta monticola

Muestra: ST 5. Lámina VII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 22,33 μm (vp: 23,13-21,53 (22,33), ve: 23,67-18,03 (20,85)).

Forma y contorno: subprolado, triangular – subcircular (vp), subcircular-elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, $< 1 \mu\text{m}$, +/- 0,93 μm ; reticulada.

Hábitat: árbol o arbusto, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Annobón (Davis & Figueiredo, 2007).

Estatus: nativa.

Psychotria nubicola

Muestra: ST 8. Lámina VII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: grande, 61,24 μm (vp: 64,67-57,81 (61,24), ve: 60,54-42,31 (51,42)).

Forma y contorno: oblado, sub-circular-elíptico (vp), elíptico-rómbico-obtuso (ve).

Aperturas: 4-colpado.

Exina: gruesa, $\geq 2 \mu\text{m}$, +/- 2,43 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

Psychotria peduncularis

Muestra: ST 7. Lámina VI

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: grande 61,21 μm (vp: 65,49-56,94 (61,21), ve: 38,20-26,18 (32,19)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal, elíptico (vp), elíptico-rómbico (ve).

Aperturas: 3-colpado.

Exina: gruesa, +/- 2 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: África tropical, oeste y centro-oeste (Davis & Figueiredo, 2007).

Estatus: nativa.

Psychotria subobliqua

Muestra: ST 6. Lámina VII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: grande, 56,11 μm (vp: 59,14-53,11 (56,11), ve: 50,63-43,91(47,27)).

Forma y contorno: en vp contorno sub-circular.

Aperturas: 4-colpado.

Exina: fina, <1 μm , +/- 0,80 μm ; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: África tropical, oeste y centro-oeste (Davis & Figueiredo, 2007).

Estatus: nativa.

RUBIACEAE

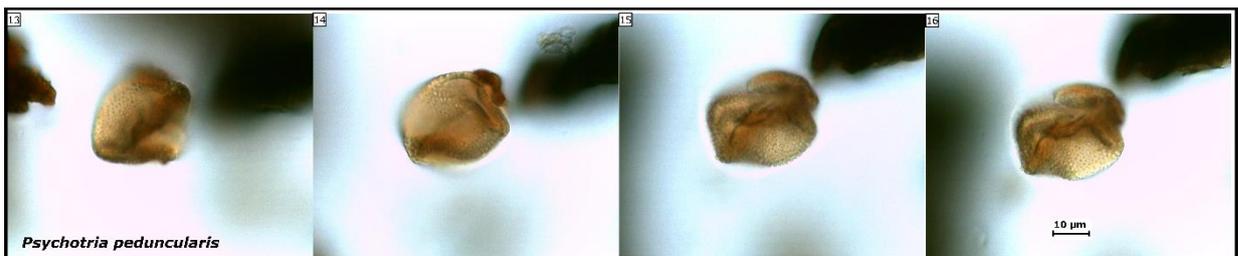
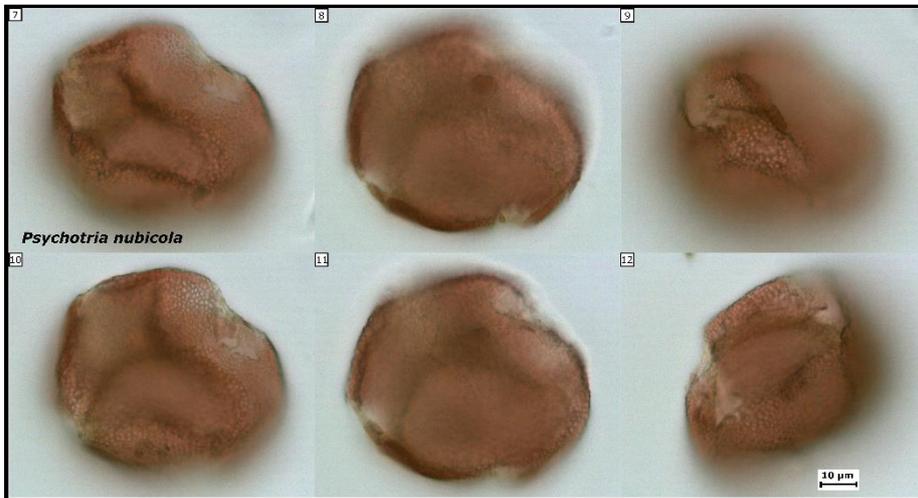


Lámina VII. Familia Rubiaceae (2/3).

Sabicea exellii

Muestra: ST 11. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 21,22 μm (vp: 21,99-20,46 (21,22)).

Forma y contorno: contorno circular en vp.

Aperturas: 3/4-colpado, polen que presenta de 3 a 4 aperturas simples, de tipo colpo.

Exina: fina, +/- 1 μm; reticulada.

Hábitat: en el bosque o orillas de ríos o arroyos (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

Sabicea gigantostipula

Muestra: PRI 18. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 18,51 μm (vp: 18,99-18,03 (18,51)).

Forma y contorno: en vp contorno circular.

Aperturas: 4-colpado.

Exina: fina, <1 μm, +/- 0,89 μm; de escabrada a finamente reticulada.

Hábitat: sub arbusto, en el bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: Nigeria a África tropical (centro-oeste) (Davis & Figueiredo, 2007).

Estatus: nativa.

Sabicea ingrata

Muestra: ST 4. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 17,87 μm (vp: 19,60-16,14 (17,87) 20,29-10,44 (15,36)).

Forma y contorno: oblado, subcircular-elíptico (vp), elíptico- rectangular (ve).

Aperturas: 4-colporado.

Exina: fina, <1 μm, +/- 0,93 μm; micro reticulado.

Hábitat: trepadora leñosa, en el bosque, en las orillas de los ríos o en cunetas (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé (Figueiredo *et al.*, 2011) (APD).

Estatus: endémica.

Tarenna principensis

Muestra: PRI 3. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 17,06 μm (vp: 17,48-16,64 (17,06), ve: 16,8--14,23 (15,52)).

Forma y contorno: suboblado, circular (vp), subcircular-elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, <1 µm; +/- 0,91 µm; reticulada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño, bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011) (APD).

Estatus: endémica.

SALICACEAE

Polinización: principalmente entomófila, si bien géneros como *Salix* pueden ser tanto anemófilos como ambófilos (Tollsten & Knudsen, 1992).

Homalium henriquesii

Muestra: ST 34. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 14,39 µm (vp: 15,14-13,64 (14,39), ve: 17,17-11,59 (14,38)).

Forma y contorno: prolado, subcircular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, +/- 1,14 µm; reticulada.

Hábitat: árbol de hasta 25 m altura; bosque tropical.

Distribución: São Tomé.

Estatus: endémica.

SAPINDACEAE

Polinización: principalmente mediada por abejas, si bien las flores pueden atraer otros polinizadores tales como lepidópteros y colibrís (Acevedo-Rodríguez *et al.*, 2011)

Allophylus africanus

Muestra: ST 39. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 20,72 µm (vp: 21,82-19,63 (20,72), ve: 19,57-7,46 (13,52)).

Forma y contorno: peroblado, triangular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: fina, $< 1 \mu\text{m}$, $\pm 0,97 \mu\text{m}$; estriada.

Hábitat: arbusto o árbol de flores blancas; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); África Tropical desde Senegal hasta Mozambique (APD).

Estatus: nativa no endémica.

Chytranthus mannii

Muestra: ST 40. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: polen isopolar radial.

Tamaño: pequeño, $23,88 \mu\text{m}$ (vp: $24,42-23,33$ (23,88); ve: $22,73-20,93$ (21,83))

Forma y contorno: oblado-esferoidal, subcircular-subtringular (vp), subcircular-elíptico (ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: fina, $\pm 1,07 \mu\text{m}$; rugulada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: endémica.

SAPOTACEAE

Polinización: mayoritariamente entomófila, si bien existen registros de polinización mediada por murciélagos (Pennington, 2004).

Gambeya sp.

Muestra: ST 26. Lámina VIII

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, $19,81 \mu\text{m}$ (ve: $25,2-14,43$ (19,81)).

Forma y contorno: prolado, elíptico (ve).

Aperturas: 4-colporado.

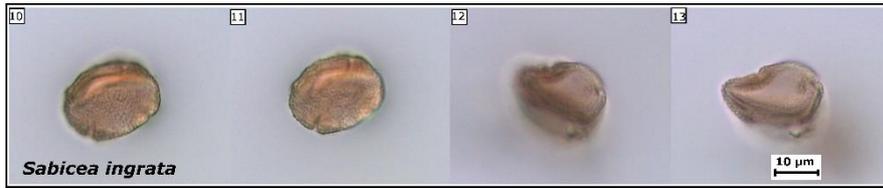
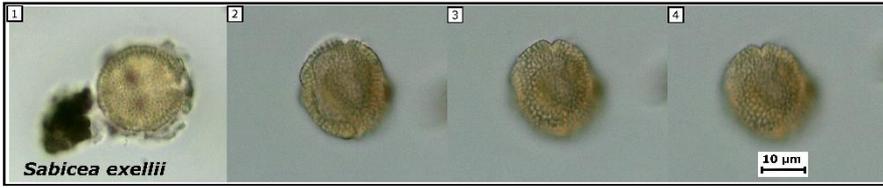
Exina: fina, $< 1 \mu\text{m}$, $\pm 0,97 \mu\text{m}$; psilada.

Hábitat: árbol con flores de color blanco roto; bosque primario (Figueiredo *et al.*, 2011).

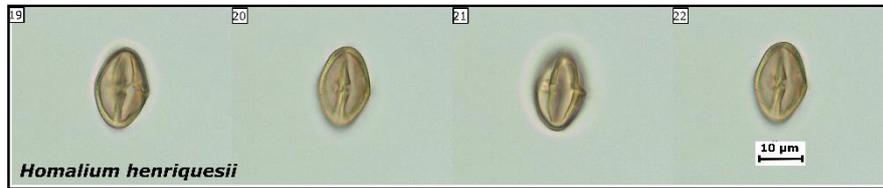
Distribución: São Tomé y Príncipe (Figueiredo *et al.*, 2011); de África Tropical hasta Madagascar (POWO).

Estatus: nativa (probable).

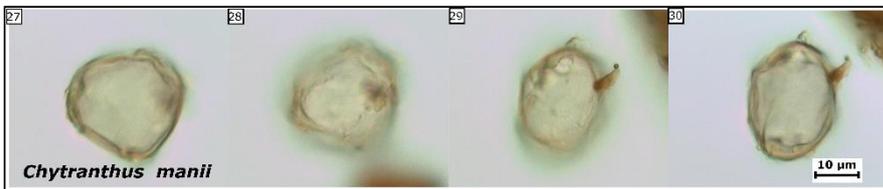
RUBIACEAE



SALICACEAE



SAPINDACEAE



SAPOTACEAE



Lámina VIII: Familias Rubiaceae (3/3), Salicaceae, Sapindaceae y Sapotaceae.

Lámina: suplementaria I

PIPERACEAE

Polinización: anemófila o entomófila (Figueiredo & Sazima, 2000).

Piper umbellatum

Muestra: ST 25. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: granos apolares y asimétricos.

Tamaño: muy pequeño, 9,33 μm . (D1: 10,05 D2: 8,61; \bar{X} : 9,33446 μm).

Forma y contorno: esferoidal, subcircular.

Aperturas: inaperturado.

Exina: muy fina, +/- 0,572 μm ; escábrida.

Hábitat: árbol hasta 6 m altura con flores blancas-verdecinas; bosque (APD).

Distribución: de Guinea a Liberia (POWO).

Estatus: introducida.

ROSACEAE

Polinización: mayormente entomófilas, comúnmente polinizadas por moscas (también abejas e incluso mariposas), algunas especies anemófilas (Kalkman, 2004).

Rubus rosifolius

Muestra: ST 32. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 23,06 μm (vp: 15,74-14,94 (15,34), ve: 29,24-16,88 (23,06)).

Forma y contorno: oblado, circular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: fina, +/- 0,83 μm ; rugulada.

Hábitat: arbusto introducido (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: desde el Golfo de Guinea a África austral y Madagascar (APD).

Estatus: introducida.

RUBIACEAE

Canthium cordatum

Muestra: ST 3. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 35,98 μm (vp: 37,26-34,70 (35,98), ve: 32,75-27,59 (30,17)).

Forma y contorno: oblado-esferoidal, circular (vp), circular-elíptico (ve).

Aperturas: 3-porado.

Exina: grosor +/- 1,53 μm ; reticulada, clavada.

Hábitat: arbusto o árbol pequeño.

Distribución: nativa de la India (POWO).

Estatus: introducida.

Cinchona calisaya

Muestra: ST 12. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: pequeño, 21,78 μm (vp: 22,72-20,84 (21,78), ve: 19,11-14,60 (16,86)).

Forma y contorno: suboblado, circular (vp), elíptico (ve).

Aperturas: 3-colporado.

Exina: μm ; micro reticulado.

Hábitat: arbusto, bosque secundario (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: nativa de Perú y Bolivia (POWO).

Estatus: introducida.

Geophila repens

Muestra: ST 14. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 31,84 μm (vp: 34,62-29,06 (31,84), ve: 32,24-13,6 (22,92)).

Forma y contorno: contorno triangular en vp, elíptico-rectangular en ve.

Aperturas: 3-colpado.

Exina: grosor +/- 1,5 μm ; rugulada.

Hábitat: hierba, en bosque y cunetas (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: nativa de México y América (tropical) (POWO).

Estatus: introducida.

SOLANACEAE

Polinización: generalmente entomófila (abejas, polillas, insectos), pero también mediada por polinizadores como aves o murciélagos (Knapp, 2010).

Cestrum laevigatum

Muestra: ST 43. Lámina: suplementaria I

Unidad de dispersión: mónada.

Polaridad y simetría: grano isopolar radiosimétrico.

Tamaño: mediano, 29,79 μm (vp: 30,07-29,51 (29,79), ve: 24,91-24,47 (24,69)).

Forma y contorno: esferoidal, circular (vp, ve).

