

Guía de laboratorios de

Botánica y Fisiología

Autores

Marcela Serna-González
Felipe Franco-Gaviria
Jorge A. Giraldo
Sandra B. Muriel-Ruiz
Mariana Mercado-Mesa
Edison Cardona-Medina



POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Guía de laboratorios de

Botánica y Fisiología



POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid

Serna-González, Marcela, Franco, Juan Felipe, Giraldo, Jorge, Muriel, Sandra B., Mercado-Mesa, Mariana, Cardona-Medina, Edison. Guía de laboratorios de Botánica y Fisiología.

Guía de laboratorios de Botánica y Fisiología. / Marcela Serna-González, Juan Felipe Franco, Jorge A. Giraldo, Sandra B. Muriel, Mariana Mercado-Mesa, Edison Cardona-Medina.

Primera edición. Medellín: Sello Editorial Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria. 2024

138 páginas

ISBN impreso: 978-628-7782-05-1

ISBN digital: 978-628-7782-06-8

Botánica - Manuales de laboratorio. Fisiología vegetal. Morfología botánica. Células y tejidos vegetales. Morfología botánica. Polen. Taxonomía vegetal. Flores. Crecimiento (Plantas).

CDD: 581.078

Catalogación en la publicación Biblioteca Humberto Saldarriaga Carmona

Guía de laboratorios de Botánica y Fisiología

Autores:

Marcela Serna-González

Felipe Franco-Gaviria

Jorge A. Giraldo

Tecnológico de Antioquia

Sandra B. Muriel-Ruiz

Mariana Mercado-Mesa

Edison Cardona-Medina

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Ilustraciones: Isabella Gómez

ISBN impreso: 978-628-7782-05-1

ISBN digital: 978-628-7782-06-8

© Tecnológico de Antioquia

Corrección de estilo, diseño, diagramación e impresión:

Divegráficas S.A.S.

© Sello Editorial

Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia

Calle 78b # 72A - 220

(604) 444 3700

Medellín – Colombia

Este libro incorpora contenidos derivados de procesos de formación y estos no representan, necesariamente, los criterios institucionales del Tecnológico de Antioquia. Los contenidos son responsabilidad exclusiva de sus autores. Obra protegida por el derecho de autor. Queda estrictamente prohibida su reproducción, comunicación, divulgación, copia, distribución, comercialización, transformación, puesta a disposición o transferencia en cualquier forma y por cualquier medio, sin la autorización previa, expresa y por escrito de su titular. El incumplimiento de la mencionada restricción podrá dar lugar a las acciones civiles y penales correspondientes.

© 2024 Todos los derechos de autor reservados.

Índice

9	Laboratorio 1. Clasificación de las plantas
19	Laboratorio 2. Hábitos de crecimiento de las plantas
25	Laboratorio 3. Técnicas histológicas
35	Laboratorio 4. Tejidos vegetales
43	Laboratorio 5. Crecimiento secundario
53	Laboratorio 6. Morfología externa de raíz y tallo
61	Laboratorio 7. Potencial hídrico en la planta
67	Laboratorio 8. Estructura interna de las hojas y determinación de la clorofila
73	Laboratorio 9. Morfología de hojas
81	Laboratorio 10. Fotomorfogénesis
87	Laboratorio 11. Herborización
93	Laboratorio 12. La flor
99	Laboratorio 13. Morfología del polen
107	Laboratorio 14. Reconocimiento de inflorescencias
115	Laboratorio 15. El fruto y la semilla
125	Laboratorio 16. Principales familias de importancia económica y ambiental

Índice de tablas

16	Tabla 1.	Comparación de diferentes grupos de plantas
23	Tabla 2.	Clasificación de plantas según de hábitos de crecimiento y otras características externas
59	Tabla 3.	Identificación de diferentes tipos de raíces y tallos
65	Tabla 4.	Registro de datos con el método de peso constante empleado en la determinación del potencial hídrico (Ψ_w)
77	Tabla 5.	Clasificación de hojas
85	Tabla 6.	Crecimiento y desarrollo de plantas monocotiledóneas y eudicotiledóneas bajo dos condiciones distintas de iluminación
96	Tabla 7.	Plantas con diferentes tipos de flores
102	Tabla 8.	Ejemplos de producción de polen
105	Tabla 9.	Morfología del polen
109	Tabla 10.	Identificación de inflorescencias
110	Tabla 11.	Clave para determinar tipos de inflorescencias
120	Tabla 12.	Identificación de frutos y semillas
121	Tabla 13.	Clave de frutos (Traducida de Judd <i>et al.</i> , 1999)



Índice de figuras

- 10** **Figura 1.** Clasificación de las plantas en un contexto evolutivo
- 11** **Figura 2.** Musgo
- 12** **Figura 3.** Helecho
- 14** **Figura 4.** Pino
- 15** **Figura 5.** Magnolia
- 27** **Figura 6.** Planos de corte para observaciones histológicas
- 28** **Figura 7.** Obtención de cortes en tejidos blandos
- 29** **Figura 8.** Preparación de tejidos duros
- 30** **Figura 9.** Tinción de muestras
- 31** **Figura 10.** Microtómo y corte de muestras
- 32** **Figura 11.** Montaje de muestras
- 37** **Figura 12.** Tejidos dérmicos
- 39** **Figura 13.** Sistema de tejidos vasculares
- 40** **Figura 14.** Tejidos vasculares
- 41** **Figura 15.** Sistema de tejidos fundamentales
- 46** **Figura 16.** Estructuras anatómicas del xilema
- 46** **Figura 17.** Anillos de crecimiento y características anatómicas de gimnosperma (*Pinus tecunumanii*)
- 47** **Figura 18.** Anillos de crecimiento y características anatómicas de angiosperma (*Fraxinus uhdei*)
- 47** **Figura 19.** Tipos de anillos de crecimiento
- 48** **Figura 20.** Muestreo no destructivo con barreno de incrementos

- 49** **Figura 21.** Anillos de crecimiento en dos tipos de muestra
- 55** **Figura 22.** Tipos de raíz y sus partes
- 57** **Figura 23.** Tallo y sus partes
- 69** **Figura 24.** Estructura interna de plantas C3 y C4
- 75** **Figura 25.** Tipos de hojas y sus partes
- 76** **Figura 26.** Filotaxia de las hojas
- 83** **Figura 27.** Plántula etiolada vs. plántula no etiolada
- 84** **Figura 28.** Montaje del experimento
- 90** **Figura 29.** Muestra de herbario
- 95** **Figura 30.** La flor y sus partes
- 100** **Figura 31.** Palinomorfos, un grano de polen y una espora, cada uno con sus partes principales
- 108** **Figura 32.** Cuatro inflorescencias: dos determinadas y dos indeterminadas
- 117** **Figura 33.** El fruto y sus partes





— **Presentación** —

La botánica es la ciencia dedicada al estudio de las plantas. Bajo esta definición general se incluyen muchas subdisciplinas relacionadas. Las plantas son fuente inagotable de recursos para las poblaciones humanas y animales, aunque el porcentaje de uso en relación con las plantas existentes es relativamente bajo, principalmente en los trópicos (Mauseth, 2021). De acuerdo con el Sistema de Información Biológica de Colombia, el país cuenta con 37 718 especies de plantas (Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, s.f.), razón por la cual se requiere formar profesionales con interés en el estudio de las plantas, su identificación y sus posibles usos y aplicaciones. El objetivo de esta guía es contribuir con el propósito de formar profesionales con capacidad de reconocer la gran diversidad de plantas y sus posibles usos.

La Guía de laboratorios de Botánica y Fisiología que se detalla a continuación está dirigida, fundamentalmente, a estudiantes de Tecnología e Ingeniería de las Ciencias Agrarias y Ambientales, quienes inician en el aprendizaje de la Botánica y la Fisiología Vegetal, razón por la cual hace énfasis en la aplicación práctica de los conocimientos relacionados con la anatomía, morfología, fisiología y sistemática vegetal, los cuales son planteados por diversos autores. Dada la metodología empleada en el diseño de los distintos laboratorios contemplados en la guía, es factible que estudiantes pertenecientes a otras carreras afines o aficionados a las plantas puedan utilizarla sin dificultad.

El objetivo principal de las actividades propuestas en la guía es adquirir competencias de conocimiento teórico-práctico de las plantas, a través del entrenamiento en la observación cualificada de su anatomía y estructuras externas desde ejercicios prácticos, los cuales permiten diferenciar la diversidad de estructuras de



plantas y su funcionamiento. La adquisición de las competencias previstas por parte de los estudiantes, a partir del desarrollo completo de los diferentes laboratorios, les aportará conocimientos y procedimientos muy importantes para abordar posteriormente otras asignaturas, haciendo, de esta forma, una contribución valiosa a la calidad en el desempeño laboral.

La organización de cada uno de los laboratorios o prácticas de esta guía contempla: objetivos, marco teórico o conceptos básicos mínimos que el estudiante debe conocer sobre el tema, algunos esquemas generales para facilitar la comprensión del texto, el procedimiento para que el estudiante realice sus propios esquemas y actividades particulares según el tema. Finalmente, cada laboratorio incluye una serie de preguntas para que el estudiante complemente el aprendizaje del tema, a través de una consulta bibliográfica y de unos recursos adicionales para consulta.

Para la elaboración de la guía se emplearon fuentes bibliográficas de actualidad, bases de datos y sitios web que recogen el trabajo de diferentes investigadores en el mundo. Los laboratorios que se compilan en la guía recogen la experiencia profesional y docente de los autores, pero, muy especialmente, el producto de la vivencia acumulada en la oferta de cursos de Botánica en varias instituciones de educación superior que, dicho sea de paso, han sido enriquecidas con las sugerencias de muchas otras personas. Los autores agradecen de manera especial a Jorge Palacio Martínez y a Jorge Montoya Restrepo por sus sugerencias en la organización de esta guía.

Referencias

Mauseth, J. D. (2021). *Botany: An Introduction to Plant Biology* (7.^a ed.). Jones & Bartlett Publishers.

Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. (s.f.). *Biodiversidad en Cifras*. <https://cifras.biodiversidad.co/colombia>



Laboratorio 1.

Clasificación de las plantas

Objetivos

1. Comparar diversos grupos de organismos vegetales según su morfología.
2. Identificar los grupos de plantas en un contexto evolutivo.

Marco teórico

Las plantas, en sentido amplio, son organismos eucarióticos, autótrofos y fotosintéticos, con clorofilas a y b, incluyendo las algas verdes y las plantas terrestres (Tree of Life Web Project, 2024). Las plantas en general se caracterizan por: presentar paredes celulares compuestas principalmente de celulosa, presentar alternancia de generaciones (gametofito - esporofito), un embrión pluricelular protegido dentro de la planta madre, ser autótrofos, entre otras (Nabors, 2006).

Para la clasificación de las plantas en contexto evolutivo se utilizan categorías que permiten agruparlas según sus características compartidas (The Angiosperm Phylogeny Group [APG] *et al.*, 2016). En esta guía se detallan los grupos más representativos de la flora actual (Figura 1).

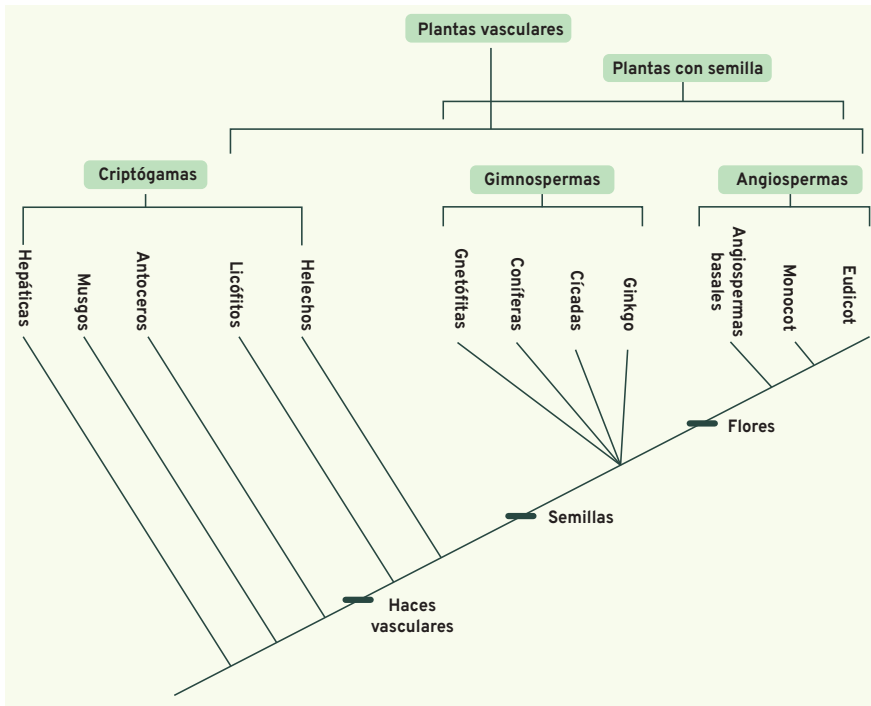


Figura 1.

Clasificación de las plantas en un contexto evolutivo

Fuente: Modificado de Mauseth, J. D. (2021)

Briofitas: en sentido amplio este grupo abarca tres subgrupos, antoceros, musgos y hepáticas, y corresponde a las plantas no vasculares, es decir, aquellas que carecen de células especializadas para el transporte de agua y minerales, razón por la cual no pueden alcanzar grandes dimensiones. La generación del gametofito es dominante y el esporofito es dependiente de este. En lugar de raíces poseen rizoides que les permiten sujetarse al suelo; tienen una estructura vertical en forma de tallo (cauloide) con láminas foliares similares a hojas (filoides). Las briofitas necesitan un ambiente húmedo para crecer y reproducirse; también pueden encontrarse en hábitats extremos, como lo son las zonas árticas, viven en colonias y cumplen una función ecológica muy importante como colonizadoras de sitios nuevos y reguladoras del ciclo del agua (Crooks, 2021; Nabors, 2006) (Figura 2).

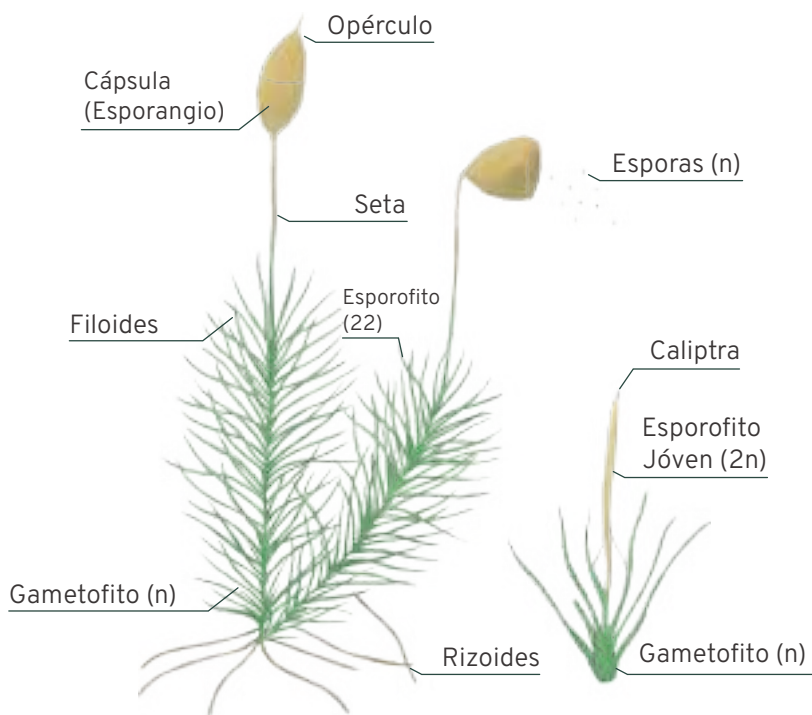


Figura 2.