Aperturas: 3-colporado, con endoapertura ecuatorial de tipo colpo, endocíngulo.

Exina: +/- 1,23 μm ; rugulada.

Hábitat: arbusto o árbol (Figueiredo *et al.*, 2011).

Distribución: nativa de Brasil a NE de Argentina (Figueiredo *et al.*, 2011).

Estatus: introducida.

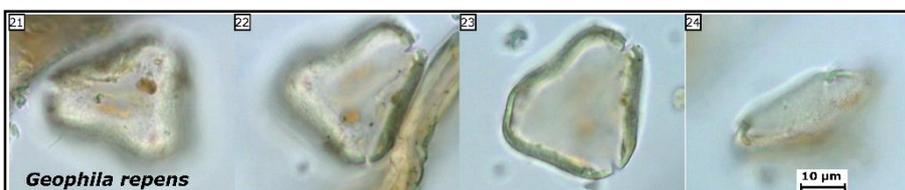
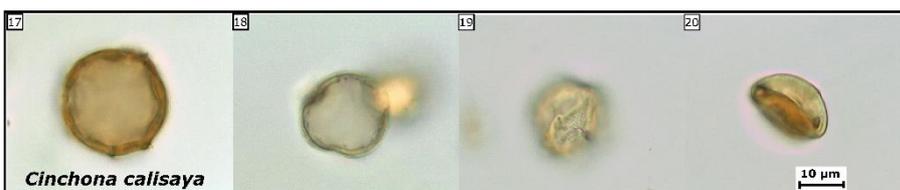
PIPERACEAE



ROSACEAE



RUBIACEAE



SOLANACEAE

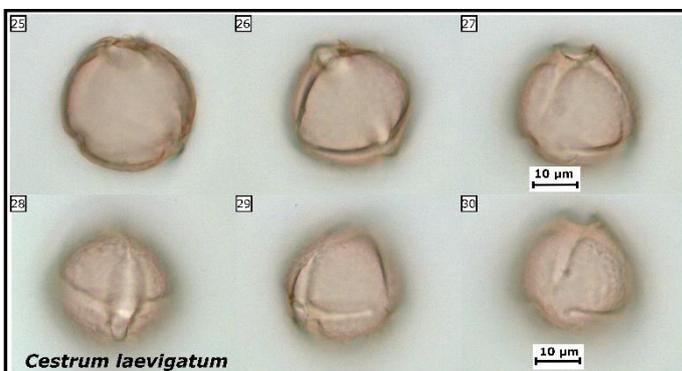
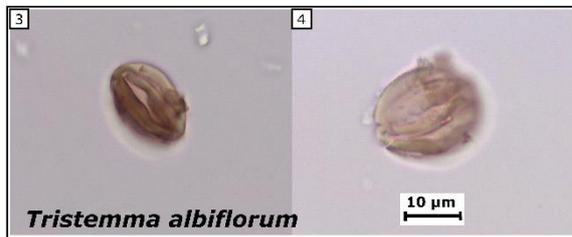


Lámina suplementaria I. Familias Piperaceae, Rosaceae, Rubiaceae y Solanaceae.

Lámina suplementaria II:
MELASTOMATACEAE



RUBIACEAE



Lámina suplementaria II. Familias Melastomataceae y Rubiaceae.

3.4 Cobertura del atlas: relación flora del archipiélago representada en el trabajo

El presente trabajo parte de una selección inicial de 62 muestras de material vegetal obtenido de pliegos del Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe (44 recolectados en la isla de São Tomé (ST 1-ST 44) y 18 recolectados en la isla de Príncipe (PRI 1-PRI 18)), de las cuales 8 se excluyen por no contener material polínico tras el procesado del material, obteniéndose un total de 54 muestras con material polínico, que se corresponden con los taxa que conforman el presente atlas.

Las 18 muestras de los pliegos de herbario recolectados en la isla de Príncipe (PRI 1-PRI18), abarcan un total de 10 familias, 7 de las cuales están presentes en el atlas (Figura 7). Las 3 familias restantes (Begoniaceae, Costaceae y Dilleniaceae), no están representadas debido a la ausencia de granos de polen en sus respectivas preparaciones (muestras categorizadas como ausentes, ver Discusión). De estas 18 muestras, 4 se incluyen en la categoría “ausentes” (4 taxa cuyas preparaciones resultantes no contenían granos de polen). En cuanto a la relevancia para la flora de los pliegos seleccionados, de las 14 muestras de la isla de Príncipe que conforman el atlas, 4 son endémicas (Tabla 12).

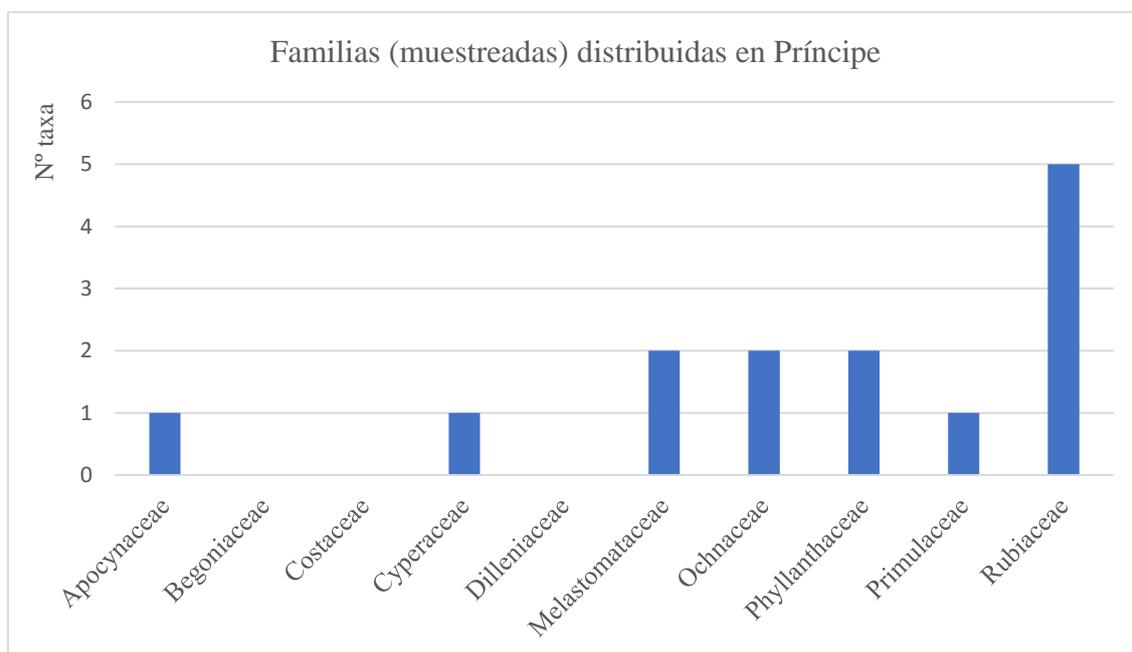


Figura 7: Representación en el atlas de las familias (nº de taxa) correspondientes a muestras de herbario tomadas para la isla de Príncipe (PRI 1-PRI 18). Sin valor (= 0) aparecen las familias presentes en Príncipe cuyas preparaciones, sin contenido polínico (muestras ausentes), no se han incluido en el atlas (Begoniaceae, Costaceae y Dilleniaceae).

Tabla 12: Especies endémicas (por familia) de la isla de Príncipe representados en el atlas. De las 4 especies, 2 pertenecen a la familia Rubiaceae.

Familia	Especie
Cyperaceae	<i>Principina grandis</i>
Ochnaceae	<i>Campylospermum nutans</i>

Rubiaceae	<i>Tarenna principensis</i>
Rubiaceae	<i>Mussaenda tenuiflora</i>

Las 44 muestras de pliegos de herbario pertenecientes a la isla de São Tomé (ST 1- ST 44), abarcan un total de 25 familias, de las cuales 2 (Thymelaeaceae y Ulmaceae) no están representadas en el atlas (Figura 8), debido a que una de las preparaciones resultantes presentaba indicios de contaminación (ST- 30, Thymelaeaceae*) y la otra preparación no contenía granos de polen (ST-33, Ulmaceae, syn Cannabaceae). De estas 44 muestras, 4 se categorizan como “ausentes” (sin granos de polen), por lo que son 40 los taxa representados en este trabajo recolectados en la isla de São Tomé. En términos de relevancia para la flora insular, de los 44 pliegos escogidos y recolectados para la isla, se tomaron 19 (+2 muestras sin material polínico) correspondientes a taxa endémicos, de los cuales 17 están incluidos en el atlas (Tabla 13).

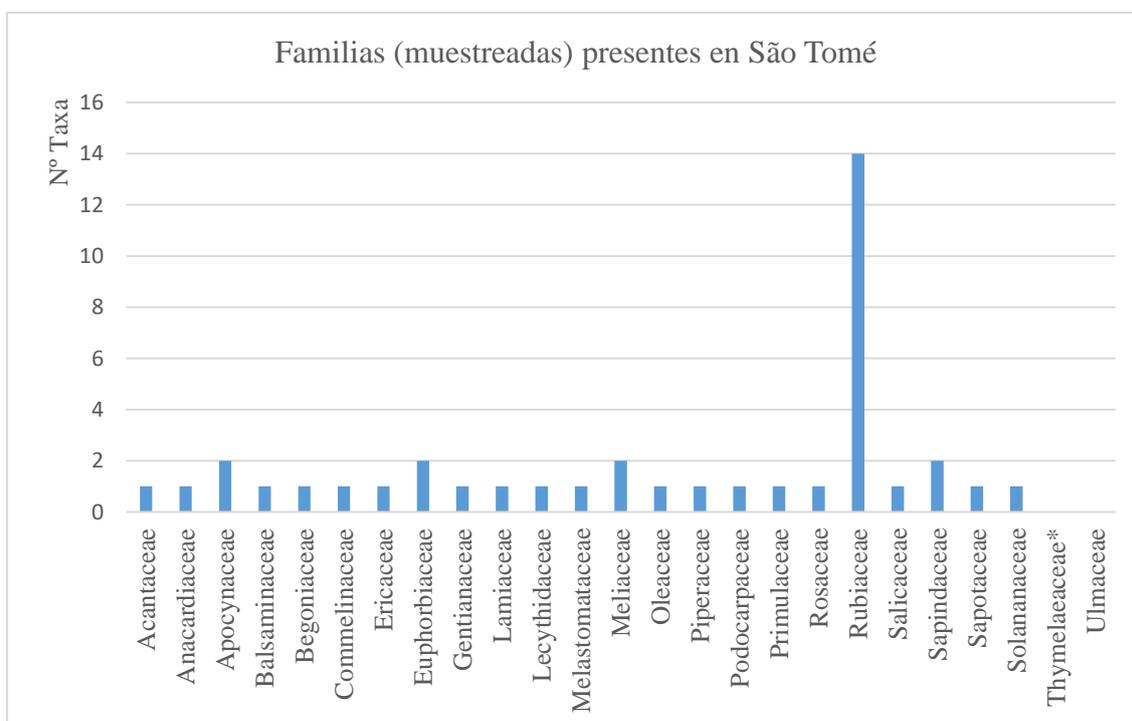


Figura 8: Representación en el atlas de las familias (nº de taxa) correspondientes a las muestras de herbario tomadas en la isla de São Tomé. Sin valor (= 0) aparecen aquellas familias cuyos taxa no contenían granos de polen y no han podido ser incluidas en el atlas (Thymelaeaceae y Ulmaceae).

Tabla 13: Especies endémicas (por familias) de la isla de São Tomé representados en el atlas. La familia Rubiaceae presenta el mayor nº de especies endémicas.

Familia	Especie
Acantaceae	<i>Paulo-wilhelmia nobilis</i>
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana stenosphon</i>
Balsaminaceae	<i>Impatiens buccinalis</i>
Begoniaceae	<i>Begonia baccata</i>
Ericaceae	<i>Erica thomensis</i>
Euphorbiaceae	<i>Erythrococca molleri</i>

Melastomataceae	<i>Calvoa crassinoda</i>
Meliaceae	<i>Trichilia grandifolia</i> <i>Carapa gogo</i>
Podocarpaceae	<i>Afrocarpus mannii</i>
Rubiaceae	<i>Sabicea ingrata</i> <i>Psychotria nubicola</i> <i>Chassalia doniana</i> <i>Sabicea exellii</i> <i>Sabicea cauliflora</i>
Salicaceae	<i>Homalium henriquesii</i>
Sapindaceae	<i>Chytranthus mannii</i>

En total, de los 54 taxa representados (51 con descripciones en el atlas), 21 son endémicos, siendo cercana al 40% la representación de los mismos, la figura 9 muestra la relación de familias con taxa endémicos del archipiélago.