Musgo

Fuente: elaboración propia.

Traqueofitas sin semillas: comprenden las plantas con tejidos vasculares y presencia de esporas, entre ellas los grupos licopodios, psicolófitos, equisetos y helechos. Con el conocimiento actual de las plantas se acepta que las psicolofitas, equisetofitas y helechos provienen de un ancestro común y diferente a las licopodiofitas. Actualmente los helechos son el grupo más dominante de esta categoría.

Licopodiofita: este grupo se reproduce por esporas. Además de tallos verdaderos, la mayoría posee raíces y hojas vascularizadas y pueden alcanzar un tamaño superior a las briofitas. Este grupo, a su vez, comprende los grupos: isoetes (plantas de páramos) licopodios (conocidos como «colchón de pobre» (*Lycopodium clavatum*) y



selaginelas, que son muy parecidas a helechos pequeños. Sus esporas se encuentran en estructuras llamadas estróbilos.

Equisetofita: popularmente llamados «cola de caballo» (*Equisetum arvense*), tienen raíces, hojas y tallos articulados y en cada articulación pueden observarse unos pequeños pliegues que corresponden a las hojas. El tallo es el principal órgano en el que se lleva a cabo el proceso fotosintético. Poseen estróbilos portadores de esporas.

Helechos: muchas especies de helechos presentan hojas grandes, conocidas con el nombre de frondas. En el envés de estas se encuentran los soros, que es donde permanecen las esporas en su estado reproductivo (Figura 3).



Figura 3.

Helecho

Fuente: elaboración propia.



Traqueofitas con semilla: este grupo está conformado por las plantas que producen semilla después de la reproducción sexual, y esta es su principal fuente de propagación. Se divide en las gimnospermas y las angiospermas.

Gimnospermas: grupo conformado por plantas vasculares cuyas semillas están desnudas, es decir, su semilla no está envuelta en un capullo protector o fruto (Figura 4). En este grupo se incluyen las cicadáceas, ginkgoáceas, gnetáceas y coníferas.

La palabra conífera significa «portador de conos» y corresponde a la clase de gimnospermas más abundante. La mayoría de las especies son perennes y solo unas cuantas, como especies del género *Metasequoia*, son caducifolias (pierden sus hojas durante el invierno en los países de estaciones). Casi todas son monoicas, poseen órganos sexuales masculinos y femeninos en diferentes lugares de una misma planta. Algunos ejemplos de coníferas abundantes en nuestro medio son los pinos, los cipreses y las araucarias, entre otros árboles. En Colombia existen árboles nativos de coníferas representados en la familia Podocarpaceae, de la cual hace parte el pino colombiano (*Podocarpus oleifolius*) y la familia Zamiaceae, que comprende varias especies con potencial ornamental.

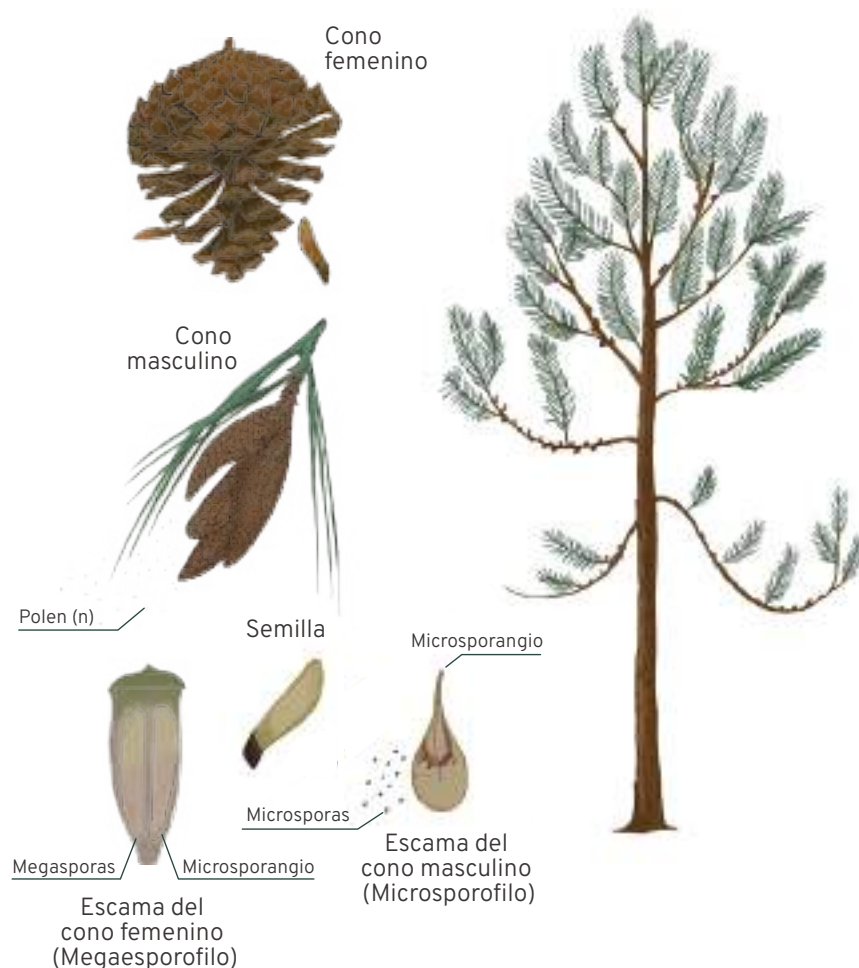


Figura 4.

Pino

Fuente: elaboración propia.

Angiospermas: significa «esperma protegido en un recipiente» (Nabors, 2006). Se reconocen por tener la semilla cubierta llamada o fruto, gracias a la presencia de flores (Figura 5). Este grupo está conformado por más de 416 familias de plantas y constituye la flora dominante en la actualidad (APG *et al.*, 2016). Las angiospermas se subdividen en angiospermas de temprana divergencia, conocidas como angiospermas basales, monocotiledóneas y eudicotiledóneas.

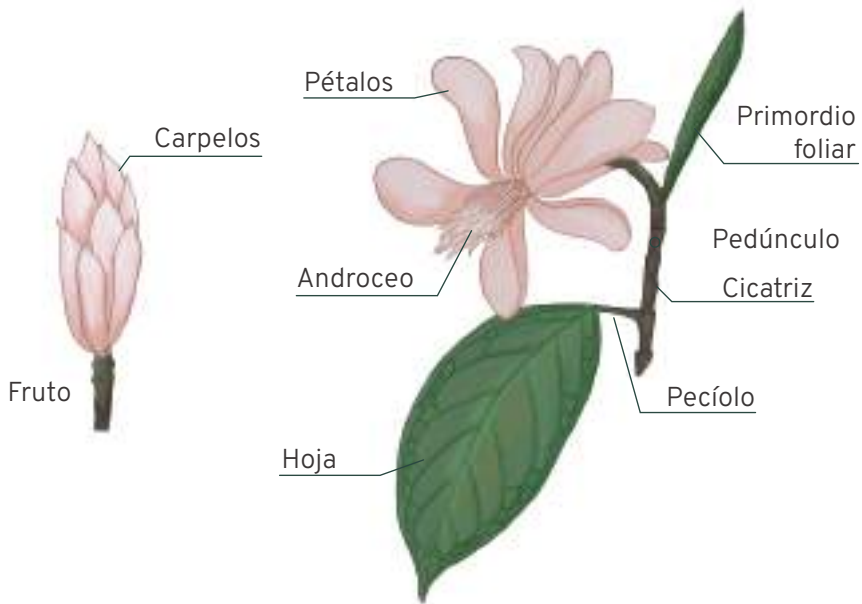


Figura 5.

Magnolia

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Los estudiantes dispondrán de las siguientes muestras de plantas: musgo, equiseto o licopodio, helecho, una muestra de conífera (pino/ ciprés) con estructuras reproductivas y una planta completa con flor. Posteriormente, realizarán esquemas de las diferentes especies señalando sus partes. En la Tabla 1 los estudiantes anotarán sus observaciones, indicando si presenta cada una de las estructuras establecidas en la tabla. Se recomienda el uso de un bisturí, lupa y/o estereoscopio para realizar la observación cualificada.



Tabla 1.
Comparación de diferentes grupos de plantas

Taxón	Raíz	Tallo	Hoja	Estructura reproductiva	Grupo

Banco de preguntas

- 1. ¿Qué características diferencian a los hongos de las plantas?
- 2. Explique el ciclo de reproducción de los helechos.
- 3. ¿Cuáles grupos de plantas se consideran superiores y por qué?



4. ¿Qué son los líquenes y cómo se reproducen?
5. ¿Qué son el esporofito y el gametofito?

Referencias

The Angiosperm Phylogeny Group, Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S. y Stevens, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1). <https://doi.org/10.1111/boj.12385>

Crooks, V. (22 de febrero de 2021). Briofitas: Pequeñas plantas en un gran mundo cambiante. *Smithsonian Tropical Research Institute*. <https://stri.si.edu/es/noticia/briofitas>

Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botánica* (Trad. P. González-Barreda). Pearson Educación.

Recursos

Journey to the Microcosmos. (18 de enero de 2021). *Moss & Lichen: Which One Is Actually a Plant?* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/ryXZam912vg>

Mauseth, J. D. (2021). *Botany: An Introduction to Plant Biology* (7.^a ed.). Jones & Bartlett Publishers.

Plant
Phylogeny
Posters on
researchgate





Laboratorio 2.

Hábitos de crecimiento de las plantas

Objetivos

1. Describir diferentes especies de plantas por su hábito de crecimiento y otras características externas
2. Adquirir herramientas de descripción taxonómica

Marco teórico

De acuerdo con Uribe Álvarez (1991), las plantas pueden clasificarse de la siguiente manera:

Según el hábito de crecimiento:

1. Árbol: vegetal leñoso con una altura superior a los 5 metros y se caracteriza por tener un tronco principal con ramificaciones a una distancia del suelo más o menos grande.
2. Arbusto: plantas que no pasan de 3 o 4 metros de altura y poseen varios ejes en el tallo que salen directamente del suelo o muy cerca de él.
3. Bejuco: tallos débiles, leñosos o herbáceos, a veces muy largos, que se levantan de la superficie del suelo apoyándose en objetos vecinos.



4. Hierba: plantas con tallos blandos y flexibles, generalmente son verdes y duran poco tiempo. La mayoría son anuales o bianuales.

Según la consistencia:

5. Leñosas: son plantas con tallos duros y fuertes que duran varios o muchos años; producen madera o leño por crecimiento secundario, a lo cual se debe su consistencia; por ejemplo, los tallos de gimnospermas como pino (*Pinus patula*), ciprés (*Cupressus lusitanica*) y araucaria (*Araucaria heterophylla*), y de angiospermas como roble (*Quercus humboldtii*) y ceiba (*Ceiba petandra*).
6. Herbáceas: presentan tallos blandos y flexibles, carecen de leño o tienen poca cantidad.
7. Cañas: son plantas con tallos de una consistencia intermedia, entre leñosa y herbácea, casi siempre huecos y con nudos muy salientes, como en las gramíneas: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), guadua (*Guadua* sp.), maíz (*Zea mays*).
8. Esponjosas: presentan consistencia de esponja, con células llenas de aire, como los juncos
9. Carnosas: con consistencia suculenta, como el cactus.

Según forma de crecimiento:

10. Erguida: el tallo crece más o menos perpendicular a la superficie del suelo, sin ningún apoyo.
11. Trepadora: son tallos que se alejan de la superficie del suelo adhiriéndose a un soporte con estructuras especiales, tales como hojas (enrollan el pecíolo al soporte) o zarcillos.
12. Rastrera: tallos herbáceos débiles que crecen sobre el suelo, fijándose a él por medio de raíces adventicias, como algunos pastos.

Según la duración del ciclo de vida:

13. Perennes: su ciclo de vida es superior a dos años. Muchas especies duran varios cientos de años.



14. Bienales: cumplen con sus ciclos en dos años; el primer año desarrollan la parte vegetativa, y el segundo, producen las flores y frutos para después morir.
15. Anuales: cumplen con sus ciclos vegetativo y reproductivo en un año.

Según la duración de las hojas:

16. Perennifolios: son siempre verdes, debido a que conservan sus hojas varios años y a medida que las hojas viejas caen se producen otras nuevas.
17. Caducifolios o deciduos: pierden sus hojas simultáneamente en determinada época del año.

Procedimiento

Los grupos conformados por máximo cuatro estudiantes realizarán las siguientes actividades:

1. Escoger 10 plantas y describirlas según los criterios mencionados anteriormente.
2. Llenar la Tabla 2 considerando los siguientes parámetros para su descripción:
3. Nombre de la planta.
 - Precisar si se trata de un helecho, gimnosperma o angiosperma.
 - Tipo de sistema radicular (fibroso o pivotante).
 - Forma del tallo (terete o angular).
 - Ramificación del tallo (monopódico, simpódico o columnar).
 - Hábito de crecimiento (árbol, arbusto, bejuco o hierba; si es hierba, especificar si es hierba terrestre, acuática, saprófita o epífita).
 - Raíces modificadas (nódulos, haustorios, bambas).
 - Tallos modificados (cladodios, espinas, zarcillos).



Banco de preguntas

1. ¿Cómo se clasifican las plantas de acuerdo con su hábitat?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre plantas epífitas y plantas parásitas?
3. ¿Qué tipo de raíz tiene una planta leñosa? ¿Por qué?
4. ¿Cuáles ventajas adaptativas tendría una liana o un bejuco en comparación con un árbol?
5. ¿Qué son las bacterias nitrificantes?



Tabla 2.
Clasificación de plantas según de hábitos de crecimiento y otras características externas

Nombre de planta	Grupo*	Tipo Raiz	Ramificación tallo	Habito crecimiento	Modificaciones (tallo/raíz)	Observaciones**

6. *H: Helecho. G: Gimnosperma A: Angiosperma.
7. **En observaciones se debe anotar la presencia de lenticelas, exudados, tricomas, entre otros.