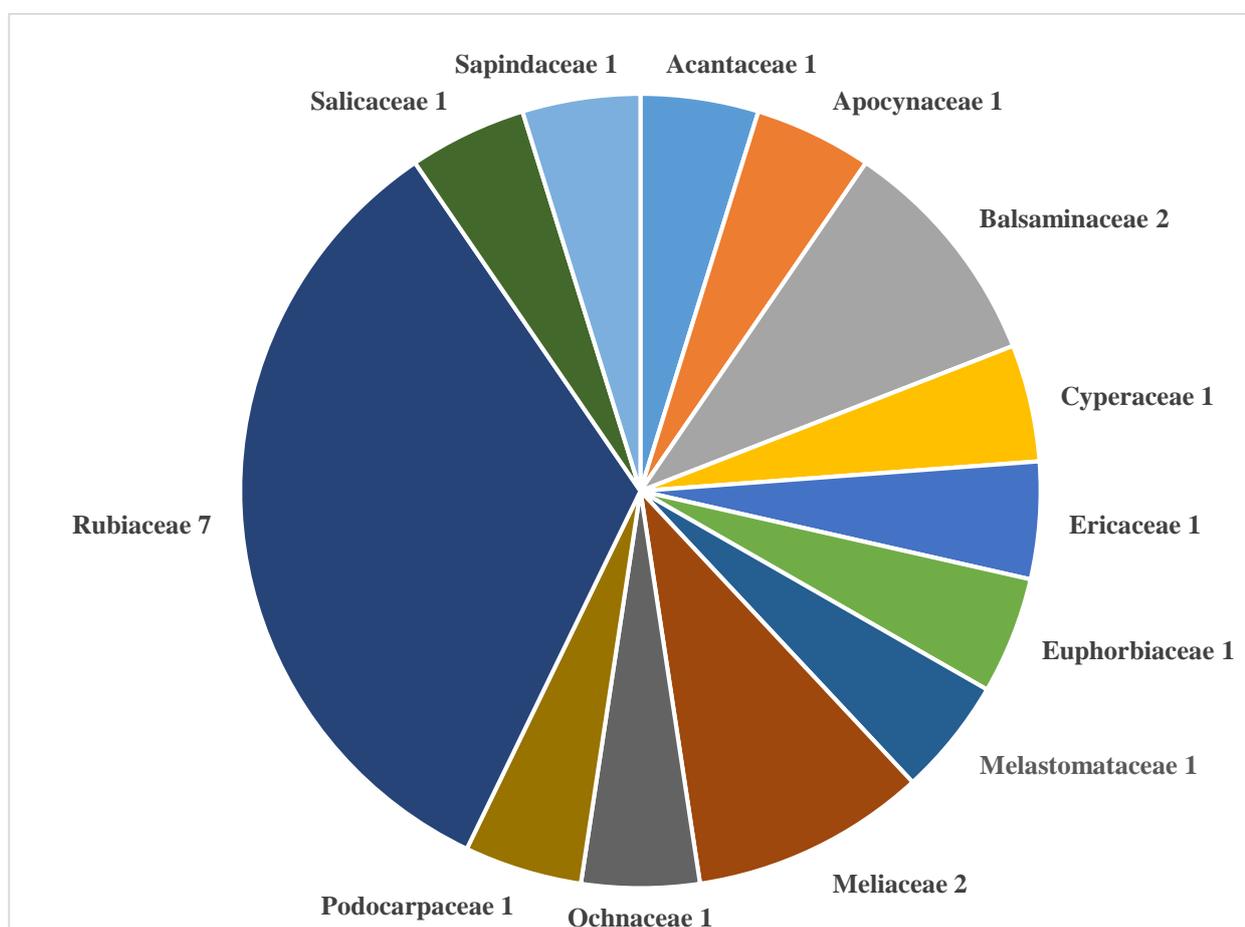


Figura 9: Familias representadas en el atlas (São Tomé y Príncipe) que contienen taxa endémicos. Los valores asociados a las familias corresponden al número de taxa endémicos.

De las 135 familias presentes en el archipiélago, 26 están representadas en este trabajo (Figura 10). De estas 26 familias, 2 están exclusivamente representadas por taxa introducidos en el archipiélago *Piper umbellatum* y *Rubus rosifolius*, Piperaceae y

Rosaceae, respectivamente. Con respecto a géneros representados en el atlas la cifra asciende a 49, de los cuales uno es endémico (*Paulo-wilhelmia* syn *Heteradelphia*).

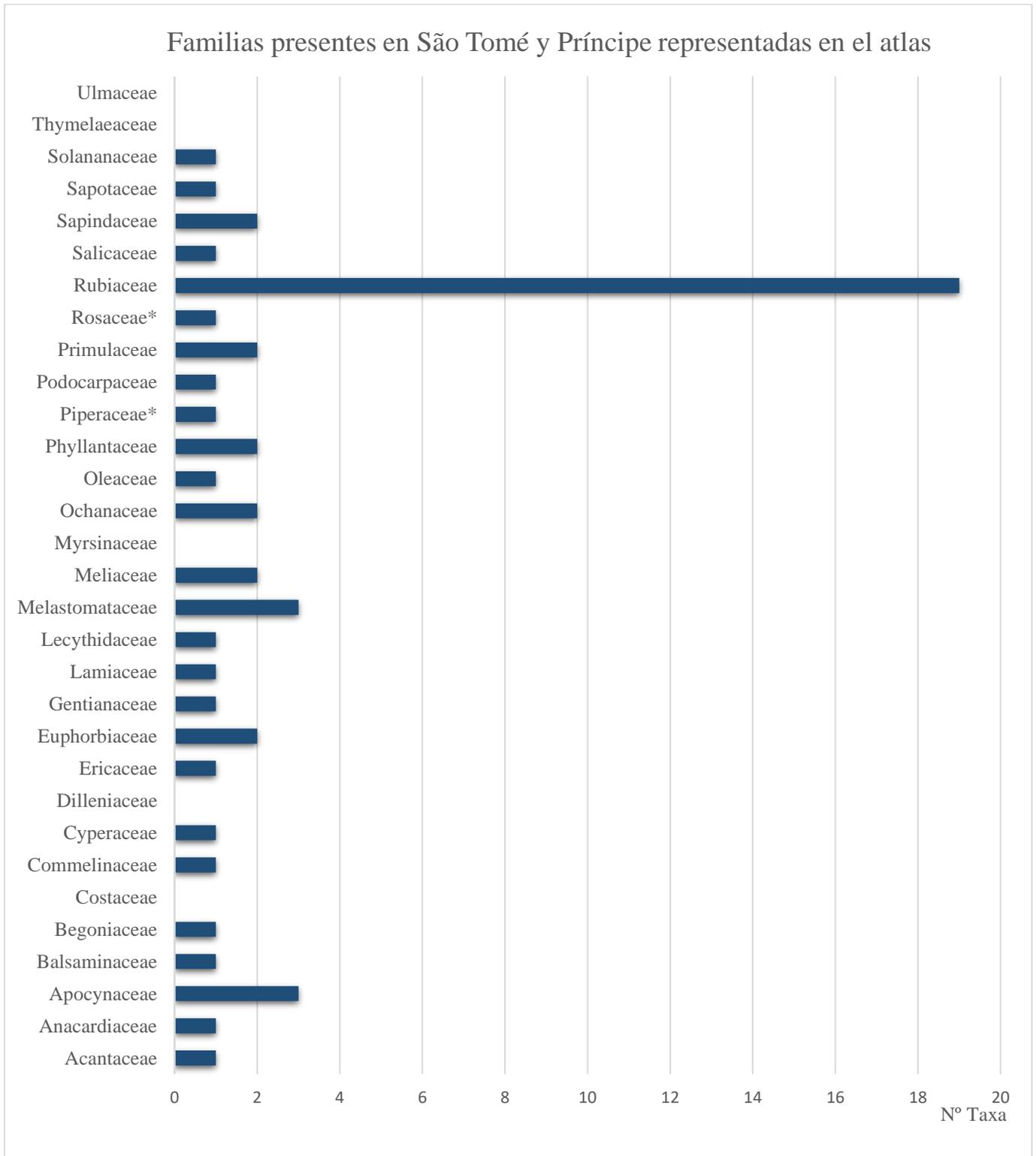


Figura 10: Familias presentes en las islas de São Tomé y Príncipe representadas en el atlas (N=26). Las familias Costaceae, Dilleniaceae, Thymelaeaceae y Ulmaceae, con valor = 0, son las que corresponden a muestras que no contenían granos de polen (ausentes).

En términos de endemidad, se ha considerado así a los taxa cuya presencia se restringe a una o ambas islas, no considerándose endémicas las especies también presentes en el resto de islas del Golfo de Guinea. De las 54 especies representadas en el atlas, 21 son endémicas (38,9%), 6 especies son introducidas (11,1%) y los 27 taxa restantes (50,0%) son especies cuya distribución en las islas es nativa. Debido a la falta de un registro oficial no se indica si son nativas seguras o probables (Figura 11).

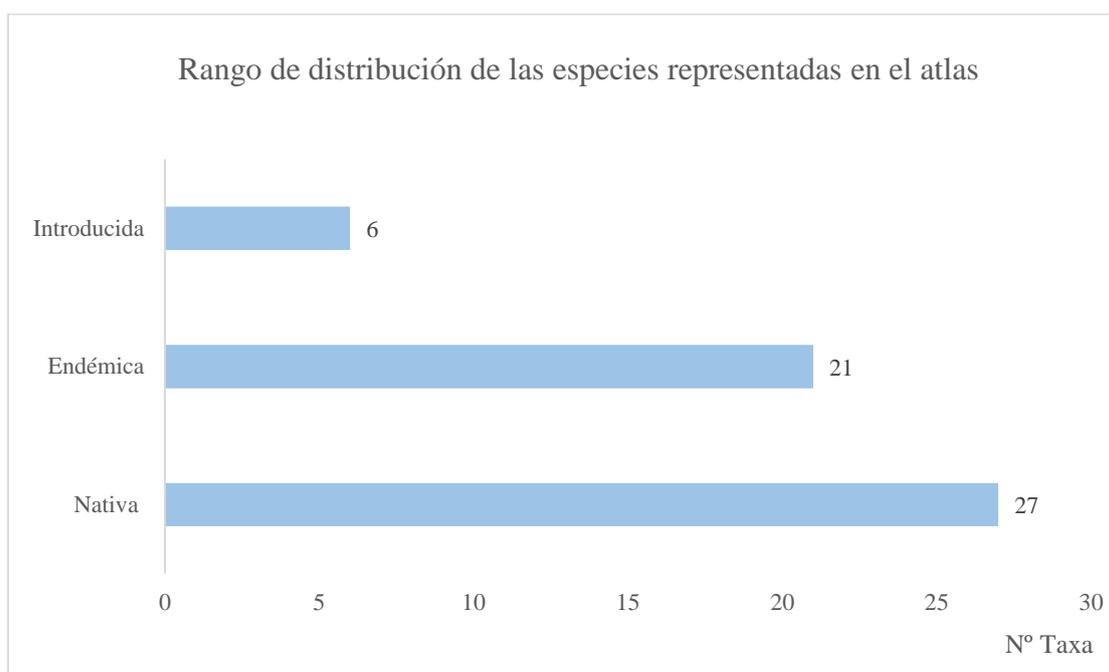


Figura 11: Origen de las especies representadas en el atlas acorde a las categorías: endémica (taxa cuya distribución es exclusiva en ambas islas), nativa (taxa nativos del archipiélago y enclave continental, Golfo de Guinea) e introducida (flora introducida en el archipiélago).

3.5 Análisis de abundancia polínica

3.5.1 Análisis de abundancia por taxa (muestras de herbario) y familia

La abundancia polínica se ha definido en 4 categorías (por orden creciente de granos de polen) según la concentración de en la preparación resultante: ausente (= 0 granos de polen), escaso (entre 1 y 5 granos de polen), presente (entre 6 y 10 granos de polen) y abundante (> 10 granos de polen por muestra).

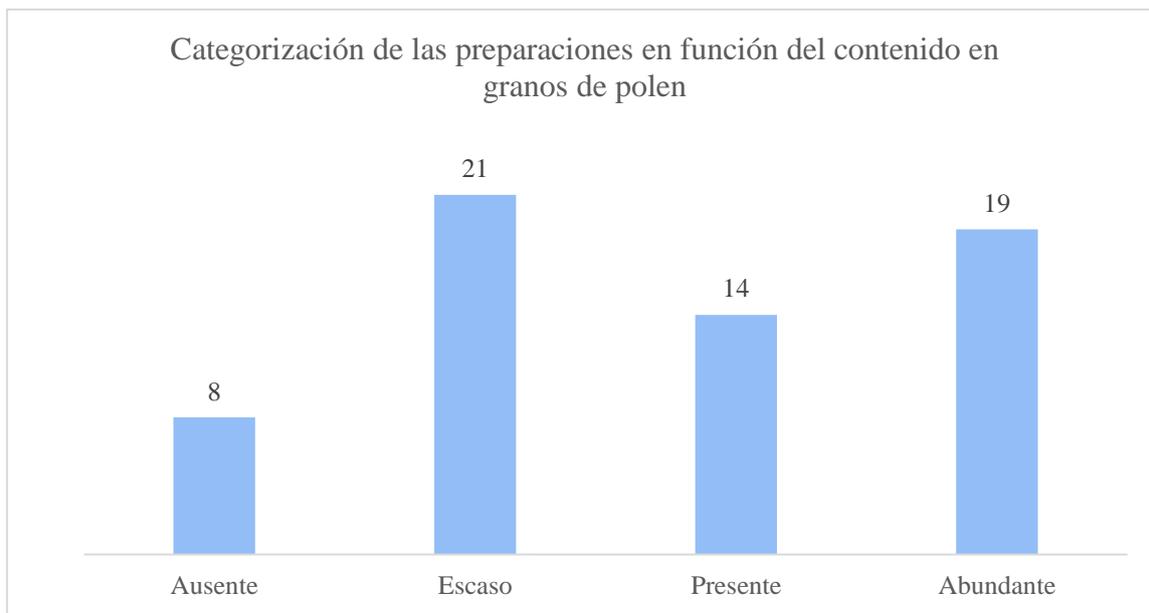


Figura 12: Relación de las categorías (acorde a su contenido polínico) asignadas a las preparaciones resultantes. Las categorías resultantes son: ausente, 8 (sin granos de polen); escaso, 21 (≥ 5 granos/muestra); presente, 14 (5-10 granos/muestra); abundante, 19 (>10 granos/muestra).

Según estas 4 categorías establecidas, obtenemos los siguientes resultados de abundancia polínica de las preparaciones por familias muestreadas para ser representadas en el atlas y el número de taxa que componen las mismas, aunque en la mayor parte de los casos las familias se encuentran conformadas por un único taxa.

- **Ausente:** los 8 taxa incluidos en la categoría “ausente” pertenecen a 8 familias distintas, una de las muestras resultantes está incluida en esta categoría (ST 30, Thymelaeaceae) por presentar indicios de contaminación, es decir, granos de polen no correspondientes al taxa del pliego (Tabla 14).

Tabla 14: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “ausente”, cuyas preparaciones no presentan granos de polen.