Referencias

Uribe Álvarez, F. (1991). *Botánica general* (2.^a ed.). Universidad de Antioquia

Recursos

Arquitectura de plantas:

Reinhardt, D. y Kuhlemeier, C. (2002). Plant architecture. *EMBO Reports*, 3(9), 846-851. <https://doi.org/10.1093/embo-reports/kvf177>

Vester, H. F. M. (2015). Estudiar la arquitectura arbórea. Capítulo I: los ejes. *Desde el Herbario CICY*, (7), 58-63.



Laboratorio 3.

Técnicas histológicas

Objetivos

1. Aprender y aplicar técnicas de preparación de muestras histológicas vegetales.
2. Realizar muestreos de diferentes partes de las plantas y comprender los planos de observación.
3. Utilizar diversos métodos de tinción para resaltar estructuras celulares específicas.
4. Desarrollar habilidades en la esquematización y documentación de observaciones microscópicas.

Marco teórico

Aplicar distintas técnicas histológicas en el estudio de los tejidos vegetales es esencial para conocer y entender la estructura y función de las plantas. Estas técnicas permiten una visualización detallada de las células y tejidos, facilitando la identificación de componentes celulares y su organización. Aunque es posible visualizar estructuras celulares en cortes finos sin tinción, la aplicación de azul de metileno o safranina permite resaltar



estructuras celulares específicas, lo que facilita la identificación de diferentes tipos de células y su organización. Por otro lado, la tinción con Lugol Iodine permite identificar la presencia de almidón, un carbohidrato de reserva, en los tejidos vegetales.

Material para observación

Para las observaciones anatómicas que incluyen el xilema, el floema y otras estructuras, es necesario contar con tallos, ramas, raíces (collar de raíz), rizomas de dicotiledóneas y monocotiledóneas, hojas y/o pecíolos. Estos diferentes órganos y partes de la planta ofrecen una visión integral de la variabilidad estructural en diferentes contextos funcionales y ecológicos.

Planos de observación

Los **cortes transversales** son perpendiculares al eje principal; permiten examinar la organización y distribución de los tejidos en una sección circular. Los **cortes longitudinales** son paralelos al eje principal, muestran la estructura a lo largo del órgano y destacan la continuidad y las conexiones entre diferentes tejidos. Los **cortes radiales** atraviesan radialmente el órgano, útil para estudiar la disposición y el desarrollo de los tejidos en tallos y raíces. La combinación de ambos planos proporciona una comprensión completa de la arquitectura y las funciones internas de los tejidos vegetales (Figura 6).



Figura 6.

Planos de corte para observaciones histológicas

Fuente: elaboración propia.

Las tres perspectivas facilitan la identificación de patrones específicos, como la distribución de haces vasculares en monocotiledóneas y eudicotiledóneas, y permite comparar las adaptaciones estructurales que afectan el transporte de nutrientes, soporte mecánico y almacenamiento en diferentes especies vegetales.

Preparación de tejidos blandos manualmente

Aunque la preparación de cortes a mano brinda información rápida, la calidad y el espesor de estos cortes suelen ser irregulares. No obstante, es posible obtener buenos resultados con muestras de tejido blando, como hojas de suculentas, tallos tiernos, pecíolos e incluso semillas, siempre y cuando puedan ser adecuadamente sujetadas al momento del corte. Cabe aclarar que estos cortes no son adecuados para la preparación de placas permanentes. Para mejorar la sujeción del tejido, se pueden utilizar dos porciones de zanahoria o corcho como prensa (Figura 7 a-c). Para efectuar cortes limpios, es necesario emplear cuchillas de afeitar, orientadas en un ángulo de 30 a 45 grados en lugar de perpendicular al tejido (Figura 7).

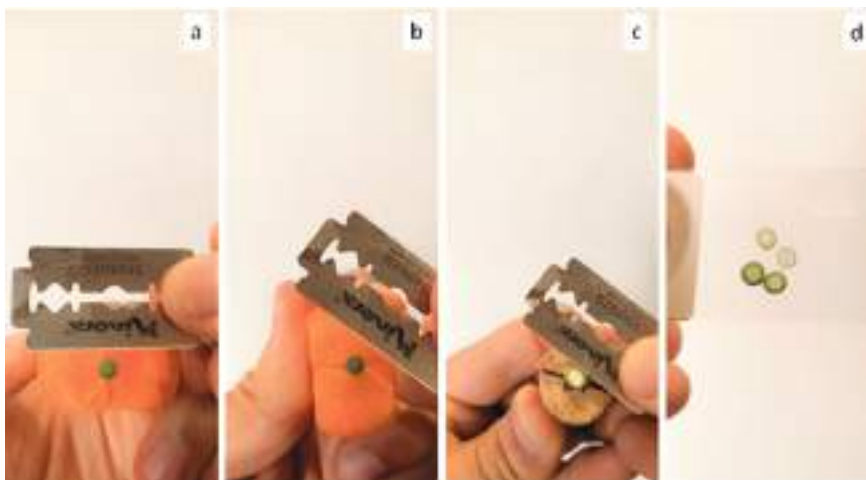


Figura 7.

Obtención de cortes en tejidos blandos. a. Orientación incorrecta de la cuchilla. b-c. Orientación apropiada de la cuchilla para la realización de cortes de tejido. c. cortes transversal del tejido seccionado, listo para su tinción y observación

Fuente: elaboración propia a partir de Gärtner y Schweingruber (2013).

Preparación de tejidos duros (madera)

La madera debe ablandarse antes de ser cortada mediante humectación durante varios minutos, horas o días, dependiendo de la densidad del material. En algunos casos conviene ablandar mediante cocción remojando pequeñas muestras en una mezcla de etanol al 96 %, glicerol y agua (1:1:1) durante varias semanas (Gärtner y Schweingruber, 2013). En madera conviene preparar pequeñas piezas seccionando el material como se sugiere en la Figura 8. A partir de estas pueden efectuarse cortes delgados con micrótopo en los planos transversal, radial y tangencial.

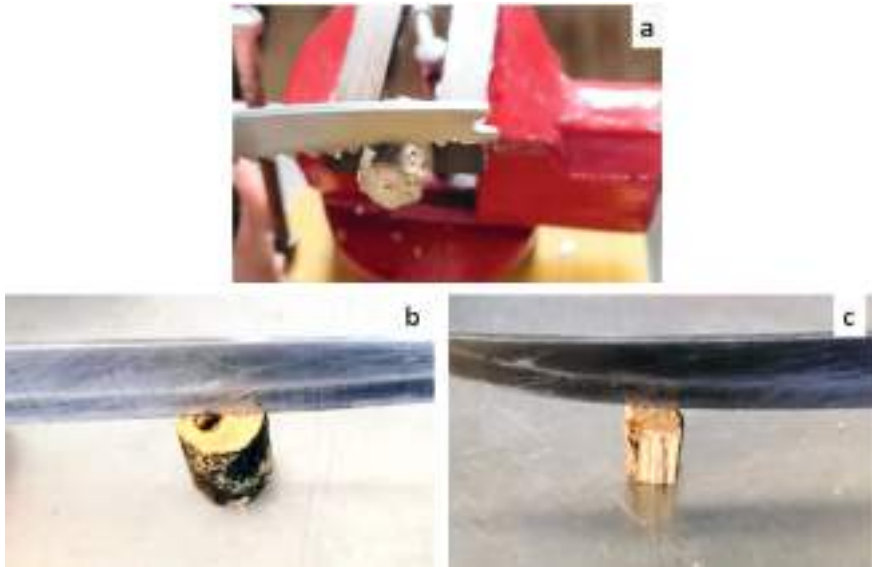


Figura 8.

Preparación de tejidos duros a. Seccionamiento de tallo con sierra de dientes finos; b. división de muestra paralela a las fibras; c. división de un bloque con lados paralelos a los radios, uno de los lados es perfectamente radial (adaptado de Gärtner y Schweingruber, 2013)

Fuente: elaboración propia a partir de Gärtner y Schweingruber (2013).

Tinción de los tejidos para su observación

El uso de tintes en histología vegetal permite resaltar y diferenciar estructuras celulares específicas (Figura 9). En particular, la safranina es un tinte rojo utilizado para teñir los tejidos lignificados, como las paredes celulares del xilema, facilitando la identificación de estas estructuras. El azul de metileno tiñe componentes celulares generales, destacando los núcleos y la estructura celular en general. El Astra Blue, por su parte, se utiliza para teñir los componentes de la pared celular primaria y el parénquima, proporcionando un contraste claro en tejidos blandos y no lignificados. Finalmente, el Lugol Iodine es ideal para identificar almidón, ya que reacciona con los gránulos de almidón, tiñéndolos de un color oscuro, lo que permite localizar las áreas de almacenamiento de carbohidratos en los tejidos vegetales (Herrera-Ramírez *et al.*, 2021). Cada tinte



aporta información específica y complementaria, facilitando un análisis detallado de la organización y función de los tejidos vegetales (Gärtner y Schweingruber, 2013).



Figura 9.

Tinción de muestras. a. Muestras con tinción luego de la remover el exceso. b. resultado obtenido luego de la tinción, en matices de rojo se aprecia el tejido lignificado y en matices del azul y púrpura el tejido no lignificado, principalmente parénquima

Fuente: elaboración propia.

Muestras con micrótopo

El uso del micrótopo es esencial en histología vegetal para obtener cortes uniformes y de espesor controlado, lo que facilita una observación detallada y precisa de las estructuras celulares. Este instrumento permite realizar cortes extremadamente delgados de muestras vegetales (inferior a los 25 μm), esenciales para el estudio de tejidos duros y blandos (Schweingruber, 2007). A diferencia de los cortes manuales, los cortes obtenidos con micrótopo son más uniformes y adecuados para la preparación de placas permanentes. Las muestras procesadas con el micrótopo pueden ser teñidas con diversos reactivos para resaltar estructuras específicas, proporcionando una visualización clara y detallada de la organización interna de los tejidos vegetales, como el xilema, floema, parénquima y epidermis (Figura 10).

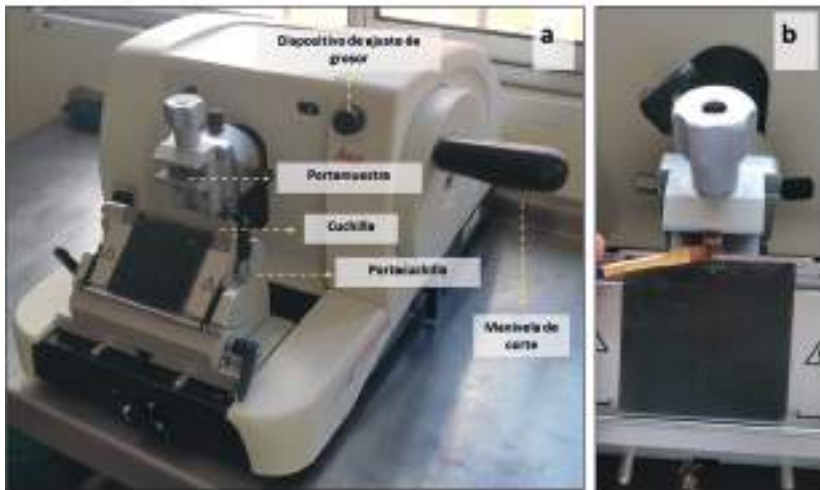


Figura 10.

Micrótopo y corte de muestras. a. Micrótopo Leica RM2125 RTS y sus componentes. b. corte de muestra de madera. Humedecer el corte con agua destilada utilizando pinceles de brocha fina facilita la manipulación de la muestra

Fuente: elaboración propia.

Montaje de muestras en micrótopo

Una vez se tienen muestras perfiladas, estas se ubican en la prensa del micrótopo para realizar cortes de 15-25 μm de grosor, con cuchilla de bajo perfil en los planos transversal, radial y tangencial. Una vez obtenido cada corte de tejido, éste es ubicado en una caja de Petri con agua destilada hasta tener suficientes réplicas. Luego, puede aplicarse el tinte deseado (e.g. azul de metileno, safranina, Astra blue, etc.). Posteriormente, se lava el exceso de tinte con agua destilada. Las muestras se sumergen en cajas de Petri con alcohol a diferentes concentraciones (50 %, 70 % y 96 %) durante 5 minutos en cada una para lograr una deshidratación gradual y efectiva. Al tener las muestras deshidratadas se impregnan con xilol antes de aplicar resina sintética para histología. Finalmente, se coloca un cubreobjetos aplicando una presión suave para eliminar las burbujas de aire (Gärtner y Schweingruber, 2013). Con este último paso se obtienen placas permanentes (Figura 11). Aunque existen diferentes



protocolos, el presentado en esta guía se considera seguro al no emplear químicos peligrosos.



Figura 11.

Montaje de muestras. a. Elementos necesarios para el montaje de muestras permanentes. b. Placa con muestras, fijación permanente

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Los estudiantes realizarán cortes transversales de un tallo joven, rama terminal, un pecíolo y una semilla de una angiospermas, empleando una cuchilla fina. Una vez obtenidas las muestras con el grosor adecuado realizarán las siguientes actividades:

- Ubicar las muestras en un portaobjetos, teñir las muestras con una gota de safranina durante 2 minutos, lavar el exceso de tinte con agua destilada.
- Ubicar muestras sin tinción en un portaobjetos, aplicar una gota de Lugol iodine durante 2 minutos, lavar el exceso de tinte con agua destilada.
- Observar y esquematizar las dos muestras.



- Señalar los tejidos observados.
- Indicar en qué tejidos se almacena el almidón

Banco de preguntas

1. ¿Qué estructuras celulares se pueden identificar en los cortes transversales de tallo, rama terminal, pecíolo y semilla de angiospermas?
2. ¿Qué diferencias observaste en la organización de los tejidos entre los cortes teñidos con safranina y los tratados con Lugol Iodine?
3. ¿En qué tejidos específicos se observó la presencia de almidón después de aplicar Lugol Iodine?
4. ¿Cómo ayuda la tinción con safranina a identificar los tejidos lignificados en las muestras?
5. ¿Cuanto mide en promedio el diámetro de los diferentes tipos de células observadas?

Referencias

- Gärtner, H. y Schweingruber, F. H. (2013). *Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis*. Verlag Dr. Kessel.
- Herrera-Ramírez, D., Sierra, C. A., Römermann, C., Muhr, J., Trumbore, S., Silvério, D., Brando, P. M. y Hartmann, H. (2021). Starch and lipid storage strategies in tropical trees relate to growth and mortality. *New Phytologist*, 230(1), 139-154. <https://doi.org/10.1111/nph.17239>
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood Structure and Environment*. Springer.

Recursos

- Megías Pacheco, M., Molist García, P. y Pombal Diego, M. A. (s.f.). *Atlas de historia vegetal y animal*. Universidad de Vigo. <https://mmegias.webs.uvigo.es/>



Laboratorio 4.

Tejidos vegetales

Objetivos

1. Identificar los tejidos vegetales de angiospermas: los estudiantes podrán identificar y describir las características morfológicas y funcionales de los principales tipos de tejidos vegetales: dérmico, vascular y fundamental.
2. Comprender la función de los tejidos vegetales: los estudiantes entenderán las funciones específicas de cada sistema de tejidos: epidermis, xilema, floema, parénquima, colénquima y esclerénquima.
3. Aplicar diferentes técnicas para la observación de tejidos vegetales: los estudiantes desarrollarán habilidades prácticas en el uso de estereoscopios, lupas y microscopios ópticos para la observación e identificación de tejidos vegetales, al tiempo que mejoran su capacidad de documentar observaciones científicas precisas.

Marco teórico

Los tejidos vegetales se definen como agrupaciones de células que realizan funciones específicas dentro de la planta (Evert, 2006). Permiten entender la anatomía y fisiología de las plantas, ya que desempeñan roles fundamentales en su crecimiento, desarrollo y



adaptación. Los tejidos constituyen la organización interna de los órganos vegetales, como tallos, hojas y raíces (Lopez *et al.*, 2023). Los tejidos vegetales se clasifican en tres sistemas principales: dérmico, vascular y fundamental.

Sistema de tejidos dérmicos

Conjunto de células que forman la cubierta externa de los órganos de las plantas (i.e., raíz, tallo y hojas). Su principal función es brindar protección contra daños físicos y patógenos, transpiración e intercambio gaseoso (Ha *et al.*, 2024).

La epidermis es un ejemplo de tejido dérmico y está formado por células que no dejan espacios intercelulares (Figura 12). En ella pueden presentarse tricomas (i.e., pelos o prolongaciones de las células epidérmicas). En la raíz, los pelos absorbentes son tricomas y su función es aumentar el área de absorción de agua y nutrientes. En tallo y hojas los tricomas pueden ayudar a proteger los órganos sobre los que se encuentran. El tejido dérmico también contribuye con el control del intercambio gaseoso y la transpiración, a través de los estomas y lenticelas. En tallos y hojas, algunas plantas presentan células de la epidermis recubiertas por una capa cerosa (i.e. cutícula cerosa) que previene la desecación y la entrada de bacterias y hongos.



Figura 12

Tejidos dérmicos. a. Epidermis; b. Lenticelas; c. Estoma

Fuente: elaboración propia.

Sistema de tejidos vasculares

Comprende dos tejidos: el **xilema** que transportan agua y minerales desde la raíz y el **floema** que transporta productos fotosintéticos desde las hojas hacia los demás tejidos de la planta (Figura 13).

Xilema: tejido compuesto por cuatro tipos principales de células: traqueidas, elementos de vaso, fibras de xilema y parénquima de xilema. Su función es fundamental para la conducción de agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Las traqueidas y los elementos de vaso forman una red de tubos que permiten el transporte eficiente de agua y solutos minerales, mientras que las fibras de xilema proporcionan soporte estructural. El parénquima de xilema, por su parte, almacena nutrientes y participa en la reparación del tejido.

El xilema, al constituir la parte interna del tallo, es también conocido como madera. Cuando el xilema completa su desarrollo contribuye significativamente al sostén de la planta, permitiéndole mantener



su estructura erguida y soportar diversas condiciones ambientales. Además de su función de transporte y soporte, el xilema desempeña un papel crucial en el almacenamiento de sustancias y en la respuesta a lesiones.

Floema: tejido encargado del transporte de nutrientes orgánicos, especialmente azúcares, almidón y lípidos, producidos por las partes fotosintéticas de la planta (i.e. hojas), hacia las áreas de almacenamiento y partes de la planta en desarrollo que requieren de dichos nutrientes. Por tanto, el floema es vital para la distribución de energía y nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta (Figura 14).

El floema está compuesto por varios tipos de células especializadas:

1. **Tubo criboso:** células alargadas que se disponen en filas y están conectadas lateralmente, a través de las cuales se transportan los productos fotosintéticos.
2. **Células acompañantes:** células estrechamente asociadas al tubo criboso, que facilitan el transporte de sustancias y proporcionan soporte metabólico.
3. **Esclerénquima:** incluye fibras y esclereidas que proporcionan soporte estructural al floema, garantizando su integridad y resistencia mecánica.

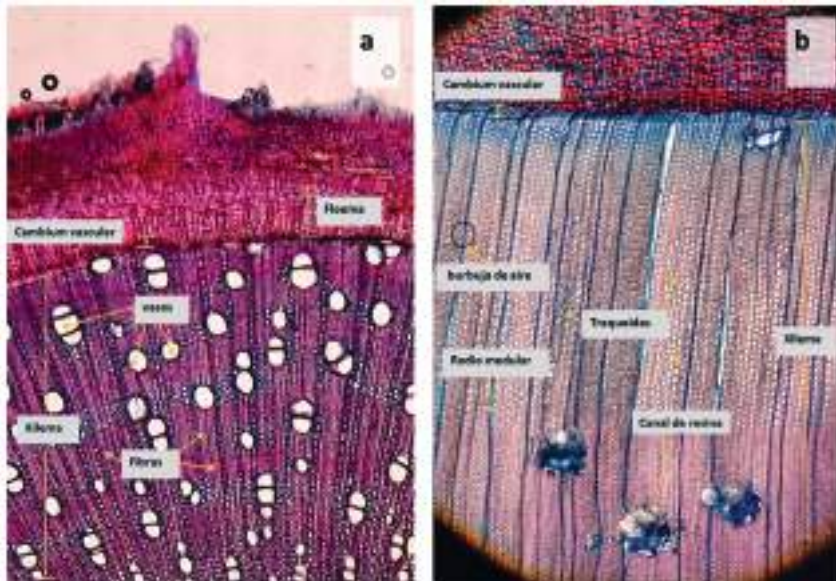


Figura 13.

Sistema de tejidos vasculares. a. Tejidos vasculares en plano transversal de angiosperma (Terminalia cattapa - Combretaceae); b. Tejidos vasculares en plano transversal de gimnosperma (Pinus tecunumanii - Pinaceae). No existen vasos en este tipo de plantas. Las traqueidas cumplen la doble función de transporte de agua y sostén

Fuente: elaboración propia.

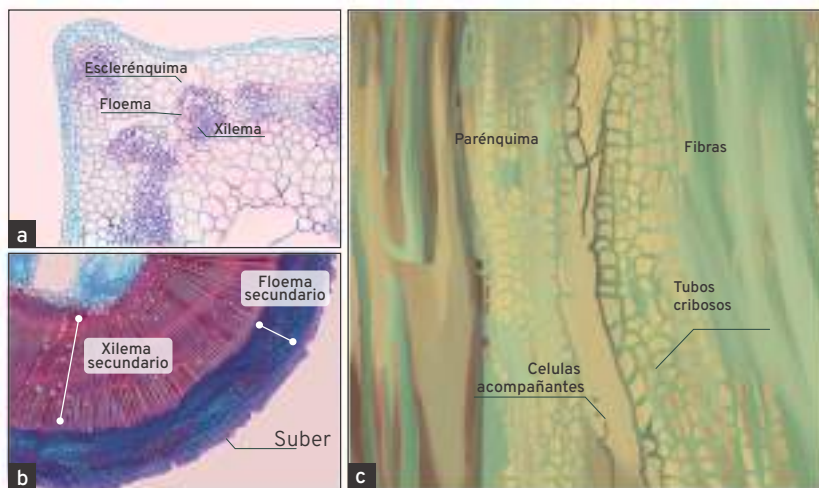


Figura 14.

Tejidos vasculares. A. Tejido vascular de monocotiledónea. B. tejido vascular de eudicotiledónea. C. Componentes del floema plano tangencial

Fuente: elaboración propia.

Sistema de tejidos fundamentales: comprende grupos de células que se encuentran en todos los órganos de las plantas y participan funciones como fotosíntesis, almacenamiento y soporte estructural

Comprende los grupos de células más abundantes, que se encuentran en todos los órganos y tejidos y participan de todas las funciones de la planta. Entre ellas se encuentran (ver Figura 12):

1. **Parénquima:** tejido abundante formado por células vivas, que se encuentran en todos los órganos y participan en el almacenamiento de sustancias, fotosíntesis, transporte de sustancias y en casi todos los procesos fisiológicos de la planta.
2. **Colénquima:** tejido formado por células vivas, cuyas paredes engrosan de manera desigual; su función principal es dar soporte flexible a los órganos donde se encuentra.
3. **Esclerénquima:** tejido formado por células muertas, cuyas paredes se han engrosado por la deposición de lignina. Su función es dar soporte rígido a los órganos donde se encuentra y pueden distinguirse varios tipos de células: células pétreas y fibras.

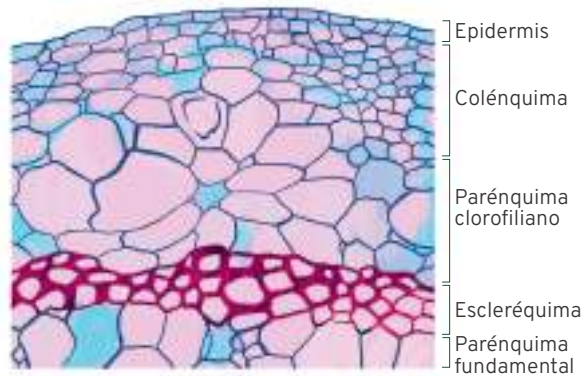


Figura 15.

Sistema de tejidos fundamentales: parénquima, colénquima y esclerénquima

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Los estudiantes realizarán cortes transversales de dos tallos jóvenes de angiospermas, una monocotiledónea (maíz, *Zea mays*) y una eudicotiledónea (fríjol, *Phaseolus vulgaris*), empleando una cuchilla fina. Una vez obtenidas las muestras con el grosor adecuado realizarán las siguientes actividades:

1. Teñir las muestras con azul de metileno y ponerlas en un portaobjetos y un cubreobjetos.
2. Teñir las muestras con lugol Iodine (5 %) para resaltar almidón, carbohidrato de reserva.
3. Observar y esquematizar las dos muestras.
4. Señalar los tejidos observados.

A partir de las observaciones realizadas establezca dos diferencias entre plantas monocotiledóneas y eudicotiledóneas en cuanto a los tejidos.



Banco de preguntas

1. ¿Cómo contribuye el estudio de los tejidos vegetales al entendimiento de los procesos fisiológicos y ecológicos de las plantas?
2. ¿Qué diferencias existen entre plantas angiospermas y gimnospermas en cuanto a los tejidos conductores?
3. ¿Cuáles tejidos son exclusivos de la raíz?
4. ¿Cuál tejido forma la madera en las plantas con crecimiento secundario?
5. ¿Cómo varía la estructura y función de los tejidos vegetales en respuesta a diferentes condiciones ambientales?

Referencias

- Evert, R. F. (2006). *Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development*. John Wiley & Sons.
- Ha, M., Morrow, M. y Algiers, K. (2024). *Botany*. LibreTexts. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Botany/Botany_\(Ha_Morrow_and_Algiers\)](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Botany/Botany_(Ha_Morrow_and_Algiers))
- López, F. B., Barclay, G. F. y Badal, S. (2023). Plant anatomy and physiology. En S. Badal McCreath y Y. N. Clement (Eds.), *Pharmacognosy: Fundamentals, Applications, and Strategies* (2.ª ed., pp. 29-48). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18657-8.00011-6>

Recursos

- Megías Pacheco, M., Molist García, P. y Pombal Diego, M. A. (s.f.). *Atlas de historia vegetal y animal*. Universidad de Vigo. <https://mmegias.webs.uvigo.es/>



Laboratorio 5.

Crecimiento secundario

Objetivos

1. Comprender el proceso de crecimiento secundario y la formación de anillos de crecimiento en plantas leñosas (dicotiledóneas).
2. Identificar y analizar las estructuras del xilema producidas por el cambium vascular.
3. Conocer algunas técnicas para el estudio de los anillos de crecimiento.
4. Interpretar la información proporcionada por los anillos de crecimiento en términos de condiciones ambientales y fisiológicas.

Marco teórico

El cambium vascular es el tejido meristemático responsable del crecimiento secundario que permite el engrosamiento del tallo en plantas leñosas, a través de la formación de madera (Schweingruber, 2007). Este meristema lateral genera xilema hacia el interior y floema hacia el exterior, creando así la estructura básica de la madera. Cuando las condiciones ambientales son favorables para el crecimiento, el cambium vascular produce células con lúmenes



grandes y paredes celulares delgadas, como fibras, traqueidas y poros. Sin embargo, cuando las condiciones son menos favorables, el cambium genera células más pequeñas, de menor diámetro y con paredes celulares más gruesas, hasta que su actividad cesa (Speer, 2010). Este proceso se repite anualmente, incluso en árboles tropicales, formando capas sucesivas de madera denominadas anillos de crecimiento, que reflejan los períodos de actividad y reposo del cambium vascular (Giraldo Jiménez *et al.*, 2020). Estos anillos son registros valiosos de las condiciones ambientales y el crecimiento de la planta a lo largo del tiempo.

Puesto que los anillos de crecimiento reflejan el período de crecimiento anual de las plantas, es posible atribuir fechas precisas al año en que se formaron. Este proceso, proporciona un registro cronológico detallado de las condiciones ambientales y climáticas que la planta ha experimentado. Al estudiar estos anillos se pueden identificar patrones de crecimiento relacionados con eventos climáticos específicos, como sequías o temporadas de abundancia de agua, lo que brinda una valiosa herramienta para la investigación ambiental y la reconstrucción histórica del clima (Giraldo, 2011).

Diferencias del xilema de angiospermas y gimnospermas

Las plantas vasculares poseen tejidos especializados para el transporte de agua, nutrientes y productos de la fotosíntesis a lo largo de la planta. Estos tejidos, conocidos como xilema y floema, constituyen el sistema vascular de la planta. El xilema transporta agua y minerales desde las raíces hacia las partes aéreas (i.e. tallo, ramas y hojas), mientras que el floema moviliza los productos de la fotosíntesis (e.g. azúcares y almidón), desde las hojas a otras partes de la planta, a fin de ser almacenados en tejidos de reserva.

Entre gimnospermas y angiospermas existen diferencias anatómicas contrastantes. Por razones evolutivas, el primer grupo presenta características anatómicas más simples que las del segundo grupo



(Figura 16a-b). Aunque las angiospermas son más eficientes en el transporte de agua y nutrientes, esta eficiencia también las hace más vulnerables, ya que son propensas a sufrir embolia (Figura 16c-d). Por otro lado, las gimnospermas poseen principalmente traqueidas para el transporte de agua y soporte estructural en la planta. Aunque estas son menos eficientes en el transporte de agua, proporcionan mayor seguridad al ser menos susceptibles a embolismos.