Categorización (polen/muestra)	Ausente
Familia	Número de taxa
Begoniaceae	1
Cannabaceae (syn Ulmaceae)	1
Costaceae	1
Dilleniaceae	1
Euphorbiaceae	1
Ochnaceae	1
Solanaceae	1
Thymelaeaceae	1

- **Escaso:** los 21 taxa incluidos en la categoría “escaso” (hasta 5 granos de polen enteros por preparación) pertenecen a 14 familias; todas están integradas por un único taxa, a excepción de Apocynaceae (2), Meliaceae (2) y Rubiaceae (6) (Tabla 15).

Tabla 15: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “escaso”, cuyas preparaciones presentan ($N \leq 5$) granos de polen.

Categorización (polen/muestra)	Escaso
Familia	Número de taxa
Anacardiaceae	1
Apocynaceae	2
Balsaminaceae	1
Cyperaceae	1
Euphorbiaceae	1
Lecythidaceae	1
Melastomataceae	1
Meliaceae	2
Phyllanthaceae	1
Rosaceae	1
Rubiaceae	6
Salicaceae	1
Sapotaceae	1
Solanaceae	1

- **Presente:** los 14 taxa incluidos en la categoría “presente” (entre 6 y 10 granos de polen enteros por preparación) pertenecen a 8 familias. Solamente en la familia Rubiaceae hay más de un taxa correspondiente a esta categoría (7) (Tabla 16).

Tabla 16: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “presente”, cuyas preparaciones presentan ($5 < N \leq 10$) granos de polen.

Categorización (polen/muestra)	Presente
Familia	Número de taxa
Apocynaceae	1
Commelinaceae	1
Ochnaceae	1
Phyllanthaceae	1
Podocarpaceae	1
Primulaceae	2
Rubiaceae	6
Sapindaceae	1

- **Abundante:** los 19 taxa incluidos en la categoría “abundante” (más de 10 granos de polen/preparación) pertenecen a 12 familias, (Tabla 17), de las cuales tan solo Rubiaceae (7) y Melastomataceae (2) contienen más de un taxa en la categoría.

Tabla 17: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “abundante”, cuyas preparaciones presentan ($N > 10$) granos de polen.

Categorización (polen/ muestra)	Abundante
Familia	Número de taxa
Acantaceae	1
Begoniaceae	1
Ericaceae	1
Euphorbiaceae	1
Gentianaceae	1
Lamiaceae	1
Melastomataceae	2

Ochnaceae	1
Oleaceae	1
Piperaceae	1
Rubiaceae	7
Sapindaceae	1

3.5.2 Análisis de abundancia polínica en función del tipo de polinización

El muestreo inicial comprendió un total de 30 familias presentes en el archipiélago, de las cuales 4 no están representadas en el atlas debido a la ausencia de granos de polen (o contaminación, en una de las muestras) en las preparaciones resultantes. La información y descripciones relativas al tipo de polinización se hacen a nivel de familia, de manera genérica, en alusión a la polinización o polinizador más frecuente en cada grupo (familia) acorde a la bibliografía disponible consultada, si bien hay que considerar que la gran mayoría de los grupos presenta más de un sistema de polinización o no tiene polinizador exclusivo, además de existir cierto déficit de estudios relativos a la biología reproductiva en algunas familias y géneros.

En las familias muestreadas (30), y a rasgos generales, el sistema de polinización más frecuente es la entomofilia, presente de manera mayoritaria en 21 de las familias, siendo las abejas los polinizadores más frecuentes. En las familias representadas en el atlas (26), la polinización más frecuente es la entomófila (19), seguida de la anemófila (4), zooófila (2) y ornitófila (1) (Tabla 18). En las 4 familias no presentes, con el fin de establecer si existen relaciones entre la ausencia de granos de polen en la muestra y el tipo de polinización, se obtienen los siguientes datos: 2 familias presentan polinización entomófila (Dilleniaceae, Thymelaeaceae), una ornitófila (Costaceae) y una anemófila (Cannabaceae).

Tabla 18: Relación de familias presentes en el atlas y el tipo de polinización (mayoritaria y secundaria). En gris se señalan las familias no representadas en el atlas (pólenes ausentes).

Familia	Polinización mayoritaria	Polinización secundaria
Acantaceae	entomófila	
Anacardiaceae	entomófila	
Apocynaceae	entomófila	
Balsaminaceae	entomófila	
Begoniaceae	entomófila	
Cannabaceae	anemófila	
Costaceae	ornitófila	quiropterófila
Commelinaceae	entomófila	
Cyperaceae	anemófila	
Dilleniaceae	entomófila	quiropterófila
Ericaceae	entomófila	ornitófila
Euphorbiaceae	anemófila	entomófila
Gentianaceae	entomófila	

Lamiaceae	zoófila	entomófila y ornitófila
Lecythidaceae	ornitófila	quiropterófila
Melastomataceae	entomófila	ornitófila y quiropterófila
Meliaceae	entomófila	
Ochnaceae	entomófila	
Oleaceae	entomófila	anemófila
Phyllanthaceae	entomófila	
Piperaceae	anemófila	entomófila
Podocarpaceae	anemófila	
Primulaceae	entomófila	anemófila
Rosaceae	entomófila	anemófila
Rubiaceae	zoófila	anemófila
Salicaceae	entomófila	
Sapindaceae	entomófila	
Sapotaceae	entomófila	quiropterófila
Solanaceae	entomófila	ornitófila
Thymelaeaceae	entomófila	

Acorde a la categorización de las muestras en función del contenido polínico obtenemos los siguientes resultados (Figura 13):

- Las **muestras ausentes** se corresponden mayoritariamente con familias de polinización entomófila (5); seguidas de anemófila (2) y ornitófila (1).
- Las **muestras escasas** se corresponden con familias que muestran polinización entomófila (8), zoófila (6), anemófila (2) y ornitófila (1).
- Las **muestras presentes** se corresponden con familias que muestran polinización entomófila (7), zoófila (6), anemófila (1) y ornitófila (1).
- Las **muestras abundantes** se distribuyen mayoritariamente en familias cuya polinización es entomófila (9), zoófila (8) y anemófila (2).

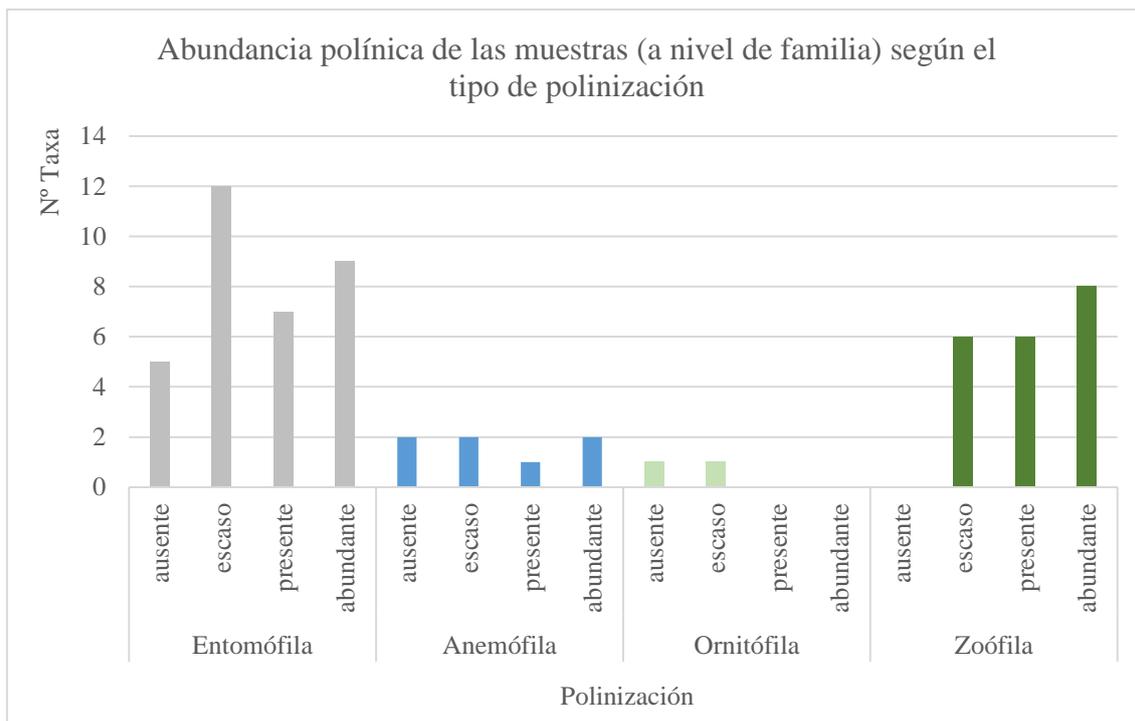


Figura 13: Relación de categorías (ausente, escaso, presente, abundante) de abundancia polínica (por familias) en relación al tipo de polinización principal. La polinización entomófila es la mayoritaria en las familias presentes en el atlas.

3.6 Análisis de preservación del material polínico

3.6.1 Análisis de preservación de los granos de polen por familia

Se ha considerado material polínico en mal estado de preservación el de muestras donde se encontró un único grano de polen o bien granos de polen muy degradados (1-2) y/o fusionados (lámina suplementaria II), como aquellas preparaciones de las cuales no se obtuvo material polínico (categoría ausente, 8). Por un lado, los taxa de la lámina suplementaria II corresponden a 2 familias, Melastomataceae (1) y Rubiaceae (2), por lo que no se puede señalar una única familia característica por presentar muestras de polen en mal estado de preservación. Por otro lado, los 8 taxa donde no se encontró polen, categoría ausente, se distribuyen en 8 familias: Begoniaceae, Cannabaceae (syn Ulmaceae), Costaceae, Dilleniaceae, Euphorbiaceae, Ochnaceae, Solanaceae, Thymelaeaceae.

3.6.2 Análisis de abundancia polínica por fecha de recolección del pliego de herbario

Las fichas correspondientes a los pliegos de herbario no contenían la información completa para todos los taxa, por lo que de las 62 muestras se tienen los datos de fecha de recolección para 38 pliegos (9 de la isla de Príncipe, y 29 de la isla de São Tomé). En una aproximación para determinar si existía relación entre la fecha de recolección y la

abundancia y estado del polen en la preparación resultante se obtienen los siguientes datos:

- **Ausente** (8): de esta categoría, solo se cuenta con 3 fechas de recolección, por años: 1994, 2004, 2017.
- **Escaso** (21): de esta categoría se obtienen 11 fechas de recolección, por años: 1994, 1995, 1997 (2), 1998, 1999, 2004 (2), 2008, 2009, 2018.
- **Presente** (14): de esta categoría se cuenta con fecha de 11 pliegos, por años: 1994, 1997 (2), 1999, 2017 (2); 2018, 2019.
- **Abundante** (19): de esta categoría se cuenta con fecha de 13 pliegos, por años: 1994 (4), 1997 (2), 1998, 1999 (2), 2004, 2016, 2019.

4. Discusión

4.1 Utilidad y cobertura del atlas

Este estudio constituye una de las primeras aproximaciones a la palinología de las islas del Golfo de Guinea debido a la escasez de estudios en este ámbito del conocimiento.

Por tanto, este trabajo supone un punto de partida para la identificación de los tipos polínicos presentes en la flora del archipiélago, de especial relevancia en el caso de especies endémicas, para las cuales, constituyen las primeras imágenes y descripciones existentes. El atlas abarca una representación cercana al 20% (17,65%) de los endemismos de la flora vascular de ambas islas y contiene, aproximadamente, el 20% (19,26%) de las familias presentes en el archipiélago (Figuras 14 y 15, respectivamente).

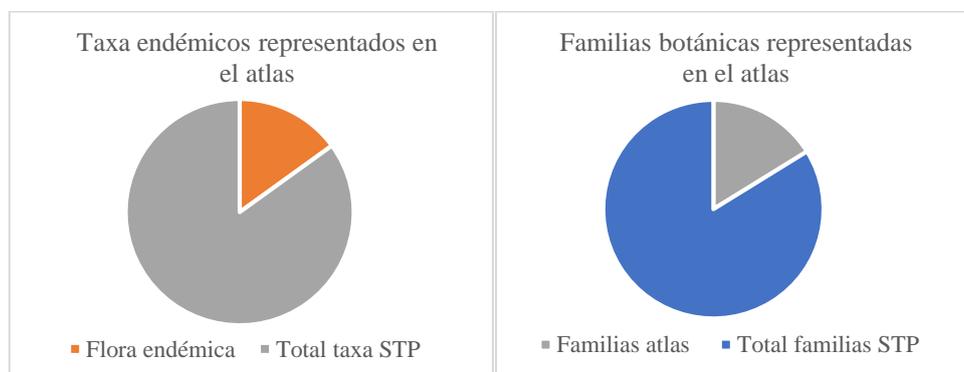


Figura 14: Taxa de flora endémicos de las islas São Tomé y Príncipe representados en el atlas polínico (izquierda).

Figura 15: Familias botánicas presentes en las islas São Tomé y Príncipe representadas en el atlas polínico (derecha).

Hasta el momento, los atlas polínicos más importantes de la flora africana son los trabajos de Reille, *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (Reille, 1998, 1999), la colección de referencia global del Proyecto Global Pollen, que recopila información de colecciones de referencia independientes (<https://globalpollenproject.org/>) y el repositorio virtual African Pollen Database (<https://africanpollendatabase.ipsl.fr>), este último recurso contiene un inventario de polen fósil y muestras de polen moderno correspondientes a 1145 taxa, con especial atención al polen perteneciente a árboles tropicales (Vincens *et al.*, 2007).

En adición, diversos autores y autoras han contribuido significativamente al conocimiento del polen con atlas de flora africana que han permitido la identificación de los tipos polínicos, por regiones o países, como el norte de África (Reille, 1998, 1999), este de África (Riollet & Bonnefille, 1976; Gosling, Miller & Livingstone, 2013; Schuler & Hemp, 2016), Etiopía (Bonnefille, 1971a, 1971b) Sudán (El Ghazali, 1993), Chad

(Maley, 1970), Nigeria (Suwunmi, 1973, 1995), Costa de Marfil (Ybert, 1979) o Sudáfrica (Scott, 1982; van Zinderen Bakker, 1953, 1956, van Zinderen Bakker & Coetzee 1959). Sin embargo, estas valiosas contribuciones no han tenido como objeto de estudio el marco geográfico en el que se sitúa el presente trabajo, el archipiélago de São Tomé y Príncipe.