En gimnospermas, la estructura de los anillos de crecimiento es determinada por la dimensión de las traqueidas, es decir, cambios en el espesor de su pared celular y tamaño del lumen (Figura 17). En angiospermas, existen tres tipos de arreglos en la anatomía que definen la estructura de los anillos de crecimiento y varían según la especie: i) variaciones en el diámetro de los vasos en la porción inicial de anillo respecto a la porción final del mismo, dicho agrupamiento se denomina porosidad circular o semicircular, cuando dicha característica es ausente, los poros se distribuyen difusamente (i.e., porosidad difusa) (Figura 18, Figura 19a). ii) Cambios en el espesor de la pared de las fibras y/o aplanamiento radial de éstas que conducen variación en el tamaño del lumen de las fibras (Figura 18, Figura 19a). iii) Presencia de una banda de parénquima axial (Figura 19c). En algunas especies puede presentarse todas o algunas de dichas características delimitando los anillos de crecimiento (Figura 18).

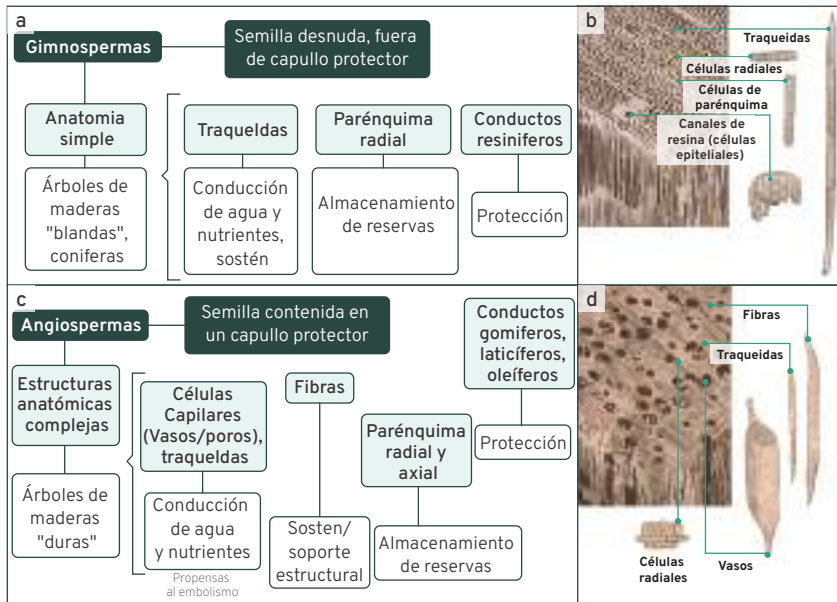


Figura 16.

Estructuras anatómicas del xilema. a-b. Gimnospermas y c-d. Angiospermas

Fuente: elaboración propia.

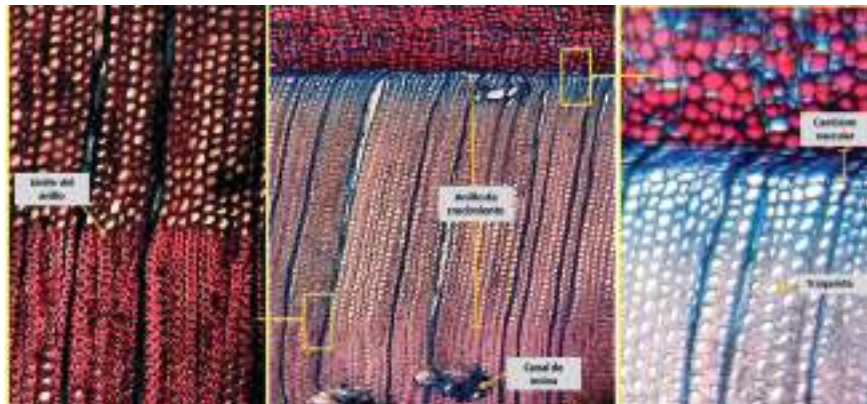


Figura 17.

Anillos de crecimiento y características anatómicas de gimnosperma (Pinus tecunumanii)

Fuente: elaboración propia.

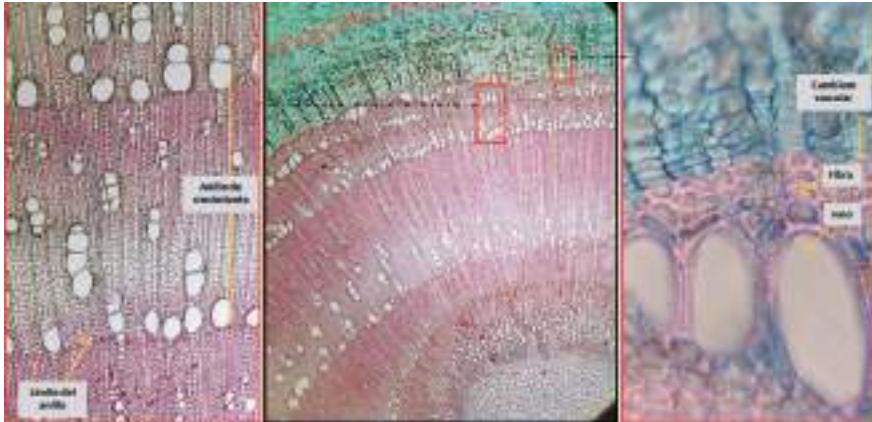


Figura 18.

Anillos de crecimiento y características anatómicas de angiosperma (*Fraxinus uhdei*)

Fuente: elaboración propia.

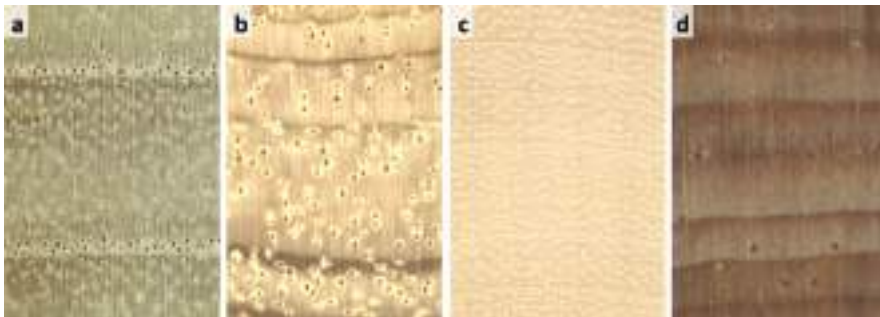


Figura 19.

Tipos de anillos de crecimiento. a. Definidos por porosidad semicircular en *Cedrela odorata* - Meliaceae; b. Definidos por cambios de densidad o mayor espesor de la pared de las fibras en *Tachigali colombiana* - Fabaceae; c. Definidos por bandas de parénquima axial en *Mangifera indica* - Anacardiaceae; d. cambios de densidad o cambios en el espesor de la pared de las células en *Pinus techunumanii* - Pinaceae

Fuente: elaboración propia.



Edad de los árboles

Para conocer la edad de los árboles es necesario observar los anillos de crecimiento sobre el plano transversal, que es la superficie expuesta al hacer un corte de una rama o tallo principal. Sin embargo, es posible determinar la edad de un árbol sin necesidad de talarlo utilizando un barreno para madera. Este instrumento permite extraer núcleos del tronco, los cuales pueden ser examinados para identificar y contar los anillos de crecimiento (Figura 20). Este método no solo preserva la integridad del árbol, sino que también proporciona una manera eficiente de estudiar su historia de crecimiento y las condiciones ambientales que ha experimentado a lo largo de su vida.



Figura 20.

Muestreo no destructivo con barreno de incrementos. a. inserción del barreno manualmente en el fuste del árbol. b. extracción del núcleo de madera. La incisión de apenas 5.15mm de diámetro es posteriormente tapada con resina sintética

Fuente: elaboración propia.

Al obtener muestras de madera, ya sean del tallo, ramas o núcleos, es necesario procesarlas con lijas para resaltar las características anatómicas macroscópicas y permitir su estudio a simple vista o con lupas de bajo aumento (Figura 21). Este proceso de lijado suaviza la superficie de la madera, destacando los anillos de crecimiento



y otras estructuras anatómicas (Figura 21). Para estudiar dichas características a nivel celular, es necesario coleccionar muestras apropiadas y perfilarlas en pequeños bloques o cilindros para la preparación de cortes finos. Estos cortes se procesan y se tiñen para la preparación de placas permanentes, lo que permite un análisis detallado bajo el microscopio y una mejor comprensión de la anatomía celular de los anillos de crecimiento (ver Laboratorio 2 y 3).

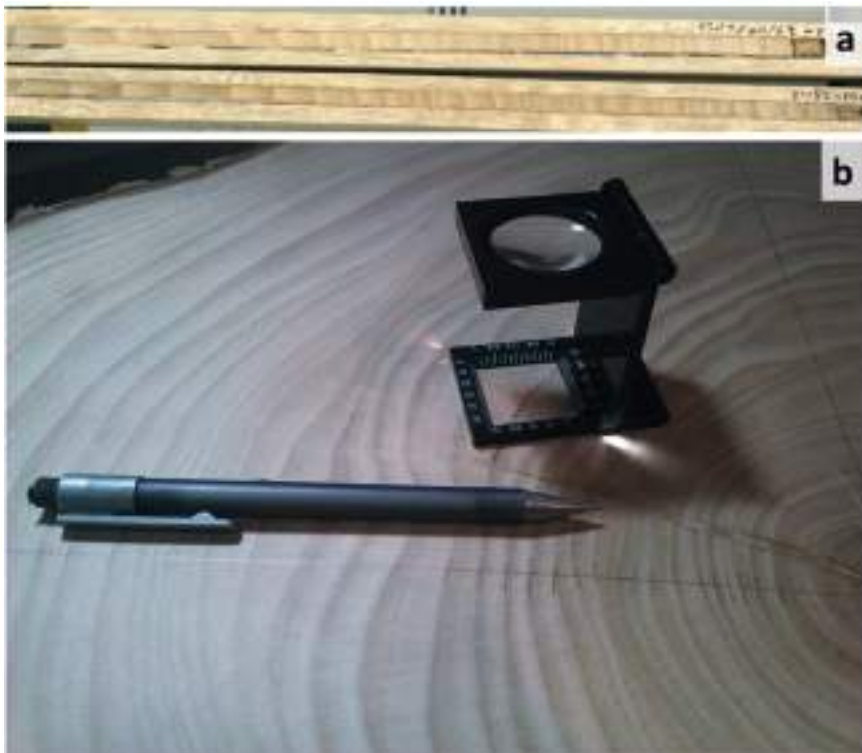


Figura 21.

Anillos de crecimiento en dos tipos de muestra. a. Núcleos con anillos de crecimiento visibles. b. Sección transversal de madera (disco) con anillos de crecimiento visibles

Fuente: elaboración propia.



Procedimiento

Los estudiantes tomarán ramas con diámetro inferior 5 cm de urapán o mango a partir de las cuales deberán obtener dos discos de madera de 1.5 cm de espesor. Un disco será lijado aumentando gradualmente el grano de las lijas (80, 120, 220, 280, 320, 400), hasta obtener una superficie con los anillos de crecimiento claramente visibles. El otro disco será usado para obtener bloques de 1cm², que permitan la obtención de cortes en el micrótopo, siguiendo los pasos del Laboratorio de Técnicas Histológicas. Una vez obtenidas las muestras y procesadas realizarán las siguientes actividades:

- Indicar la edad de la rama (años).
- Asignar al último anillo observable que se encuentra contiguo a la corteza, el año de colección de la rama, a partir de este, asignar la fecha (año) de forma regresiva a los demás anillos que observa en la muestra. ¿A qué año corresponde el primer anillo?
- Mida el espesor en mm de cada uno de los anillos de crecimiento.
- Obtenga una tabla que contenga en una columna los años y otra el espesor (ancho de anillos) y realice un gráfico.
- Mencione los años de mayor y menor crecimiento.
- Que tipo de anillos de crecimiento tiene la muestra analizada.
- Dibuje las estructuras observadas a partir del corte de micrótopo.

Banco de preguntas

1. ¿Qué es el cambium vascular y cuál es su papel en el crecimiento secundario de las plantas leñosas?
2. ¿Qué diferencia hay entre el xilema producido por el cambium vascular en angiospermas y gimnospermas?
3. ¿Cómo se pueden utilizar los anillos de crecimiento para reconstruir la historia climática de una región?



4. ¿Qué ventajas ofrece el uso de un barreno para madera en el estudio de anillos de crecimiento frente a la tala de árboles?

Referencias

- Giraldo Jiménez, J. A. (2011). Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97-111. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.1.a08>
- Giraldo, J. A., del Valle, J. I., Sierra, C. A. y Melo, O. (2020). Dendrochronological Potential of Trees from America's Rainiest Region. En M. Pompa-García y J. J. Camarero (Eds.), *Latin American Dendroecology: Combining Tree-Ring Sciences and Ecology in a Megadiverse Territory* (pp. 79-119). Springer.
- Schweingruber, F. H. (2007). *Wood Structure and Environment*. Springer.
- Speer, J. H. (2010). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. University of Arizona Press.

Recursos

- Universidad Nacional Colombia [televisionunal]. (26 de abril de 2024). *La #dendrocronología es la ciencia que estudia los anillos de los árboles. Gracias a ella es posible obtener información medioambiental* [Video]. TikTok. <https://www.tiktok.com/@televisionunal/video/7362310884112354566>



Laboratorio 6.

Morfología externa de raíz y tallo

Objetivos

1. Identificar la morfología externa de raíces y tallos.
2. Clasificar raíces y tallos de acuerdo con sus diferencias morfológicas.

Marco teórico

Raíz

La raíz es el órgano que sostiene la planta, absorbe y transporta agua y minerales hacia el tallo y las hojas, a la vez que recibe moléculas orgánicas que proceden de estos. Además, la raíz participa en la producción de hormonas y otras sustancias que regulan el desarrollo y la estructura del vegetal (Nabors, 2006). Se pueden identificar externamente las siguientes partes (Figura 22).

Cofia, caliptra o piloriza: son varias capas celulares cuya función es proteger las células de meristemo apical de la raíz. A medida que la raíz se abre paso entre las partículas del suelo, las capas son desechadas y sustituidas por nuevas células.



Zona pilífera: es la zona de tejidos diferenciados, donde la raíz produce las células epidérmicas denominadas pelos radicales. Estos son responsables en mayor medida de la absorción de agua y minerales del suelo, incluso en árboles de gran tamaño; por eso suelen aparecer a uno o dos centímetros de la superficie. A medida que la raíz crece, mueren los pelos radicales más antiguos y nacen nuevos en cada nueva zona de maduración.

Zona suprapilífera: es la zona por encima de los pelos absorbentes más cercana a la superficie del suelo.

Cuello: corresponde al área de transición entre la raíz y el tallo.

Existen dos modelos diferentes de crecimiento radical: pivotante y fibroso y se explican a continuación:

Sistema radical axonomorfo, primario o pivotante: se distingue la raíz principal y suele ser común en la mayoría de las gimnospermas y eudicotiledóneas; consiste en una raíz axonomorfa, cuya función es acceder al agua a gran profundidad. Muchas plantas pequeñas presentan un sistema radical pivotante, en particular aquellas que necesitan sobrevivir largos períodos de tiempo sin precipitaciones.

Sistema fasciculado o fibroso: suele ser muy común en monocotiledóneas; la radícula o raíz primaria muere pronto y surgen numerosas raíces desde la parte inferior del tallo. Estas son raíces adventicias y no existe una raíz que sobresalga por su mayor longitud. Cada raíz adventicia forma raíces laterales, dando lugar a un sistema que generalmente es menos profundo y más horizontal que un sistema axonomorfo. Esta estructura poco profunda permite que las raíces obtengan agua rápidamente antes de que se evaporen.

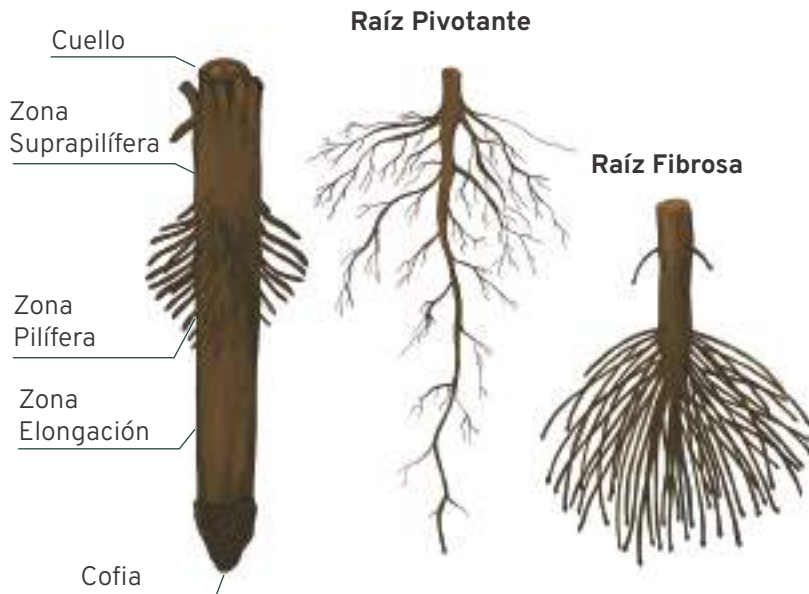


Figura 22.

Tipos de raíz y sus partes

Fuente: elaboración propia.

Tallo

Es el órgano aéreo que da sustento físico a la planta, que tiene un geotropismo negativo, un fototropismo positivo (Uribe Álvarez, 1991), y desempeña las siguientes funciones en la planta:

1. Produce y sostiene las ramas de hojas y flores.
2. Conduce sustancias desde la raíz hasta las hojas y desde estas al resto de la planta, a través del xilema y floema.
3. Reproducción vegetativa.
4. Almacenamiento de sustancias de reserva y nutrientes.



En el tallo se distinguen las siguientes partes (Figura 23).

Yemas: son estructuras constituidas por tejido meristemático; existen varios tipos de yemas:

Yema apical: se encuentra en el extremo del eje principal del tallo y de las ramas; su función es producir continuamente tejidos para el crecimiento en longitud. La yema apical está protegida por hojas modificadas llamadas escamas.

Yemas axilares o laterales: estas se desarrollan en la axila que forma la hoja con el eje principal.

Yemas adventicias: nacen en una parte de la planta diferente a las axilas, generalmente como resultado de una lesión y pueden desarrollarse en tallos, raíces y hojas.

Estípulas: son hojitas modificadas que generalmente se disponen en pares y protegen la yema axilar. Se presentan en plantas como café (*Coffea arabica*) y fríjol (*Phaseolus vulgaris*).

Nudos: sitios del tallo en donde se desarrollan las hojas.

Entrenudo: porción del tallo entre dos nudos.

Cicatriz: huella o marca que queda en el tallo por la caída de una hoja, una yema, los cotiledones o por una lesión.



Figura 23.

Tallo y sus partes

Fuente: elaboración propia.

Según su forma, el tallo puede ser:

1. **Terete o cilíndrico:** es un tallo que en un corte transversal muestra una periferia circular.
2. **Angular:** cuando al hacer el corte transversal la periferia del tallo es triangular, cuadrangular o hexagonal.

Los tallos también se pueden clasificar de acuerdo con su ramificación:

1. **Columnar:** sin ramificación.



2. Pluricaules: se presentan los siguientes casos:

- *Ramificación monopódica*: cuando hay un eje principal con marcada dominancia sobre las ramificaciones que salen de él, a lo largo de toda la planta; por ejemplo, la ramificación de los pinos y los cipreses.
- *Ramificación simpódica*: cuando el tallo principal suspende el crecimiento a determinada altura, ramificándose y perdiendo su dominancia; es decir no se diferencia el tallo principal de las ramificaciones.
- En las palmas el tallo principal se denomina estipe, estas pueden ser mono estipal o cespitosas cuando un único individuo está constituido por múltiples estipes.

Procedimiento

Los estudiantes observarán 10 plantas completas (incluyendo la parte aérea y raíces), tales como zebrina (*Tradescantia zebrina*) lirio (*Lilium* sp.), maíz (*Zea mays*), cebolla (*Allium cepa*), san joaquín (*Hibiscus rosa-sinensis*), entre otras, las observarán a través del estereoscopio y realizará las siguientes actividades:

1. Esquematizar dos plantas con flores, por ejemplo, de san joaquín y zebrina (eudicotiledónea y monocotiledónea) y señalar todas las partes de raíz y tallo.
2. Esquematizar un tallo modificado [cinta (*Chlorophytum comosum*), granadilla (*Passiflora ligularis*), cebolla, papa (*Solanum tuberosum*)] y señalar sus partes.
3. Completar la Tabla 3.



Tabla 3.
Identificación de diferentes tipos de raíces y tallos

Nombre planta	Sistema radical	Forma tallo	Ramificación Tallo	Modificaciones



Banco de preguntas

1. Mencione cuatro plantas nativas de Colombia importantes por sus raíces e indiquen los alimentos o sustancias que almacenan.
2. Describa las diferencias entre plantas con crecimiento primario y plantas con crecimiento secundario.
3. Mencione cuatro tipos de tallos modificados y nombre las plantas que los presenten
4. ¿Cuál es la función de las yemas en las plantas?

Referencias

Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botánica* (Trad. P. González-Barreda). Pearson Educación.

Uribe Álvarez, F. (1991). *Botánica general* (2.ª ed.). Universidad de Antioquia.

Recursos

Real Science. (12 de junio de 2021). *The Secret Language of Trees* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/9HiADisBfQ0>



Laboratorio 7.

Potencial hídrico en la planta

Objetivo

Determinar el potencial de agua o hídrico (Ψ_w) en un tejido vegetal, por medio de un método cuantitativo, a partir de la concentración de una solución.

Marco teórico

El potencial hídrico (Ψ_w) se puede entender como el estado hídrico de un tejido, órgano o cuerpo, y está asociado a la capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema en particular. Es una medida de la energía libre del agua en el sistema. Desde el punto de vista físico, el Ψ_w es el trabajo que habría que suministrarle a una unidad de masa de agua, «ligada» al suelo o a los tejidos vegetales, a una misma temperatura y presión atmosférica para ponerla en movimiento. Típicamente se expresa en unidades de presión megapascuales (Mpa) y permite entender la tensión con la cual el agua está sujeta a los tejidos. A mayor presión, mayor es la fuerza con la que se retiene el agua, por lo tanto, el tejido estará más deshidratado (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Salisbury y Ross, 1994; Taiz y Zeiger, 2002). Esta es una medida informativa de la capacidad de las plantas para resistir la limitación por agua en el suelo.



El concepto de Ψ_w es importante porque permite predecir el movimiento del agua en diversas condiciones; el agua se mueve de forma espontánea, desde una zona de potencial hídrico mayor a una región donde este es menor. Un ejemplo sencillo es el agua que baja por una pendiente en respuesta a la gravedad; el agua arriba de la pendiente tiene mayor energía potencial que el agua en el inferior de la pendiente. Otro ejemplo es cuando se aumenta la concentración de solutos en una solución, lo que ocasiona una disminución del Ψ_w o la capacidad de las moléculas de agua para realizar trabajo (García *et al.*, 2006; Salisbury y Ross, 1994). Específicamente, el agua en las plantas se mueve en la planta por la fuerza motora que genera la pérdida de agua en las hojas por la transpiración.

El agua es el componente mayoritario de las plantas (aproximadamente, un 80-90 % del peso fresco de las herbáceas y más del 50 % en las leñosas). A su vez, la mayoría de los procesos fisiológicos son afectados en forma directa o indirecta (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La reducción en el contenido de agua puede conducir a: baja germinación de las semillas, pérdida de turgencia, marchitamiento, cierre de las estomas, reducción de la fotosíntesis, baja absorción de nutrientes y disminución en la producción de granos y frutos, e interfiere con muchos otros procesos metabólicos.

Los principales factores que contribuyen al Ψ_w son: a) la concentración de solutos, b) la presión, c) la fuerza de adhesión de las moléculas de agua con los coloides del suelo o de la pared celular, también conocido como potencial mátrico, y d) la gravedad; por tanto, el Ψ_w y sus componentes está expresado en la siguiente ecuación:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

donde Ψ_p es el potencial de presión y representa la diferencia en presión hidrostática; puede ser positivo o cero, el cual es la presión ejercida por la pared celular contra la membrana celular; entre más turgente esté la célula, el Ψ_p es más positivo.

Ψ_s representa el potencial de soluto u osmótico; este es negativo, expresa el efecto de los solutos en una solución celular. En consecuencia, los solutos disueltos disminuyen la energía libre del



agua, debido a que se aumenta el desorden de las moléculas o la entropía, al formarse una tercera sustancia conocida como solución acuosa. En las plantas, a mayor potencial osmótico se espera una mayor concentración de solutos en el agua de las células de los tejidos.

Ψ_m representa el potencial mátrico. Es negativo y expresa el efecto de los microcapilares y las superficies de las paredes celulares en la retención del agua. Dentro del sistema continuo suelo-planta-atmósfera es despreciable en los vegetales, pero en el suelo es de gran importancia por su efecto sobre el contenido hídrico del mismo.

Ψ_g es el Potencial de gravedad y expresa las divergencias en la energía potencial, debida a diferencias en altura, siendo positivo a mayor altura; en los vegetales este potencial tiene un valor de cero, debido a que, dentro del sistema continuo suelo-planta-atmósfera, no se presenta influencia de las fuerzas gravitacionales.

En consecuencia, el Ψ_w del sistema continuo suelo-planta-atmósfera está dado:

En las células vegetales: $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$

En el suelo: $\Psi_w = \Psi_m + \Psi_s$

Debido a que las mediciones se hacen en soluciones que se encuentran sometidas a la presión atmosférica; conforme lo expresan Salisbury y Ross (1994), el Ψ_p será igual a cero MPa (0 MPa). Según lo mencionado por estos mismos autores, el Ψ_s de la solución se puede calcular por medio de la fórmula:

$$\Psi_s = -CiRT$$

donde:

Ψ_s : potencial osmótico.

C: concentración de la solución expresada como molalidad (moles de soluto por kg H₂O).

i: constante para la ionización del soluto y otras variaciones respecto a las soluciones ideales. Para la sacarosa $i=1$.



R: constante de los gases ($0,00831 \text{ kg.MPa.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$, ó $0,080205 \text{ kg.Atm. mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

T: temperatura absoluta $K = ^\circ\text{C} + 273$.

Debe tenerse presente que la temperatura de la solución a la que se le calculará el Ψ_s , se asimila a la ambiental del laboratorio cuando se realiza el procedimiento. Por otra parte, estas soluciones, por encontrarse a presión atmosférica, se ha aceptado dentro de la comunidad científica universal (Salisbury y Ross, 1994), que el Ψ_p es igual a cero MPa. En consecuencia, el Ψ_w de la solución es igual al Ψ_s de la misma; igualmente, en el equilibrio, el Ψ_w de la solución es igual al del tejido.

Procedimiento

Se dispondrá de las siguientes concentraciones de soluciones de sacarosa en agua destilada: 0,1M; 0,2M; 0,3 M; 0,5M; 0,8 M; 1M, (mol kg^{-1}); además, se tendrá como testigo un tubo de ensayo con agua destilada ($0,0 \text{ mol kg}^{-1}$).

Se depositarán, en cada tubo de ensayo, 10 ml de las soluciones de sacarosa y de agua destilada indicadas. Es importante mantener el orden para no alterar la concentración.

Tomar cilindros de papa (*Solanum tuberosum*) o zanahoria (*Daucus carota*) con un sacabocado con diámetro conocido; luego, córtelos en fracciones de longitud uniforme y séquelos, rápidamente, con papel absorbente. Mejores resultados se lograrán si los segmentos se manipulan con pinzas, evite exprimirlos.

Pese inmediatamente las porciones de tejido y llévelas a cada uno de los tubos de ensayo que contienen las soluciones y el agua destilada. 30 o 45 min después de haber colocado el tejido en los tubos de ensayo (la duración del contacto con la solución depende del tiempo disponible), sáquelo y séquelo con servilletas de papel y pese de inmediato.

Para conveniencia de los cálculos escriba en la Tabla 4, los cambios de peso que se presentarán en las rodajas de los tejidos, de acuerdo con las soluciones empleadas. Con base en los registros de peso, obtenidos



antes y después de sumergir los segmentos en las soluciones y el agua destilada, establezca las diferencias alcanzadas y calcule si el Ψ_w del tejido es mayor o menor que la de la solución utilizada.

Tabla 4.
Registro de datos con el método de peso constante empleado en la determinación del potencial hídrico (Ψ_w)

Concentración (sacarosa)	Peso del tejido inicial (g)	Peso del tejido final (g)	Diferencia del peso del tejido (g)	Potencial osmótico de la solución (Ψ_s)	Potencial hídrico del tejido (Ψ_w)
Agua destilada 0M					
0.1M					
0.2M					
0.3M					
0.5M					
0.7M					
0.9M					
1M					



Banco de preguntas

1. ¿Por qué es importante la ósmosis en las plantas?
2. ¿Qué condiciones pueden afectar el movimiento del agua en las plantas?
3. ¿Cuáles son las rutas por las que se puede mover el agua al interior de la planta?
4. ¿Qué fenómeno físico les permite a las moléculas de agua unirse entre ellas mismas?
5. ¿Cuáles son las diferentes maneras en que se encuentra el agua en el suelo?

Referencias

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (Coords.). McGraw-Hill.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. Iberoamérica.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology* (3.^a ed.). Sinauer Associates.

Recursos

- CED. (1 de abril de 2019). *Cómo definir el estado hídrico de una planta* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/90tgnfl67WQ>
- Facultad de Estudios Superiores Iztacala. (s.f.). *Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. Carrera de Biología FES Iztacala. <https://biologia.iztacala.unam.mx/index.php/fisiologia-vegetal-2/>
- García, E. Morcillo, J. G. Reyero, C. (2006). El agua subterránea: ideas de los alumnos y evolución de las mismas a lo largo de una sesión de clase. XXII Encuentros Didáctica de las Ciencias Experimentales. Zaragoza
- SymBios. (27 de junio de 2013). *Transportation in Plants* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/JFb-CWlz7kE>



Laboratorio 8.