De los atlas que se han centrado en la flora del margen oeste africano destacan, por su utilidad en este trabajo el *Atlas of the tropical West African pollen flora* (Gosling *et al.*, 2013), con un total de 364 taxa para el margen oeste de África, el *Atlas of pollen and spores and their parent taxa of Mt Kilimanjaro and tropical East Africa* (Schüler & Hemp, 2016), con un total de 240 taxa del Monte Kilimanjaro y el margen este de África tropical, y el trabajo de Daniel & Figueiredo (2009), *Acanthaceae of São Tomé and Príncipe*.

Tras revisión y búsqueda bibliográfica se observa que, de los tipos polínicos representados en *Atlas of the tropical West African pollen flora* (Gosling *et al.*, 2013), se tiene en común 1 especie (*Allophylus africanus*), 15 géneros (de los 49 presentes en el atlas que abarcan el 7,85% de los géneros presentes en São Tomé y Príncipe) y 12 familias (de las 26 en el atlas). De los tipos polínicos representados en *Atlas of pollen and spores and their parent taxa of Mt Kilimanjaro and tropical East Africa*, coinciden 2 especies (*Olea capensis* y *Rapanea melanophloeos*), 15 géneros y 12 familias, pero ninguna especie con estatus endémico. De los tipos polínicos representados en *The California Academy of Sciences Gulf of Guinea Expeditions* (2001, 2006, 2008) VII. *Acanthaceae of São Tomé and Príncipe* (Daniel & Figueiredo, 2009) tan solo se tiene 1 especie representada en este atlas, el endemismo *Heteradelphina paulowilhelmia* (syn *Paulo-wilhelmia nobilis*). De los tipos polínicos representados en la web del Proyecto Global Pollen, se obtienen en común 22 familias, 38 géneros, y 4 especies de las representadas en este trabajo, sin coincidencias para taxa endémicos.

En el contexto de los atlas de polen de África, se concluye que en términos de representatividad (número de especies) es necesario aumentar el esfuerzo de muestreo (mayor representación) para estas islas, tanto de muestras procedentes de material herborizado en el propio HSTP, como de material disponible en otros herbarios e incluso, de ser posible, de material fresco, debido a que el atlas, en este momento contiene un 6% de las especies de flora vascular nativa presente en el archipiélago (4,9% del total de especies de flora presente en las islas, si además de las especies nativas se incluyen las

especies introducidas). La adición al presente trabajo de nuevas especies de flora vascular tomense representará una expansión del campo de conocimiento de la palinología y contribuirá a optimizar la identificación de los pólenes de taxa presentes en la región. Además, la incorporación de esporas de briófitos e incluso de palinomorfos brindará un conocimiento mayor y más certero de las especies vegetales y de la dinámica ecológica del bosque para poder realizar interpretaciones fidedignas de los cambios acaecidos por la vegetación presente actualmente en el archipiélago, además de contribuir al resto de aplicaciones y campos de estudio relacionados.

4.2 Consideraciones sobre la abundancia polínica y preservación del material polínico

En este trabajo se ha considerado la abundancia de las muestras en función del número de granos de polen por preparación. Las muestras de los 8 taxa asignados a la categoría ausente (sin contenido en granos de polen) y las muestras de 3 de los taxa asignados a la categoría escaso ($N < 5$ granos de polen/muestra, lámina suplementaria II), han sido considerados en mal estado de preservación. Debido a que estos taxa pertenecen a 10 familias taxonómicas (Begoniaceae, Cannabaceae (syn Ulmaceae), Costaceae, Dilleniaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Ochnaceae, Rubiaceae, Solanaceae y Thymelaeaceae) no se pueden hacer relaciones directas entre el estado de preservación y la familia taxonómica a la que pertenece la muestra, ya que, en la mitad de los casos (5 de estas familias), están constituidas por un único taxa. Por el contrario, las muestras con material abundante ($N > 10$ granos de polen) pertenecen a 12 familias de las cuales tan solo Rubiaceae (7) y Melastomataceae (2) contienen más de un taxa en la categoría.

La familia Rubiaceae, la de mayor representación en especies de este trabajo, está conformada por 19 taxa, por lo que no se pueden sacar conclusiones a partir de 2 muestras con pólenes preservados en mal estado (lámina suplementaria II), ya que el resto de los taxa se distribuyen de manera bastante equitativa en las 3 categorías de presencia (escaso, presente y abundante). En el caso de la familia Melastomataceae, 2 de los 3 taxa que la conforman presentan muestras abundantes, la tercera muestra corresponde a la categoría escaso.

En cuanto a la relación entre el sistema de polinización predominante en la familia y las categorías de abundancia se obtiene que, en las familias muestreadas en este trabajo, el sistema de polinización más frecuente es la entomofilia (19), siendo las abejas los polinizadores más comunes, seguido de anemofilia (4), zoofilia (2) y ornitofilia (1). En

las 4 familias de las que no se obtuvo granos de polen, 2 familias presentan polinización entomófila (Dilleniaceae, Thymelaeaceae), una ornitófila (Costaceae) y una anemófila (Cannabaceae syn Ulmaceae). Como en todas las categorías de abundancia polínica la polinización entomófila es la predominante, tampoco se establecen relaciones entre ambas.

La polinización mediada por abejas es el sistema de polinización más frecuente entre las familias representadas en este trabajo. Existen estudios que ponen de manifiesto que las abejas visitan flores basándose en la morfología del polen que contienen (Peng *et al.*, 1985; Lobreau-Callen & Coutin, 1987; Fluri *et al.*, 2001). Además, Woodhouse (1935) postula que especies cuyos pólenes tienen tamaños comprendidos entre los 20-40 μm estos están adaptados a ser liberados por las anteras, transportados por vientos ligeros y, su polinización, está mediada por insectos, lo cual refuerza que la observación de pólenes o bien muy pequeños, o muy grandes, se vincule a síndromes de polinización específicos (Dessein *et al.*, 2005), lo que podría guardar relación con el hecho de que los taxa liberen menores concentraciones de polen, con la consecuente reducción de esfuerzo reproductivo.

Además de la adscripción taxonómica de las muestras a una familia, el factor preservación, es decir, el tiempo que la muestra ha sido conservada en el herbario desde su recolección, fecha de recolección del pliego, puede determinar el estado del material polínico. En este caso, de las 62 muestras iniciales se tienen datos de recolección de 38 pliegos (9 de la isla de Príncipe, y 29 de la isla de São Tomé). Debido a que en todas las categorías faltan datos considerables de fechas, y el rango de fechas de recolección de los pliegos está comprendido en un periodo superior a 20 años en todos los casos, no puede determinarse que la abundancia de material polínico en la muestra pueda relacionarse con el estado de conservación del pliego. Para poder determinar si existe relación entre el tiempo de preservación del material (antigüedad) y la escasez de granos de polen, es preciso conocer la fecha de recolección de los pliegos.

En referencia a la relación entre muestras de herbario y estado de preservación de las mismas, resulta ser un tema que, al menos con registros publicados, no parece haber recibido atención. Tras haber revisado la literatura, en los atlas consultados en este trabajo, en la mayoría se parte de muestras obtenidas de material de herbario y/o fresco, sin embargo, no dan información acerca del estado de preservación del material polínico. En este caso, y acorde a la escasez, en términos generales de material obtenido de las

muestras del herbario HSTP, no podemos determinar si el factor limitante es la preservación de los pliegos, o la naturaleza del material.

En términos generales, se considera que, con independencia del tiempo y condiciones a las que pueda estar sometido el material herborizado, la obtención de polen de referencia a partir de pliegos de herbario es menos fructífera que la recolección de material fresco en campo. El material fresco es siempre mucho más reciente que el de los herbarios y en su recolección se pueden tomar muestras pertenecientes a más de un individuo, lo que compensa la variabilidad de productividad de polen (ratio polen-óvulo) que se puede encontrar cuando se colectan flores de un único individuo.

4.3 Consideraciones sobre los caracteres morfológicos del material polínico del atlas

Los granos de polen de los 51 taxa descritos en este trabajo reúnen las siguientes características:

- La unidad de dispersión más frecuente es la mónada (96%).
- Los pólenes simétricos y radiales son los más abundantes, representando más del 90% de las muestras (se exceptúan las tétradas, 2 taxa apolares e inaperturados y 2 heteropolares, simetría bilateral).
- El tipo de aperturas más frecuente en los taxa que componen el atlas son las aperturas compuestas de tipo colporo (23), con ectoaperturas alargadas seguidas de las aperturas simples tipo colpo (13) y de tipo poro (8), el resto de aperturas, leptoma (1), heterocolpo (3) y sulco (1), representan el 10% del total.
- Los taxa inaperturados (2) representan el 4% de los tipos descritos.
- Forma (ratio P/E): los pólenes de tipo oblato (incluye: suboblato y perprolato) son los más frecuentes, 14, seguidos de prolato (incluye: subprolato), 12, y esferoidal (incluye: oblato-esferoidal), 11.
- Tamaño: según Erdtman (1943) atiende a la longitud del eje mayor (P o E), en este caso al haberse tomado la medida de los 2 ejes en vp y 2 ejes en ve se ha estimado en base a la media del eje mayor. Los rangos de tamaño del polen representado oscilan entre los 8,61 y los 88,95 μm (rangos mínimo y máximo de los ejes medidos). Siendo la categoría de polen pequeño (10-25 μm) la más frecuente, en 34 de las 51 descripciones.
- En general (53%), las cubiertas de los tipos polínicos representados son muy finas, presentando un espesor medio $\leq 1 \mu\text{m}$ de manera mayoritaria (27 taxa), seguidas

de espesor comprendido entre 1 y 2 μm (20 taxa), mientras que las exinas gruesas, > 2 y 3 μm , están presentes en tan solo el 8% de los taxa del atlas (3 taxa y 1 taxa, respectivamente).

- Los taxa de la familia Rubiaceae presentan mayoritariamente aperturas de tipo colporo (7 taxa) y colpo (6 taxa), en cuanto al número de aperturas, 3 aperturas son las más frecuentes (9 taxa). Este dato concuerda con lo postulado por Dessein *et al.*, (2005), autores que sostienen que en Rubiaceae las aperturas más frecuentes son las de tipo compuesto y el número de aperturas, 3, lo que parece un carácter plesiomórfico.
- En cuanto al tamaño de los taxa no introducidos (nativos y endémicos) de la familia Rubiaceae representados (14), son mayoritariamente pequeños (9), los grandes (4) pertenecen al género *Psychotria* (3) y *Chassalia* (1).

La variabilidad morfológica de los granos de polen obtenida a partir de las características analizadas en el conjunto de especies seleccionadas indica que la mayoría de los taxa tienen una baja redundancia morfológica (i.e. si muchos granos de polen, con independencia del taxa al que pertenezcan, tienen morfologías parecidas, la capacidad para discriminar a nivel de especie, género o familia, es muy baja, es decir, son de baja utilidad para la identificación) y pueden ser diferenciados a distintos niveles taxonómicos, lo que se traduce en un atlas preliminar con suficiente potencial para su aplicación en estudios ecológicos.

4.4 Aplicaciones potenciales

La elaboración de un primer atlas palinológico de flora de STP es un paso inicial para el desarrollo de estudios de índole palinológica en las islas del Golfo de Guinea. La más inmediata de estas aplicaciones es el estudio del cambio del paisaje y la vegetación por medio del empleo de técnicas paleoecológicas, mediante el estudio de polen fósil en lugares de acumulación de sedimentos en el archipiélago. Este tipo de estudios requieren de material de referencia para proceder a la correcta identificación taxonómica del polen y su agrupación en categorías ecológicas. Investigando el cambio de vegetación en el pasado (e.g. Holoceno) y la respuesta de la vegetación a los impactos humanos desde la llegada de los colonos portugueses, tal y como se ha llevado a cabo en otros archipiélagos atlánticos como Cabo Verde (e.g. Castilla Beltrán *et al.*, 2021), se podrá ofrecer una visión fidedigna a largo plazo de los principales retos medioambientales a abordar y llevar a

cabo restauraciones ecológicas, desarrollar e implementar iniciativas de conservación y marcos legales de gestión de la biodiversidad, conservación y restauración, basados en evidencias científicas (Nogué *et al.*, 2017). Asimismo, futuras incorporaciones al atlas de especies costeras o características de formaciones de bosque secundario permitirán desarrollar el estudio paleoecológico de otras áreas del archipiélago que han sufrido importantes transformaciones en el período histórico (Dinis & Matos, 2002).

Este atlas también constituye una significativa aportación a la realización de estudios de interacción planta-animal, cuya relevancia en el mantenimiento de la biodiversidad y de procesos evolutivos ya se han puesto de manifiesto en otros sistemas insulares (Dupont *et al.*, 2004; Traveset & Santamaría, 2004; Traveset, Nogales & Navarro, 2009; Valido, Rodríguez-Rodríguez & Jordano, 2011; Rasoloarijao *et al.*, 2019). Estos estudios tienen el potencial de arrojar luz sobre cómo la actividad antrópica está modificando la estructura de las redes ecológicas, causando previsiblemente la pérdida de biodiversidad nativa y la creación de ecosistemas noveles, además de proporcionar claves para la conservación de la biodiversidad.

El estudio también tiene aplicaciones potenciales para el desarrollo de disciplinas con repercusiones en el ámbito socioeconómico y sanitario, como la melisopalinología y la aerobiología. La melisopalinología, dedicada al estudio del origen botánico y geográfico de las mieles, entre sus finalidades persigue el estudio de las propiedades físico-químicas de las mieles para determinar su calidad (La Serna, Méndez & Gómez, 1999, 2002; Santos Vilar, 2004) y garantizar las propiedades alimentarias y/o curativas de las mismas (Schencke *et al.*, 2016;) o la aerobiología y sus múltiples aplicaciones en la salud de las personas (Trigo *et al.*, 2007; Damialis *et al.*, 2021). El desarrollo de estos campos de estudio, pueden proporcionar herramientas para el aprovechamiento de la flora apícola nativa y su contribución a la gestión sostenible de la apicultura (Fauna & Flora International, 2019; Cano *et al.*, 2021), especialmente importante en sistemas insulares.