Estructura interna de las hojas y determinación de la clorofila

Objetivos

1. Determinar e identificar la presencia de los pigmentos asociados a la fotosíntesis.
2. Identificar y diferenciar la estructura interna de las hojas de plantas con fotosíntesis C3, C4 y CAM.

Marco teórico

Los organismos autótrofos, como las plantas, tienen la capacidad para sintetizar compuestos orgánicos a partir de la energía lumínica y compuestos inorgánicos, este proceso se conoce como fotosíntesis (Bresinsky *et al.*, 2012). La fotosíntesis está compuesta por fases; por un lado, está la reacción lumínica, en la cual se absorbe la energía del espectro visible de la luz mediante pigmentos fotosintéticos. Esta energía se utiliza para transferir electrones a través de cadenas transportadoras, lo que permite la formación de energía química en forma de NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato, en su forma reducida, con alto poder reductor) y ATP (adenosín trifosfato, que aporta poder de enlace) (Voitsekhovskaja y Tyutereva, 2015). Los pigmentos fotosintéticos son localizados en la membrana del tilacoide del cloroplasto, de los cuales se destacan: los cloroplastos, carotenoides y ficoeritrobilinas.



Las clorofilas son los pigmentos que más longitudes de onda absorben del espectro visible. Existen dos tipos principales: la clorofila a (Chl a) y la clorofila b (Chl b). (Taiz *et al.*, 2017). Los carotenoides son terpenos que absorben la energía lumínica y la transfieren a la clorofila, además cumple un papel muy importante como fotoprotector (Maoka, 2020). En la fotosíntesis, además de las clorofilas, participan otros pigmentos como las antocianinas, derivadas de los flavonoides. Estos compuestos tienen un papel fotoprotector, ayudando a mitigar el daño causado por el exceso de luz, y son responsables del color rojo-morado en algunos tipos de hojas (Stetsenko *et al.*, 2020).

Una vez finalizada la fase lumínica, la fotosíntesis avanza hacia la fase de asimilación de carbono, conocida como el ciclo de Calvin. Este proceso ocurre en el estroma del cloroplasto y se organiza en tres subfases altamente coordinadas: **carboxilación**, donde se fija el CO₂; **reducción**, en la que los compuestos intermedios se transforman en moléculas con mayor contenido energético gracias al NADPH y ATP; y **regeneración**, que asegura la síntesis de ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP) para reiniciar el ciclo (Taiz *et al.*, 2017).

La mayoría de las plantas terrestres realizan la fotosíntesis C₃, donde la enzima Rubisco cataliza la reacción entre el CO₂ atmosférico y la ribulosa 1,5-bisfosfato (RuBP) para formar una molécula de 3 carbonos (3-C) durante el proceso de carboxilación (Edwards, 2019). En condiciones de alta temperatura y bajas concentraciones de CO₂ interno, la eficiencia de Rubisco disminuye, lo que limita el rendimiento fotosintético. Para superar esta limitación, algunas plantas han desarrollado mecanismos que aumentan la concentración interna de CO₂. Estos mecanismos implican la fijación inicial del CO₂ en una molécula de cuatro carbonos (4-C), catalizada por la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC). Estas plantas son conocidas como C₄ y plantas con metabolismo ácido de las Crasuláceas (CAM), estas se diferencian entre sí por la capacidad de aislar la actividad de la enzima Rubisco y PEPC (Edwards, 2019). Los mecanismos usados por las plantas que conocemos como C₃ y C₄ corresponden con una estructura interna de la hoja (Figura 24).

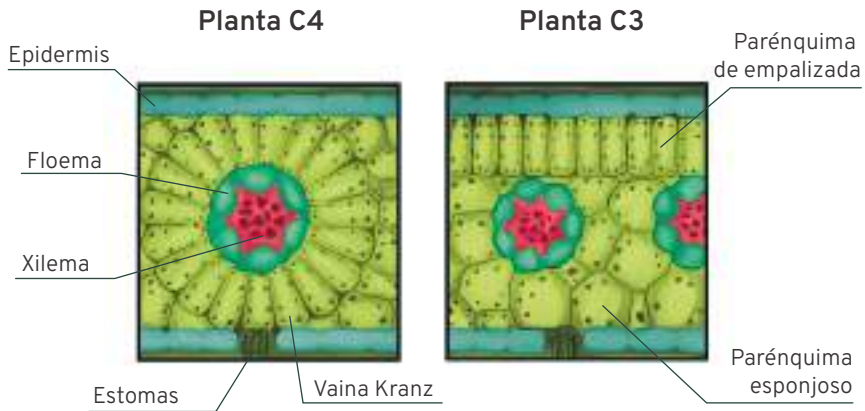


Figura 24.

Estructura interna de plantas C3 y C4

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

1. Observación de pigmentos. Será suministrada una muestra de hojas con diferentes características: hojas jóvenes y hojas viejas de alguna especie de la familia Myrtaceae, hojas de *Euphorbia cotinifolia* y hojas de especies de la familia Fabaceae. El estudiante debe dividir las hojas en pequeñas fracciones en un mortero. Añadir 15 ml de alcohol etílico 70 % y macerarlas usando el pistilo durante 5 minutos. Luego, debe filtrar la solución macerada por medio de un embudo con papel filtro y colocarla en una caja de Petri. Enseguida, sumergir uno de los bordes de un papel de cromatografía en la solución filtrada durante 10 minutos. Posteriormente, se debe dejar secar el papel, observarlo en el estereomicroscopio y realizar lo siguiente:
 - a). Describir el resultado final observado (número y tipo de pigmentos observados, tamaño de cada una de las bandas, orden en el cuál aparecieron, otras características observadas).



- b).** Indicar cómo el resultado observado puede explicar las características de la planta que le correspondió.

Para observar la estructura interna de plantas C3, C4 y CAM, las muestras de las hojas serán procesadas de acuerdo con la metodología descrita en el laboratorio 3.

- 2.** Sección transversal de la hoja de una planta C3. Dibujar y representar la epidermis, estomas, parénquima de empalizada, parénquima esponjoso y el xilema-floema (haz vascular).
- 3.** Sección transversal de la hoja de una planta C4. Dibujar y representar la epidermis, estomas, células bulliformes, parénquima de empalizada, vaina kranz y el xilema-floema (haz vascular).
- 4.** Sección transversal de la hoja de una bromelia (CAM). Dibujar y representar la epidermis, estomas, parénquima de empalizada, hidrénquima y el xilema-floema (haz vascular).

Banco de preguntas

- 1.** De acuerdo con el laboratorio realizado, ¿una planta con hojas rojas presenta clorofila?
- 2.** ¿Para qué sirven los otros pigmentos diferentes a la clorofila?
- 3.** ¿Qué podría indicar la forma y cantidad del parénquima de empalizada en la hoja?
- 4.** ¿Cuáles son las diferencias anatómicas que se observan en las plantas C3 y C4?
- 5.** ¿Cuáles son las diferencias anatómicas que se observan en las plantas C4 y CAM?

Referencias

Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit, J. W., Neuhaus, G. y Sonnewald, U. (2012). Tratado de Botánica de Strasburger (Trad. A. Fidelis, F. Ferreira Oliveira, H. Hasenack, L. Rios de Moura Baptista, M. L. Tissot-Squalli y P. L. de Oliveira, 36.^a ed.). Artmed.



- Edwards. E. J. (2019). Evolutionary trajectories, accessibility and other metaphors: the case of C4 and CAM photosynthesis. *New Phytologist*, 223(4), 1742-1755. <https://doi.org/10.1111/nph.15851>
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1). <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>
- Stetsenko, L. A., Pashkovsky, P. P., Voloshin, R. A., Kreslavski, V. D., Kuznetsov, V. V. y Allakhverdiev, S. I. (2020). Role of anthocyanin and carotenoids in the adaptation of the photosynthetic apparatus of purple- and green-leaved cultivars of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to high-intensity light. *Photosynthetica*, 58(4), 890-901. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.048>
- Taiz. L., Zeiger, E., Møller, I. M. y Murphy, A. (2017). *Fisiología e Desenvolvimento Vegetal* (6.ª ed.). Artmed.
- Voitsekhovskaja, O. V. y Tyutereva, E. V. (2015). Chlorophyll b in angiosperms: Functions in photosynthesis, signaling and ontogenetic regulation. *Journal of Plant Physiology*, 189, 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.09.013>

Recursos

- El Cerebro Azul - EXPERIMENTOS - CIENCIA. (1 de septiembre de 2016). ¿POR QUÉ EXISTEN ÁRBOLES ROJOS? *Cromatografía del ciruelo rojo, col lombarda, perejil y flor* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/THvyuqPNF4k>



Laboratorio 9.

Morfología de hojas

Objetivos

1. Identificar la morfología externa de la hoja y su clasificación.
2. Distinguir hojas de plantas superiores.

Marco teórico

Las hojas son los órganos laterales del tallo y cumplen múltiples funciones. Su tarea principal es la fotosíntesis, proceso mediante el cual las hojas captan energía lumínica y asimilan CO_2 para transformarla en energía química, como consecuencia de este proceso, se libera agua y oxígeno. La luz pasa directamente a través de la epidermis y penetra eficazmente al interior de la hoja, mientras que el CO_2 ingresa a través de los estomas, cuya apertura es la causa de la pérdida de agua de la hoja a través de la transpiración. Las demandas competitivas de maximizar la absorción de carbono y minimizar el uso de agua, combinadas con el hábitat de una planta, han proporcionado fuertes presiones selectivas durante la evolución de las plantas terrestres. El resultado de 480 millones de años de evolución de las plantas terrestres ha sido una gama extremadamente amplia de formas y adaptaciones anatómicas de las hojas (Crang *et al.*, 2018).



Algunas hojas poseen funciones especializadas como almacenamiento de sustancias, reproducción vegetativa, digestión y absorción de sustancias en ciertas especies, protección contra herbívoros, adhesión a un soporte, entre otras.

Las hojas se componen de dos partes, la lámina o limbo y el pecíolo (Figura 25); a su vez, se describen dos superficies de la lámina: la parte superior, conocida como haz o superficie adaxial, y la inferior, conocida como envés o superficie abaxial.

Lámina: es la parte de la hoja generalmente laminar en la cual se aprecia una base por donde se inserta el pecíolo, un ápice o región distal de la base y un borde o contorno foliar y las nervaduras (xilema y floema).

Pecíolo: eje que adhiere la lámina al tallo (Crang *et al.*, 2018). Algunas hojas poseen un pecíolo reducido y se les llama subpecioladas; otras no lo poseen, es decir, el limbo se une directamente al tallo; este tipo de hojas se denominan sésiles o sentadas (Uribe Álvarez, 1991).

En algunas monocotiledóneas como las gramíneas [pastos, maíz (*Zea mays*), caña (*Saccharum officinarum*), entre otras], el pecíolo está transformado en una vaina que envuelve el tallo.

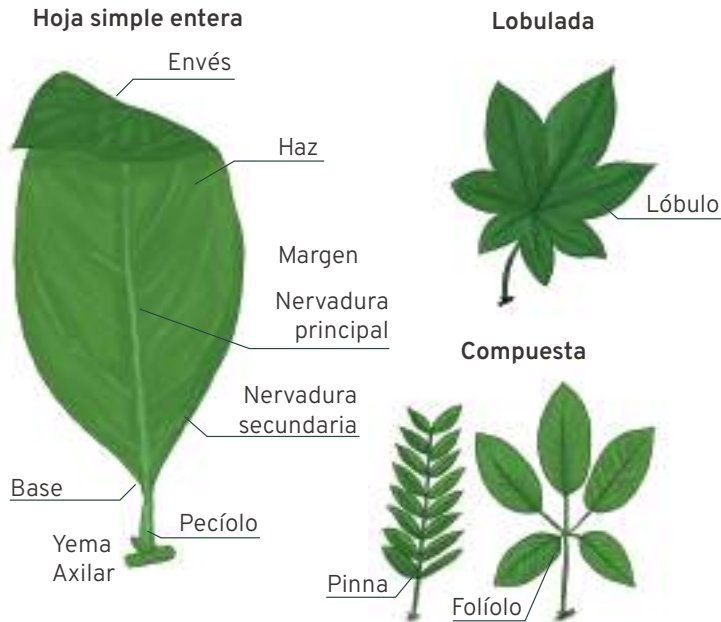


Figura 25.

Tipos de hojas y sus partes

Fuente: elaboración propia.

Clasificación de las hojas

Para clasificar las hojas se tienen en cuenta, entre otros, los siguientes parámetros: presencia de pecíolo, forma, composición, filotaxia y tipo de nervaduras. Sin embargo, la clasificación por composición y filotaxia es más informativa para el reconocimiento de grandes grupos taxonómicos.

Por nervaduras: hace referencia a los patrones de ramificación de las nervaduras (Simpson, 2006). Los tipos de nervaduras más comunes son:

Paralela: la nervadura principal y las secundarias son paralelas entre sí. Son típicas de las monocotiledóneas.

Reticulada: las nervaduras secundarias y terciarias se conectan entre sí. Son típicas de las plantas eudicotiledóneas.



Por composición o complejidad: se clasifican en Nabors (2006) (Figura 25):

Simples: tienen un limbo con el margen entero o levemente dividido en lóbulos o dientes.

Compuestas: el limbo está dividido en folíolos.

Existe una gran variación en la forma de las hojas simples y compuestas.

Por filotaxia: es la forma como se disponen las hojas en el tallo (Nabors, 2006; Uribe Álvarez, 1991) (Figura 26), la cual puede ser:

Opuestas: se forman dos hojas por nudo formando un ángulo de 180° , como en el cafeto (*Coffea arabica*). Si las hojas son opuestas en varios planos de la planta se llaman decusadas y si se encuentran en un mismo plano son dísticas.

Alternas: se presenta una sola hoja por nudo; si las hojas están en un mismo plano se denominan dísticas y si las hojas se alternan alrededor de una espiral que rodea el tallo, se denominan espiraladas.

Verticiladas: se forman más de dos hojas por nudo.

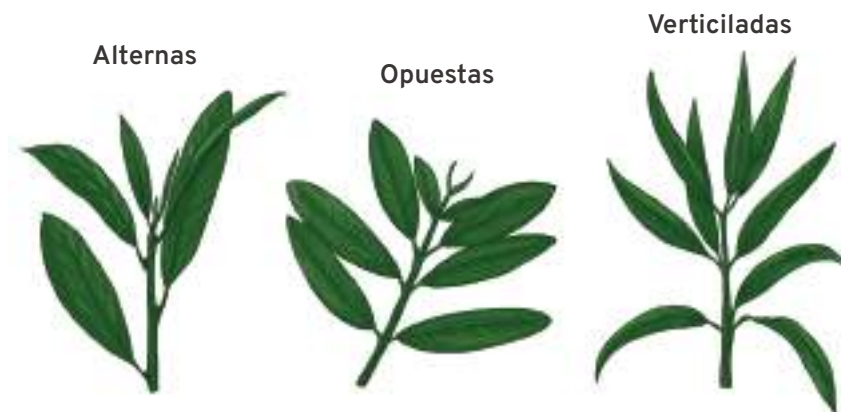


Figura 26.