Finamente, este trabajo puede contribuir en la resolución de interrogantes de tipo taxonómico que se reflejan en la morfología polínica y pueden llegar a permitir la interpretación de fenómenos de especiación o puedan contribuir al esclarecimiento de relaciones evolutivas en la familia Rubiaceae (Dessein *et al.*, 2005), de suma importancia en el archipiélago, por su abundancia y representatividad.

5. Limitaciones y perspectivas futuras

Este estudio debe ser considerado como un primer paso hacia el estudio taxonómico de la palinología de las islas del Golfo de Guinea, y como tal, tanto el número de especies que incluye, como la naturaleza del material utilizado, son factores limitantes.

En este sentido, los aspectos que podrían considerarse limitantes son la relación de taxa representados y el contenido de granos de polen resultante de las preparaciones debido al uso de material procedente de pliegos de herbario. Mientras que el material de herbario ofrece la posibilidad de obtener muestras de un elevado número de especies de forma rápida y con garantías en cuanto a su identificación taxonómica se refiere, no debe sustituir al estudio del polen de flores frescas. El empleo de material vegetal fresco podría contribuir a la observación de los caracteres polínicos de manera más efectiva que mediante el empleo de material de herbario, aún suponiendo costes más elevados e implicando el conocimiento de las poblaciones, los taxa y la fenología floral.

En términos de cobertura del atlas, es necesaria una representación más amplia, tanto del bosque montano, como del resto de formaciones vegetales presentes en las islas para continuar completando el atlas, por lo que este trabajo, debido a su naturaleza y extensión supone una primera aproximación al campo de la palinología *per se* en las islas del Golfo de Guinea. En segundo lugar, para poder ofrecer descripciones más robustas es precisa una mayor cantidad de material polínico, ya que el número de muestras abundantes ($N > 10$) es inferior al deseado y al número empleado en trabajos de taxonomía polínica ($N=100$ o $N=30$, Julia Pérez de Paz, comm pers.).

Por otra parte, sería conveniente contrastar si el protocolo empleado optimiza la obtención de granos de polen a partir del material de partida. El motivo por el que en este trabajo se descarta el empleo de la acetólisis de Erdtman (1960, 1969) es debido a la escasez y fragilidad del material de referencia. El método empleado, se toma como método de referencia para la preparación de muestras en paleoecología (West, 1968), si bien no constituye una acetólisis clásica, no se hace empleo de ácido acético puro ni se mantienen las proporciones 9:1 (ácido acético/ácido sulfúrico), resulta un método menos agresivo en cuanto a la lisis de los tejidos se refiere. Por esa razón, las familias con granos de polen más lábiles podrían verse favorecidas por este tipo de acetólisis, como es el caso de algunas familias tropicales, que presentan cubiertas menos duras (exina delgada), tal y como se observa en una importante proporción de los taxa que integran este trabajo. La desventaja podría estar en la interpretación de determinados caracteres morfológicos,

como las cubiertas, aperturas y ornamentación, debido a que puede enturbiar la interpretación (Julia Pérez de Paz, comm pers.)

Entre las perspectivas futuras se resalta el empleo de microscopía electrónica, que permite brindar una descripción en profundidad de la estructura y ornamentación de la exina. En este trabajo no fue posible disponer de microscopio electrónico, por un lado, debido a la escasez del material (fue imposible obtener material polínico de las muestras de herbario para el montaje de láminas fijas y para su fijación para microscopía electrónica) y, por otro lado, debido a las limitaciones del equipo, por la falta de microscopía electrónica en sus instalaciones y el coste asociado de usar instalaciones externas.

En definitiva, la contribución de este trabajo constituye una aproximación a la palinología de estas islas, y debe ser reforzado por esfuerzos e investigaciones adicionales que enriquezcan la representación y la información aquí brindada.

6. Conclusiones

- Los registros históricos sugieren que la vegetación de las islas ha experimentado una profunda transformación desde el asentamiento humano. Sin embargo, no existen datos paleoecológicos de las perturbaciones y su magnitud en la composición de especies y formaciones vegetales de los bosques primarios, ni de su rango de distribución previo al impacto de las actividades antrópicas, por lo que este atlas constituye una herramienta para el desarrollo de este tipo de estudios, ofreciendo material de referencia para proceder a la correcta identificación taxonómica del polen y su agrupación en categorías ecológicas.
- La confección de un trabajo propiamente destinado al polen de la flora presente en las islas de São Tomé y Príncipe constituye una de las primeras aproximaciones a los estudios palinológicos en este archipiélago y puede contribuir al desarrollo de otros estudios ecológicos como redes de interacción planta-animal y disciplinas de interés socioeconómico y sanitario, como la melisopalinología y la aerobiología.
- El atlas se compone de un total de 10 láminas con 227 microfotografías a microscopía óptica, las cuales se organizan alfabéticamente por familia, género y especie, de la A-S (láminas I-VIII); una lámina constituida por taxa no nativos de las islas, introducidos, (lámina suplementaria I) y una lámina de polen de especies que, debido a la escasez de material polínico no brindan descripciones (lámina suplementaria II).
- El atlas contiene: 26 familias, 49 géneros y 51 especies presentes en el archipiélago de São Tomé y Príncipe, de las que se brindan descripciones e imágenes suplementarias de 3 taxa. De las especies presentes, 21 son taxa endémicos, 6 introducidos y los restantes son taxa cuya distribución en las islas es nativa.
- La proporción de taxa endémicos presentes en el atlas representa aproximadamente un 20% (17,65%) de la flora vascular endémica del archipiélago, mientras que el 50% restante corresponde a taxa nativos para la flora tomense. La familia que concentra el mayor número de especies endémicas en el atlas es Rubiaceae (7), representando el 33% de las especies endémicas del atlas.
- En cuanto a las especies endémicas representadas en el atlas, 21 brindan imágenes y 19 descripciones morfológicas inéditas.

- En términos generales se puede decir que las preparaciones son escasas en material polínico, ascendiendo a 19 las muestras con más de 10 granos de polen por preparación ($N > 10$), sin llegar a esclarecerse si es debido al método de preparación empleado o a la cantidad y calidad de muestra obtenida del material de referencia.
- El hábitat al que corresponde la mayoría de las muestras de herbario seleccionadas es el bosque montano.
- En las familias muestreadas presentes en el atlas (26), el sistema de polinización más frecuente es la entomofilia (19 familias).
- La variabilidad morfológica de los granos de polen obtenida a partir de los caracteres estudiados en el conjunto de taxa seleccionados refleja una baja redundancia morfológica permitiendo que puedan ser diferenciados los granos de polen a distintos niveles taxonómicos, lo que se traduce en un atlas preliminar con suficiente potencial para su aplicación en estudios ecológicos.

7. Referencias bibliográficas

- Acevedo-Rodríguez, P., van Welzen, P.C., Adema, F. & van der Ham, R.W.J.M. (2011). Sapindaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2011). *Flowering Plants. Eudicots. Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae*. (The Families and Genera of Vascular Plants, vol. 10). Springer, Berlin. Pp: 358–407.
- Adojoh, O., Marret, F., Duller, R. & Osterloff, P. (2019). Taxonomy and phytoecology of palynomorphs and non-pollen palynomorphs: a refined compendium from the West Africa Margin. *Biodiversity International Journal*, 3(5): 188–200.
- Andersen, S.T. (1960). Silicone oil as a mounting medium for pollen grains. *Danmarks. Geologisk Unders*, IV Raekke, 4, nº1.
- AFPD (2022). *African Plants Database: Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Geneve and South African National Biodiversity Institute*, Pretoria, Version 3.4.0 <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/> [Consultado en agosto de 2021-Revisión continua].
- Albuquerque C., Cesarini D. & Tagliabue L.C. (2009). Plano de Manejo do Parque Nacional Obô de São Tomé. ECOFAC IV, São Tomé, São Tomé e Príncipe. Pp. 117.
- Alves, R., Figueiredo, E. & Davis, A.P. (2005). Taxonomy and conservation of the genus *Psychotria* in S. Tomé and Príncipe (Gulf of Guinea). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 147: 469–481.
- Atkinson, P., Peet, N. & Alexander, J. (1991). The status and conservation of the endemic bird species of São Tomé and Príncipe, West Africa. *Bird Conservation International*, 1, 255–282.
- Bonnefille, R. (1971a). Atlas des pollens d’Ethiopie. *Adansonia*, 11, 463–518.
- Bonnefille, R. (1971b). Atlas des pollens d’Ethiopie principales especes des forests de montagne. *Pollen Spores*, 13, 15–72.
- Caldeira, R., Madeira, J., Munhã, J.M., Afonso, R.S., Mata, J., Tassinari, C.C. & Nascimento, E. (2003). Caracterização das principais unidades vulcano-estratigráficas da ilha de São Tomé, Golfo da Guiné: *Ciencias da Terra* (UNL), nºesp. A15–A18.
- Caldeira, R. & Munhã, J.M., (2002). Petrology of ultramafic nodules from São Tomé Island, Cameroon Volcanic Line (oceanic sector): *Journal of African Earth Sciences*, 34: 231–246, DOI: 10.1016/S0899-5362(02)00022-2.
- Cano, C., Luz, C., Benitez, L. & Ferigolli, E. (2021). Estudo do impacto do conteúdo de umidade no mel proveniente da apicultura familiar em mata Atlântica do Vale do Ribeira, São Paulo. Study of the impact of moisture content on honey from family beekeeping in the Atlantic forest of Vale do Ribeira, São Paulo. *REBAGRO*, 11 (2): 428–436. DOI: 10.18378/REBAGRO.V12I2.8911.
- Castilla-Beltrán, A., de Nascimento, L., Fernández-Palacios, J.M., Whittaker, R.J., Willis, K.J., Edwards, M., & Nogué, S. (2021). Anthropogenic transitions from forested to human-dominated landscapes in southern Macaronesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (40), <https://doi.org/10.1073/pnas.2022215118>.

- Chevalier, A. (1939). La Vegetation de l' Ile de San Thomé. *Boletim da Sociedade Broteriana*, 13: 101–116.
- Collar, N. & Stuart, S. N. (1988). *Key Forests for Threatened Birds In Africa*, Cambridge, International Council for Bird Preservation & IUCN - The World Conservation Union.
- Cronin, D.T., Libalah, M. B., Bergl, R.A. & Hearn, G. W. (2014). Biodiversity and conservation of tropical montane ecosystems in the Gulf of Guinea, West Africa. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 46: (4) 891–904. DOI: 10.1657/1938-4246-46.4.891.
- Damialis A., Gilles, S., Sofiev, M., Sofieva, V., Kolek, F., Bayr, D., Plaza, M.P., Leier-Wirtz, V., Kaschuba, S., Ziska, L.H., Bielory, L., Makra, L. & Trigo, M. (2021). COVID-19/POLLEN study group, Traidl-Hoffmann C. Higher airborne pollen concentrations correlated with increased SARS-CoV-2 infection rates, as evidenced from 31 countries across the globe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 18 (12). DOI: 10.1073/pnas.2019034118.
- Daniel, T.F. & Figueiredo, E. (2009). The California Academy of Sciences Gulf of Guinea expeditions (2001, 2006, 2008) VII. Acanthaceae of São Tomé and Príncipe. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 60: 623–674.
- Davis, A.P. & Figueiredo, E. (2007). A checklist of the Rubiaceae (coffee family) of Bioko and Annobon (Equatorial Guinea, Gulf of Guinea). *Systematics and Biodiversity*, 5: 159–186.
- Dessein, S., Ochoterena, H., De Block, P., Lens, F., Robbrecht, E., Schols, P., Smets, E., Vinckier, S., & Huysmans, S. (2005). Palynological characters and their phylogenetic signal in Rubiaceae. *The Botanical Review*, 71 (3): 354–414.
- Direcção Geral do Ambiente (1999). Lei da Conservação da Fauna, Flora e das Áreas Protegidas: Lei nº 11/1999. Ministério dos Recursos Naturais e Ambiente, São Tomé e Príncipe.
- Direcção Geral do Ambiente (2006). Lei do Parque Natural Obô de São Tomé: Lei n.º 6/2006. Ministério dos Recursos Naturais e Ambiente, São Tomé e Príncipe.
- Direcção Geral do Ambiente (2006). Lei do Parque Natural Obô do Príncipe: Lei n.º 7/2006. Ministério dos Recursos Naturais e Ambiente, São Tomé e Príncipe.
- Direcção Geral do Ambiente (2019). IV National Report of Biodiversity Convention on Biological Diversity (CBD). Ministerio de Obras Públicas e Infraestruturas, Recursos Naturais e Ambiente, São Tomé e Príncipe, 89 pp.
- Diniz A.C., & Matos, G.C. (2002). Carta de zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de São Tomé e Príncipe. *Garcia de orta. Serie Botânica*, 14 (2): 23–45.
- Dupont, Y., Hansen, D., Valido, A. & Olesen, J. (2004). Impact of introduced honeybees on native pollination interactions of the endemic *Echium wildpretii* (Boraginaceae) on Tenerife, Canary Islands. *Biological Conservation*, 118: 301–311.
- Dutton, J. (1994). Introduced mammals in São Tomé and Príncipe: possible threats to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 3: 927–938.

- El Ghazali G.E.B. (1993). A study on the pollen flora of Sudan. *Review Palaeobotany Palynology*, 76 (2–4): 99–345.
- Erdtman, G. (1943). *Introduction to Pollen Analysis*. The Chronica Botanica Company, Massachusetts. Pp. 239.
- Erdtman, G. (1952). *Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms: An introduction to palynology*, Vol. I. Almqvist & Wiskell, Stockholm. Pp. 539.
- Erdtman, G. (1960). The acetolysis method. *Svensk Bot Tidskr* 54: 561–564.
- Erdtman, G. (1969). *Handbook of palynology. Morphology, taxonomy, ecology. An introduction to the study of pollen grains and spores*. Hafner, Copenhagen. Pp. 486.
- Exell, A.W. (1944). Catalogue of the vascular plants of S. Tomé (with Príncipe and Annobon). London: British Museum (Natural History). Pp. 428.
- Exell, A.W. (1956). Supplement to the Catalogue of the Vascular Plants of S. Tome (with Principe and Annobon). *Bulletin of the British Museum* (Natural History). London. Pp. 58.
- Exell, A.W. (1973). Angiosperms of the Islands of the Gulf of Guinea (Fernando Po, Principe. S. Tome and Annobon). *Bulletin of the British Museum* (Natural History) - Botany, (8) London. Pp: 327–411.
- Faden, R.B. (1998). Commelinaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (1998), *Flowering Plants & Monocotyledons: Alismatanae and Commelinanae* (Except Gramineae). (The Families and Genera of Vascular Plants, vol. 4). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 109–127.
- Fauna & Flora International. (2019). *Assessment of honey harvest behavior in Príncipe*. Fauna & Flora International, Cambridge, UK. Disponible en: www.fauna-flora.org.
- Figueiredo, E. (1994). Diversity and endemism of angiosperms in the Gulf of Guinea islands. *Biodiversity and Conservation*, 3: 785–793.
- Figueiredo, R.A & Sazima, M. (2000). Pollination biology of Piperaceae species in southeastern Brazil. *Annals of Botany*, 85 (4): 455–460.
- Figueiredo, E. & Gascoigne, A. (2001). Conservation of pteridophytes in São Tomé e Príncipe (Gulf of Guinea). *Biodiversity and Conservation*, 10: 45–68.
- Figueiredo, E. (2005). The Rubiaceae of São Tomé e Príncipe (Gulf of Guinea): taxonomy and conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 149: 85–114. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00433.x>.
- Figueiredo, E., Paiva, J., Stévar, T., Oliveira, F. & Smith, G.F. (2011). Annotated catalogue of the flowering plants of São Tomé and Príncipe. *Bothalia*, 41: 41–82.
- Figueiredo Moura da Silva, E.L. (2019). Tropical medicine behind cocoa slavery: a campaign to eradicate sleeping sickness in the Portuguese colony of Principe Island, 1911-1914. *Bulletin for Spanish and Portuguese Historical Studies*, 44 (1): 28.
- Finch, J., Power, S., Welbergen, J., & Cook, J. (2021). Staying in touch: How highly specialised moth pollinators track host plant phenology in unpredictable climates. *BMC Ecology*, 21 (1): 1–161.
- Fishpool L.D.C. & Evans M.I. (2001). *Important Bird Areas of Africa and associated islands: Priority sites for conservation*. Pisces Publications-BirdLife International, Newbury-Cambridge.
- Fitton, J.G. & Hughes, D.J. (1977). Petrochemistry of the volcanic rocks of the Island of Principe, Gulf of Guinea: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 64: 257–272. DOI: 10.1007/BF00371757.

- Fluri, P., Pickhardt, A., Cottier, V. & Charrière, J.D. (2001). *La pollinisation des plantes à fleurs par les abeilles-Biologie, Écologie, Économie*. AgroscopeLiebefelf-Poiseux, Centre de Recherche Apicole. Pp. 27.
- Goetghebeur, P. (1998). Cyperaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (1998). *Flowering Plants & Monocotyledons*, (The Families and Genera of Vascular Plants, vol. 4). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 141–190.
- González Gutiérrez, K. & Mosquera, H. (2016). Estandarización de la acetólisis de Erdtman (1969) para el análisis palinológico de muestras fecales de murciélagos polinizadores (Phyllostomidae: Glossophaginae - Lonchophyllinae). *Tumbaga* 11: 49–61.
- Gosling, W.D., Miller, C.S. & Livingstone, D.A. (2013). Atlas of the tropical West African pollen flora. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 199: 1–135.
- Green, P.S. (2004). Oleaceae. En: Kadereit, J. Eds. (2004). *Flowering Plants & Dicotyledons*. (The Families and Genera of Vascular Plants, vol. 7). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 296–306.
- Gulf of Guinea Conservation Group, (1993). Disponible en: <https://gulfofguineabiodiversity.org/cbgg>.
- Heleno, R.H., Mendes, F., Coelho, A.P., Ramos, J.A., Palmeirim, J.M., Rainho, A., & de Lima, R.F. (2022). The upsizing of the São Tomé seed dispersal network by introduced animals. *Oikos*, 2022 (2): 1–12. <https://doi-org.bibproxy.ulpgc.es/10.1111/oik.08279>.
- Henriques, J. (1917). A Ilha de São Tomé sob o ponto de vista histórico-natural e agrícola. *Boletim da sociedade Broteriana*, 27: 1–197.
- Henriques, M.H., & Neto, K. (2015). Geoheritage at the Equator: selected geosites of São Tomé island (Cameron Line, Central Africa). *Sustainability*, 7 (1): 648–667. <https://doi.org/10.3390/su7010648>.
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R., Frosch-Radivo, A. & Ulrich, S. (2009). *Pollen terminology an illustrated handbook*. Springer, Wien, New York, Austria. Pp. 261.
- IUCN (1991). *Conservação dos ecossistemas florestais na República democrática de São Tomé e Príncipe*. IUCN, Gland, Suíça e Cambridge, Reino Unido. Pp. 78.
- IUCN (2022). IUCN Red List of Threatened Species [Online]. Gland: International Union for Conservation of Nature. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/> [Consultado en marzo de 2022].
- Jones, P.J., Burlison, J.P. & Tye, A. (1991). *Conservação dos ecossistemas florestais na República Democrática de São Tomé e Príncipe*, IUCN, Gland, Switzerland. Pp. 78.
- Jones, P.J. (1994). Biodiversity in the Gulf of Guinea: an overview. *Biodiversity and conservation*, 3, 772–784.
- Jones, P.J. & Tye, A. (2006). The birds of Príncipe, São Tomé and Annobón: an annotated checklist. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*. 22 British Ornithologists Union & British Ornithologists' Club, Oxford.
- Kalkman, C. (2004). Rosaceae. En: Kubitzki, K. Eds (2004). *Flowering plants & dicotyledons*. (The families and genera of vascular plants, vol. 6). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 343–386.
- Kawakita, A. (2010). Evolution of obligate pollination mutualism in the tribe Phyllanthae (Phyllanthaceae). *Plant Species Biology*, 25 (1): 3–19.
- Kenfack, D. (2011). A synoptic Revision of Carapa (Meliaceae). *Harvard Papers in Botany*, 16 (2): 171–231. <https://doi.org/10.3100/0.25.016.0201>.
- Knapp, S. (2010). On ‘various contrivances’: pollination, phylogeny and flower form in the Solanaceae. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365 (1539): 449–460.
- Kress, W.J. & Beach, J.H. (1994). *Flowering plant reproductive systems*. En: McDade, L.A., Bawa, K.S., Hespenheide, H.A. & Hartshorn, G.S. Eds. (1994). *La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press, Chicago. Pp: 161–182.

- Kubitzki, K., & Amaral, M. (1991). Transference of function in the pollination system of the Ochnaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 177 (1/2): 77–80.
- La Serna, I., Méndez, B. & Gómez, C. (1999). *Aplicación de nuevas tecnologías en mieles canarias para su tipificación y control de calidad*. Confederación de Cajas de Ahorros, Caja Canarias, Tenerife. Pp. 268.
- La Serna, I., Méndez, B., & Gómez, C. (2002). Pollen spectra of different unifloral honeys from La Palma (Canary Islands, Spain). *Grana*, 41(1): 48–57.
- Lee, D.C., Halliday, A.N., Fitton, J.G., & Poli, G. (1994). Isotopic variations with distance and time in the volcanic islands of the Cameroon line: evidence for a mantle plume origin. *Earth and Planetary Science Letters*, 123: 119–138.
- Lejoly, G. (2000). Les recherches sur la biodiversité végétale dans les 6 sites du programme Ecofac entre 1997 et 2000. Rapport final de synthèse. PROGRAMME ECOFAC II. Volet Biodiversité Végétale. Groupement AGRECO G. E.I. E. - BDPA - SCETAGRI - SECA - CIRAD Forêt en association avec Fauna & Flora International. Pp. 101.
- Lima, R.F. (2012). *Land-use management and the conservation of endemic species in São Tomé Island*. Tesis doctoral. Lancaster Environment Centre. Lancaster University.
- Lima, R.F. (2016). Biodiversity conservation in São Tomé and Príncipe: An overview. En: Gabriel, R., Elias, R.B., Amorim, I.R. & Borges, P.A.V. Eds. (2016). Conference program and abstracts of the 2nd International Conference on Island Evolution, Ecology and Conservation: Island Biology 2016, 18-22 July 2016, Angra do Heroísmo, Azores, Portugal. *Arquipelago*. Life and Marine Sciences. Supplement 9.
- Lima, R.F. & Melo, M. (2021). A revised bird checklist for the oceanic islands of the Gulf of Guinea (Príncipe, São Tomé and Annobón). *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 141 (2): 179–198.
- Lobreau-Callen, D. & Coutin, R. (1987). Ressources florales exploitées par quelques Apoides des zones cultivées en savane arborée sénégalaise durant la saison des pluies. *Agronomie*, 7: 231–246.
- Lopes, J. M. R. (2020). *Geocronologia Ar-Ar e geoquímica isotópica de rochas das Ilhas de Ano-Bom, São Tomé e Príncipe da Linha Vulcânica dos Camarões*. Tesina de máster. Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo. DOI: 10.11606/D.44.2020.tde-19112020-094211.
- Mabberley, D.J., Pannell, C.M., & Sing, A.M. (1995). *Flora Malesiana: Series I. Spermatophyta*, vol. 12, part 1: Meliaceae. Rijksherbarium / Hortus Botanicus, Leiden. Pp. 407.
- Maley, J. (1970). Contributions to the study of the Chadian basin pollen atlas of Chad. *Bulletin du Jardin botanique national de Belgique*, 40 (1): 29– 48.
- Mesterházy, A., & Browning, J. (2014). A rare enigmatic sedge rediscovered: *Principina grandis* (Cyperaceae) newly recorded from São Tomé. *Kew Bulletin*, 69 (3): 1–4.
- Mittermeier, R.A., Myers, N., Robles-Gil, P. & Mittermeier, C.G. (1999). *Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX/Agrupación Sierra Madre, Mexico City.
- Mittermeier, R.A., Turner, W.R., Larsen, F.W., Brooks, T.M. & Gascon, C. (2011). Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. En: Zachos, F.E., Habel, J.C. Eds. (2011). *Biodiversity Hotspots*. Springer, London. Pp: 3–22.
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: “hot spots” in tropical forests. *Environmentalist*, 8, 187–208.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Melo, M. (2007). *Bird speciation in the Gulf of Guinea Island system*. Tesis doctoral. Institute of Evolutionary Biology, University of Edinburgh.
- Monod, T. (1960). Notes botaniques sur les îles de São Tomé et de Príncipe. *Bulletin de l'Institut Français de l'Afrique Noire*, XXII, 19-80.

- Munhá, J.M., Caldeira, R., Madeira, J., Afonso, R., Mata, J., Nascimento, E. & Paquete, L. (2007). *Geologia da ilha de São Tomé - Notícia Explicativa da Carta Geológica. Escala 1: 25 000*. Pp: 1–52. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento (IPAD), Lisboa.
- Njome, M.S. & de Wit, M.J. (2014). The Cameroon Line: Analysis of an intraplate magmatic province transecting both oceanic and continental lithospheres: Constraints, controversies and models. *Earth-Science Reviews*, 139: 168–194.
- Nogué, S., de Nascimento, L., Froyd, C.A., Wilmshurst, J.M., de Boer, E.J., Coffey, E. & Willis, K.J. (2017). Island biodiversity conservation needs palaeoecology. *Nature Ecology & Evolution*, 1(7): 1–9.
- Opler, P.A. (1983). Nectar production in a tropical ecosystem. En: Bentley, B. & Elias, T. Eds. (1983). *The biology of nectaries*: 30–79. Columbia Univ. Press, New York. Pp. 119.
- Otegui, M. & Cocucci, A. (1999). Flower morphology and biology of *Myrsine laetevirens*, structural and evolutionary implications of anemophily in Myrsinaceae. *Nordic Journal of Botany*, 19 (1): 71–85.
- Pell, S.K., Mitchell, J.D., Miller, A.J. & Lobova, T.A. (2011). Anacardiaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2011), *Flowering Plants. Eudicots*. (The Families and Genera of Vascular Plants, vol 10). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 7–50.
- Peng, Y.S., Nasr, M.E., Marston, J.M. & Fang, Y. (1985). The digestion of dandelion pollen by adult worker honeybees. *Physiological Entomology*, 10:75–82.
- Pennington, T.D. (2004). Sapotaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2004). *Flowering plants & dicotyledons*. (The families and genera of vascular plants). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 390–421.
- Pla Dalmáu, J.M. (1957). Estudios palinológicos y precisiones morfológicas sobre los granos de polen de quinientas especies botánicas del extremo noreste de España. Tesis Doctoral. Univerisdad de Barcelona. Pp. 510.
- POWO (2022). "Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Disponible en: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> [Consultado en marzo de 2022-Revisión continua].
- Punt, W., Hoen, P.P., Blackmore, S., Nilsson, S. & Le Thomas, A. (2007). Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143 (1-2): 1–81.
- Rasoloarijao, T.M., Ramavovololona, P., Ramamonjisoa, R., Clemencet, J., Lebreton, G. & Delatte, H. (2019). Pollen morphology of melliferous plants for *Apis mellifera unicolor* in the tropical rainforest of Ranomafana National Park, Madagascar, *Palynology*, 43(2): 292–320.
- Reille, M. (1998). *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord* (supplement 2). Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille. Pp. 521.
- Reille, M. (1999). *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord*, 2nd edition. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille. Pp. 535.
- Reistma, T. (1970). Suggestions towards unification of descriptive terminology of Angiosperms pollen grains. *Review of Paleobotany and Palynology*, 10: 39–60.
- Riollet, G. & Bonnefille, R. (1976). Pollen from the Amaranthacées of Lake Rodolphe (East Africa). *Pollen Spores*, 18: 67–92.
- Sáenz de Rivas, C. (1978). *Polen y esporas: introducción a la palinología y vocabulario palinológico*. Blume, Madrid. Pp. 219.
- Santos Vilar, J. (2004). *Catálogo de flora de interés apícola de Tenerife: Descripción morfológica de sus pólenes*. Casa de la Miel, Cabildo de Insular de Tenerife, El Sauzal. Pp. 151.

- Sarwar, A.G. (2007). *Pollen morphology and its systematic significance in the Ericaceae*. Tesis Doctoral. Hokkaido University, Sapporo, Japón.
- Schencke, C., Vásquez, B., Sandoval, C. & Del Sol, M. (2016). El rol de la miel en los procesos morfofisiológicos de reparación de heridas. *International Journal of Morphology*, 34(1) 385–395.
- Schüler, L. & Hemp, A. (2016). Atlas of pollen and spores and their parent taxa of Mt Kilimanjaro and tropical East Africa. *Quaternary International*, 425: 301–386.
- Scott, L. (1982). Late quaternary fossil pollen grains from the Transvaal, South Africa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 36: 241–278.
- Sergio, C. & García, C. (2011). Bryophyte flora of São Tomé e Príncipe Archipelago (West Africa): Annotated catalogue. *Cryptogamie, Bryologie*, 32, 145–196.
- Sleumer, H. (1973). Révision du genre *Homalium* Jacq. (Flacourtiacées) en Afrique (y compris Madagascar et les Mascareignes). *Bulletin Du Jardin Botanique National de Belgique / Bulletin van de National Plantentuin van België*, 43 (3/4): 239–328. <https://doi.org/10.2307/3667612>.
- Ståhl, B. & Anderberg, A.A. (2004). Myrsinaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2004). *Flowering Plants & Dicotyledons*. (The families and genera of vascular plants). Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 266–281.
- Stévant, T., Geerinck, D. & Lejoly, J. (2000) Liste des Orchidaceae de Sao-Tomé et Príncipe, *Acta Botanica Gallica*, 147 (2): 165–172.
- Stévant, T. & Geerinck, D. (2001). Diversité des Orchidaceae à São Tomé et Príncipe. Proceedings 16th Congress of A.E.T.F.A.T., 2000, Meise, Belgium. *Systematics and Geography of Plants*, 71: 565–573.
- Stévant, T. & Cribb, P. (2004). New species and records of Orchidaceae from São Tomé and Príncipe. *Kew Bulletin* 59 (2): 77–86.
- Stévant, T., Dauby, G., Lowry, P.P. II, Blach-Overgaard, A., Droissart, V., Harris, D.J., Mackinder, B.A., Schatz, G.E., Sonké, B., Sosef, M.S.M., Svenning, J.C., Wieringa, J.J. & Couvreur, T.L.P. (2019). A third of the tropical African flora is potentially threatened with extinction. *Science Advances*, 5 (11). DOI: 10.1126/sciadv.aax9444.
- Stévant, T., Ikabanga, D.U., Paradis & Dauby, G. Eds. (2022). *Red List data book of the plant species endemic to Sao Tomé and Principe*. Disponible en: https://gdauby.github.io/saothreath_book/sp-list.html.
- Sowunmi, M.A. (1973). Pollen grains of Nigerian plants. *Grana Palynologica*, 13: 145–186.
- Sowunmi, M.A. (1995). Pollen of Nigerian plants. *Grana*, 34: 120–141.
- Thiers, B. (2022). Index herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Disponible en: <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/> [Consultado en marzo de 2022-Revisión continua].
- Thorhaug, A. (2009). Botany in Equatorial Guinea & in the Island Nation of São Tomé and Príncipe. *Plant Science Bulletin*, 55 (3), 1-9.
- Tollsten, L., & Knudsen, J.T. (1992). Floral scent in dioecious *Salix* (Salicaceae) — a clue determining the pollination system? *Plant Systematics and Evolution*, 182 (3/4): 229–237.
- Tomlinson, P., Braggins, J. & Rattenbury, J. (1991). Pollination drop in relation to cone morphology in Podocarpaceae - a novel reproductive mechanism. *American Journal of Botany*, 78 (9): 1289–1303.
- Traveset, A. & Santamaría, L. (2004). Alteración de mutualismos planta-animal debido a la introducción de especies exóticas en ecosistemas insulares. En: Fernández-Palacios, J.M. & Morici, C. Eds. (2004). *ECOLOGÍA INSULAR / ISLAND ECOLOGY*. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ECOLOGÍA TERRESTRE (AEET)-CABILDO INSULAR DE LA PALMA. Pp: 251–276.

- Traveset, A., Nogales, M. & Navarro, L. (2009). Mutualismos planta-animal en islas: influencia en la evolución y mantenimiento de la biodiversidad. En: Medel, R., Aizen, M.A. & Zamora, R. Eds. (2009). *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal*. Universitaria, Santiago de Chile. Pp. 399.
- Trigo, M., Caballero, M., García J., Resio M., Docampo S., & Cabezudo, B. (2007). *El Polen en la Atmosfera de Vélez-Málaga*. Concejalía de Medio Ambiente, Ayuntamiento de Vélez, Málaga. Pp. 156.
- Tropicosorg, (2022). *Tropicos.org. Missouri Botanical Garden*. Disponible en: <http://www.tropicos.org>. [Consultado en agosto de 2021-Revisión continua].
- UNEP-WCMC (2022). *Protected Area Profile for Parque Natural Obô do Príncipe from the World Database on Protected Areas*. Disponible en: www.protectedplanet.net [Consultado en junio de 2022-Revisión continua].
- UNEP-WCMC (2022). *Protected Area Profile for Parque Natural Obô de São Tomé from the World Database on Protected Areas*. Disponible en: www.protectedplanet.net [Consultado en junio de 2022-Revisión continua].
- Valente, L., Phillimore, A.B., Melo, M., Warren, B.H., Clegg, S.M., Havenstein, K., Tiedemann, R., Illera, J. C., Thébaud, C., Aschenbach, T. & Etienne, R. S. (2020). A simple dynamic model explains the diversity of island birds worldwide. *Nature*, 579: 92–96.
- Valido, A., Rodríguez, M.C. & Jordano, P. (2011). Interacciones entre plantas y polinizadores en el Parque Nacional del Teide: consecuencias ecológicas de la introducción masiva de la abeja doméstica (*Apis mellifera*, Apidae). En: Ramírez, L. & Asensio, B. Coords. (2011). *Proyectos de investigación en parques nacionales 2007-2010*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, España. Pp: 205–232.
- Verdcourt, B., Beentje, H.J. & Polhill, R.M. (1976). *Rubiaceae: Part 1. Flora of Tropical East Africa*. Balkema, London, UK, Rotterdam, Netherlands. Pp. 414.
- van Zinderen Bakker, E.M. (1953). *South African Pollen Grains and Spores I*. A.A. Balkema, Amsterdam, Cape Town.
- van Zinderen Bakker, E.M. (1956). *South African Pollen Grains and Spores II*. A.A. Balkema, Amsterdam, Cape Town.
- van Zinderen Bakker, E.M. & Coetzee, J.A. (1959). *South African Pollen Grains and Spores III*. A.A. Balkema, Amsterdam, Cape Town.
- Vincens, A., Lézine, A., Buchet, G., Lewden, D. & Le Thomas, A. (2007). African pollen database inventory of tree and shrub pollen types. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145 (1), 135–141.
- Watson, L. & Dallwitz, M.J. (1992). *The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information*. Disponible en: <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/delta/angio/index.htm#G>.
- Webster, G.L. (2014). Euphorbiaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2014). *Flowering Plants. Eudicots. Malphigiales*. The families and genera of vascular plants, vol. 11. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 51–216.
- West, R.G. (1968). *Pleistocene geology and biology, with especial reference to the British Isles*. Longmans Green & Co., Londres. Pp. 337.
- Wilde, J.J.F.E. (2011). Begoniaceae. En: Kubitzki, K. Eds. (2011). *Flowering Plants. Eudicots*. (The families and genera of vascular plants, vol. 10. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp: 56–71.

Williams, K.J., Ford, A., Rosauer, D.F., De Silva, N., Mittermeier, R., Bruce, C., Larsen, F.W. & Margules, C. (2011). Forests of east Australia: the 35th biodiversity hotspot. In: Zachos, F.E., Habel, J.C. Eds. (2011). *Biodiversity Hotspots*. Springer Publishers, London. Pp: 295–310.

Wodehouse, R.P. (1935). *Pollen grains*. McGraw-Hill, New York. Pp. 574.

Ybert, J.P. (1979). *Atlas des pollens de Côte d'Ivoire*. ORSTOM, Paris. Pp. 68.

Referencias web

<https://africanpollendatabase.ipsl.fr> [Consultada en junio de 2022, página en construcción]

<https://cepf-stp-threat-flora.netlify.app/pt/> [Consultada en junio de 2021]

<https://en.unesco.org/biosphere/africa/island-of-principe> [Consultada en marzo de 2022]

https://gdauby.github.io/saothreath_book/introduction.html. [Consultada en junio de 2021]

<https://globalpollenproject.org/> [Consultada en marzo de 2022]

<https://www.ipni.org/n/30016283-2> [Consultada en noviembre de 2021]

<https://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/648> [Consultada en junio de 2022]

https://www.uc.pt/jardimbotanico/Projetos/Investigacao/conhecimento_conservacao_diversidade_plantas_Sao_Tome_Principe* [Consultada en marzo de 2022]

ANEXO I: Lista de tablas y figuras

FIGURAS

Figura 1: Situación geográfica de las islas del Golfo de Guinea (Fuente: Sergio & García, 2011).

Figura 2: Distribución de los 35 hotspots de biodiversidad mundial. Modificado de: Marchese (2014).

Figura 3: Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe. Fotografía: ACB.

Figura 4: Obtención de muestras de pliegos de la colección del Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe. Fotografía: ACB.

Figura 5: Secuencia de los pasos más relevantes de la preparación de muestras por el método de acetólisis modificada en el laboratorio. Fotografías: RDCA.

Figura 6: Adición de aceite de silicona a las muestras (izqda.) y montaje en portaobjetos (dcha.). Fotografías: RDCA.

Figura 7: Representación en el atlas de las familias (nº de taxa) correspondientes a muestras de herbario tomadas para la isla de Príncipe (PRI 1-PRI 18).

Figura 8: Representación en el atlas de las familias (nº de taxa) correspondientes a las muestras de herbario tomadas en la isla de São Tomé.).

Figura 9: Familias representadas en el atlas (São Tomé y Príncipe) que contienen taxa endémicos.

Figura 10: Familias presentes en las islas de São Tomé y Príncipe representadas en el atlas.

Figura 11: Origen de las especies representadas en el atlas acorde a las categorías: endémica (taxa cuya distribución es exclusiva en ambas islas), nativa (taxa nativos del archipiélago y enclave continental, Golfo de Guinea) e introducida (flora introducida en el archipiélago).

Figura 12: Relación de las categorías (acorde a su contenido polínico) asignadas a las preparaciones resultantes.

Figura 13: Relación de categorías (ausente, escaso, presente, abundante) de abundancia polínica (por familias) en relación al tipo de polinización principal.

Figura 14: Taxa de flora endémicos de las islas São Tomé y Príncipe representados en el atlas polínico.

Figura 15: Familias botánicas presentes en las islas São Tomé y Príncipe representadas en el atlas polínico.

TABLAS

Tabla 1: División altitudinal de la vegetación de São Tomé según Monod (1960).

Tabla 2: Clasificación de la vegetación de São Tomé según Exell (1944).

Tabla 3: Relación del número de especies de flora (espermatofitos) presentes en São Tomé y en Príncipe, porcentaje de endemidad y de endemismos monoinsulares en cada isla. Modificada a partir de Davis & Figueiredo (2007).

Tabla 4: Relación de los pliegos de herbario (ID y código de la muestra en el herbario STPH) y las especies inicialmente seleccionadas para su inclusión en el atlas.

Tabla 5: Relación de taxa con modificaciones nomenclaturales (a nivel de género y/o especie) con respecto a los pliegos de herbario.

Tabla 6: Relación de taxa con modificaciones nomenclaturales a nivel de familia con respecto a las etiquetas de los pliegos de herbario.

Tabla 7: Relación de los taxa (con material polínico) que conforman las láminas del atlas. Taxa ordenados alfabéticamente por familia, género y especie con asignación a la lámina correspondiente.

Tabla 8: Relación de taxa cuyos datos de origen/distribución y hábitat se han obtenido de otras fuentes bibliográficas (no incluidos en Figueiredo *et al.*, 2011).

Tabla 9: Relación de taxa representados en el atlas evaluados y asignados a alguna de las categorías de de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN.

Tabla 10: Protocolo de tratamiento de muestras por medio de hidrólisis ácida de la membrana (acetólisis), adaptada de R.G. West (1968).

Tabla 11: Descripción de los principales caracteres morfológicos del polen obtenido de pliegos de herbario del Herbario Nacional de São Tomé y Príncipe.

Tabla 12: Especies endémicas (por familia) de la isla de Príncipe representados en el atlas.

Tabla 13: Especies endémicas (por familias) de la isla de São Tomé representados en el atlas.

Tabla 14: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “ausente”, cuyas preparaciones no presentan granos de polen.

Tabla 15: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “escaso”, cuyas preparaciones presentan ($N \leq 5$) granos de polen.

Tabla 16: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “presente”, cuyas preparaciones presentan ($5 < N \leq 10$) granos de polen.

Tabla 17: Tabla 17: Relación de familias del atlas, y número de taxa, en la categoría “abundante”, cuyas preparaciones presentan ($N > 10$) granos de polen.

Tabla 18: Relación de familias presentes en el atlas y el tipo de polinización (mayoritaria y secundaria).