Filotaxia de las hojas

Fuente: elaboración propia.



Procedimiento

Cada estudiante observará ramas de 10 plantas y realizará las siguientes actividades:

1. Esquematizar una hoja de eudicotiledónea y una de monocotiledónea y señalar todas sus partes.
2. Completar la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de las hojas

Nombre Planta	Filotaxia	Composición	Observaciones*

*Otros caracteres morfológicos como:



1. Pubescencia: tricomas o pelos.
2. Pulvínulo: engrosamiento en la base del pecíolo.
3. Puntos translúcidos: canales resiníferos ubicados en las láminas de las hojas, como puntos transparentes.
4. Olor: al macerar las hojas o folíolos.
5. Exudado: líquido acuoso o aceitoso generalmente blanco, presente al desprender algún eje de la planta.
6. Glándulas: estructuras que almacenan sustancias y se encuentran generalmente en la base de las hojas.
7. Estípulas: hojas modificadas que protegen la yema.

Banco de preguntas

1. Enumere, describa cuatro hojas modificadas y sus funciones.
2. ¿Qué son plantas C3, C4 y CAM?
3. ¿Qué es la gutación?
4. ¿Qué son plantas perennifolias y caducifolias? Dé dos ejemplos de cada una
5. Describa las hojas de una especie nativa de gimnospermas

Referencias

- Crang, R., Lyons-Sobaski, S. y Wise, R. (2018). *Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botánica* (Trad. P. González-Barreda). Pearson Educación.
- Simpson, M. (2006) *Plant Sysematics*. Elsevier Academic Press, San Diego, California
- Uribe Álvarez, F. (1991). *Botánica general* (2.ª ed.). Universidad de Antioquia.



Recursos

Clarins. (17 de enero de 2020). *Ingredients Around the World: Organic Leaf of Life | Clarins* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/IVNDQBs6kYw>



Laboratorio 10.

Fotomorfogénesis

Objetivo

Observar y comparar mediante métodos cuantitativos el efecto de la luz y la oscuridad en el crecimiento de plantas y en la morfología.

Marco teórico

Las plantas, como organismos fotoautótrofos, usan la energía lumínica como recurso para su crecimiento y desarrollo. La fotomorfogénesis es un proceso mediante el cual los organismos perciben señales de luz externas y posteriormente ajustan su metabolismo celular, crecimiento y desarrollo para optimizar la supervivencia en respuesta a un fotoambiente dinámico (Montgomery, 2017). En la planta, la luz es monitoreada a través de un grupo de fotorreceptores que inducen procesos tan importantes como germinación, floración, fructificación, formación y crecimiento de semillas, entre otros.

Las plantas responden a la luz a través de los fotorreceptores, entre los cuales los fitocromos controlan muchos aspectos del desarrollo de la planta. Los fitocromos son cromoproteínas, es decir, moléculas que combinan una parte proteica (apoproteína) y un cromóforo. Estos poseen dos estados fotoconvertibles: Pr (absorbe la luz roja) y Pfr (absorbe la luz rojo lejano) (ver diagrama de Shinkle, 2008).



La percepción de rojo: rojo lejano R: RL induce a la expresión de genes relacionados con muchos procesos fisiológicos importantes, principalmente la germinación de las semillas.



Otros fotorreceptores son los criptocromos que absorben longitudes de onda del azul y ultravioleta. Estos pigmentos controlan el proceso morfogénico que empieza con la germinación de la semilla, continúa con el desarrollo de la plántula y culmina con la formación de nuevas flores y semillas (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Salisbury y Ross, 1994). Finalmente, las fototropinas son fotorreceptores que guían el crecimiento de la planta hacia fuentes de luz disponibles.

La etiolación es uno de los procesos fotomorfogénicos de las plantas con flores que crecen en ausencia parcial o total de la luz. En esa condición las plantas se caracterizan por tener un color amarillo o blanco (clorosis), poseer entrenudos largos, carecer de hojas o presentarlas muy pequeñas y desarrollar raíces muy delgadas (Lira Saldívar, 1994; Salisbury y Ross, 1994). Este proceso es reversible, ya que las plantas etioladas al recibir luz pierden la mayor parte del Pr y cambian la apariencia, anteriormente descrita, por la de una planta normal (Figura 27).



Figura 27.

Plántula etiolada vs. plántula no etiolada

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento

Se utilizarán semillas de maíz (*Zea mays*) y fríjol (*Phaseolus vulgaris*), vasos plásticos, suelo, regla, pie de rey, balanza electrónica.

Siembra: emplee 20 vasos plásticos o macetas iguales; en cada uno de ellos agregue tierra abonada y siembre tres semillas de cada especie vegetal a evaluar. En total se evaluarán 10 plantas por tratamiento, para un total de 20 unidades experimentales. Coloque para cada planta un vaso en la luz y otro en un espacio con un 20 % de luminosidad aproximadamente (Figura 28).

Seguimiento: tomar fotografías del crecimiento y desarrollo cada 3 días. Observar color, forma y otras características cualitativas y anotarlas para posterior análisis.



Dstrucción del experimento y toma de datos: pasados 15 días remueva las plantas de los vasos sin causarle daño al sistema radical y mida, para cada tratamiento, las variables que se solicitan en la Tabla 6.

Durante el tiempo del crecimiento debe mantenerse el suelo en condiciones adecuadas de humedad o a capacidad de campo. Realice un análisis de los resultados y explique cómo se dio el proceso morfogénico de estas plantas en respuesta a los dos hábitats lumínicos y explique qué otras respuestas a la luz evidenció.

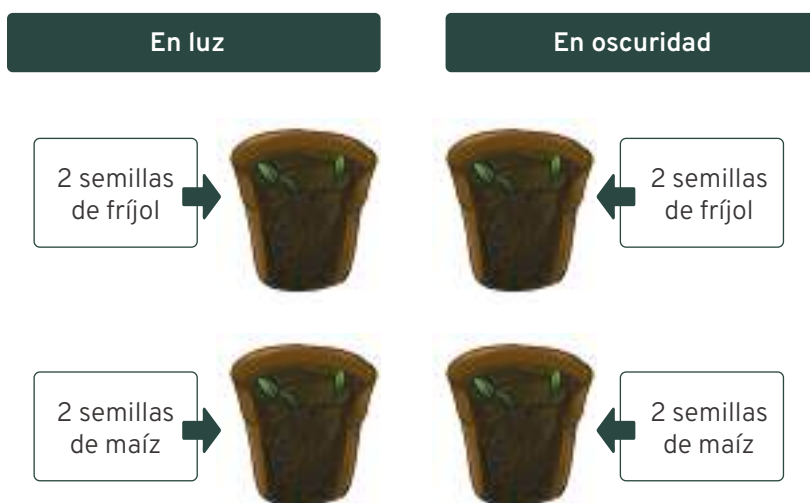


Figura 28.

Montaje del experimento

Fuente: elaboración propia.



Tabla 6.

Crecimiento y desarrollo de plantas monocotiledóneas y eudicotiledóneas bajo dos condiciones distintas de iluminación

Variable		Maíz		Frijol	
		Luz	Oscuridad	Luz	Oscuridad
Peso fresco de la planta (g)					
Peso seco de la planta (g)					
Peso fresco de raíces (g)					
Número de raíces					
Longitud de raíces (cm)					
Peso fresco del tallo (g)					
Longitud del tallo (cm)					
Peso fresco de hojas (g)					
Número de hojas					
Número de nudos					
Longitud de entrenudos (cm)	1				
	2				
	3				
	4				

*Los datos registrados en la tabla corresponden a promedios.



Banco de preguntas

1. ¿Qué es la etiolación y desetiolación?
2. ¿Qué otros pigmentos controlan el proceso morfogénico?
3. ¿Qué son las semillas fotoblásticas?
4. ¿Qué otras respuestas en la planta son mediadas por la luz?
5. ¿Qué son las fototropinas?

Referencias

- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (Coords.). McGraw-Hill.
- Lira Saldívar, R. H. (1994). *Fisiología vegetal*. Trillas.
- Montgomery, B. L. (2017). Seeing new light: recent insights into the occurrence and regulation of chromatic acclimation in cyanobacteria. *Current Opinion in Plant Biology*, 37, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.03.009>
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. Iberoamérica.
- Shinkle J (2008) *Basic photomorphogenesis*. <http://www.photobiology.info/Shinkle.html>. Accessed 15 Nov 2014



Laboratorio 11.

Herborización

Objetivos

1. Aprender el proceso de herborización de plantas.
2. Conocer un herbario de la ciudad de Medellín y su adecuado manejo.
3. Reconocer la información requerida en el proceso de identificación de plantas.

Marco teórico

Un herbario es un museo de historia natural que conserva colecciones biológicas de plantas que ofrecen información sobre la biodiversidad local, nacional y global. Al ser un museo, el herbario debe preservar las colecciones en excelentes condiciones y, por lo tanto, deben tener condiciones ambientales controladas, pero, contrario a los museos de arte, permiten la interacción permanente con académicos y científicos que pueden manipular las muestras para su estudio (Castro Cantuária *et al.*, 2021). El propósito del herbario es contener colecciones secas (o en líquido), para la identificación de las plantas y para realizar trabajos de investigación o conservación. Por lo general, los herbarios cuentan con referencias bibliográficas especializadas como guías o manuales, sobre taxonomía o información geográfica. Además, los herbarios contienen registros



sistematizados de sus colecciones y pueden acceder a información de otras, alrededor del mundo. Los herbarios se reconocen por un acrónimo que facilite su citación en publicaciones y, generalmente, están asociados a jardines botánicos, universidades, museos e instituciones de investigación (Simpson, 2006).

Un espécimen botánico es una muestra de una planta seca y prensada que se fija permanentemente a una cartulina con una ficha que contiene sus datos de campo. La ficha botánica contiene la información obtenida en campo. Inicialmente, la ficha presenta características de la planta como hábito de crecimiento, altura, ramificación, fenología, colores, entre otros. Posteriormente, se incluye la información relacionada con el hábitat como pendiente, tipo de hábitat, elevación, latitud y longitud. Finalmente, se consigna la información relacionada con el colector y su número de colección (Simpson, 2006).

Colección en campo

Hay especies que se encuentran en peligro de extinción o que son raras y merecen especial cuidado, razón por la cual no deberían ser colectadas sin algún permiso especial. De todas maneras, así las plantas sean comunes, se debe hacer una relación de 1:20, es decir, por cada planta colectada, debe haber 20, al menos otras 20 alrededor (Simpson, 2006).

El proceso de colección comienza cuando se corta una rama de la planta, preferiblemente con flores y/o frutos. Generalmente se deben realizar tres colecciones por cada planta. El tamaño de la muestra debe caber en una hoja sencilla de periódico doblada a la mitad. Este periódico debe estar debidamente marcado con las iniciales del colector y su número de colección. Esta información se debe consignar con lápiz 6B o con lápiz videográfico.

El número de colección se escribe en una libreta de campo, en la cual, además de la localidad, los acompañantes del colector y los datos mencionados anteriormente se anotan aquellas características que se pierden en el proceso de herborización, tales como exudados, olor, color de sus flores, frutos o semillas, altura, diámetro. El número de



colección corresponde a un número consecutivo e individual donde un botánico o colector describe cada una de sus colecciones desde el número (1) hasta que termine su carrera investigativa.

Cada muestra se puede incluir en una bolsa individual con un pedazo de papel y su respectivo número de colección, o se puede prensar inmediatamente con unas prensas de maderas portátiles. Es importante tener en cuenta que cada muestra requiere su periódico debidamente marcado. Nunca se deben incluir dos muestras juntas. Una vez prensadas las muestras, estas se organizan en paquetes de periódicos y se incluyen en bolsas gruesas para impregnarlas de alcohol suficiente mientras llegan al herbario. El alcohol evita el ataque de hongos e inhibe la caída de las hojas y ramas de la muestra. Cada bolsa puede ser marcada con el colector o nombre del proyecto y la fecha, usando un marcador y cinta de enmascarar.

Herborización

En el laboratorio, las muestras se montan en prensas especiales con unas láminas de aluminio corrugado cubiertas en ambos lados por láminas de material absorbente. Allí se presionan fuertemente todas las muestras y se amarran con cadenas de metal, ejerciendo la mayor fuerza posible para facilitar la eliminación de agua de las colecciones. En estas prensas permanecen dos o tres días dentro del horno, dependiendo de la eficiencia de este o de la succulencia de las plantas.

Después del secado, las muestras se organizan por familia para empezar el proceso de identificación en el herbario, por medio de comparación con la colección de referencia y el uso de bibliografía especializada. Una vez se halla la identidad taxonómica de la muestra, se elabora su ficha botánica, en la cual se incluye la familia, nombre científico y nombre de quien la identificó, además de los datos anteriormente mencionados. Es importante tener en cuenta que el nombre científico contiene tres partes. La primera parte es el nombre del género al que pertenece la planta; la segunda parte se conoce como epíteto y puede estar asociado a una característica de la planta, un lugar o una persona y, finalmente, el autor, que



corresponde a las iniciales del botánico que la describió por primera vez. Por ejemplo: *Solanum tuberosum* L., pertenece al género *Solanum*, *tuberosum*, hace referencia a la formación de tubérculos y fue descubierta por Carlos Linneo, lo que explica la L. al final.

Finalmente, llega el proceso de montaje, en el cual la muestra es adherida a un cartón o cartulina, en ocasiones reforzada con aguja e hilo. En la margen derecha se pega la ficha botánica con la información. Cada cartulina tendrá un código de registro en el momento de ingreso a la colección de referencia del herbario utilizado en este proceso (Figura 29).



Figura 29.

Muestra de herbario

Fuente: elaboración propia.



Procedimiento

A partir de un recorrido de campo en una zona abierta, se hará un reconocimiento de los caracteres morfológicos necesarios en la descripción de las plantas. Así mismo, se explicará el proceso de colecta de material y las herramientas requeridas para este proceso. Posteriormente, se conocerán las instalaciones de un herbario de la ciudad, donde se atenderá a una explicación sobre el proceso de herborización del material, su identificación, montaje e inclusión en la colección de referencia.

Con base en la información anterior, el estudiante realizará la ficha botánica para cuatro plantas presentes en la zona visitada.

Banco de preguntas

1. ¿Qué funciones cumplen los herbarios?
2. ¿Qué es una colección tipo?
3. ¿Qué es el Código Internacional de nomenclatura botánica?
4. ¿Qué es un jardín botánico y qué papel desempeña en la conservación de la biodiversidad?
5. ¿Cuál es la diferencia entre un Jardín Botánico y un Herbario?

Referencias

de Castro Cantuária, P., de Souza Gama, C. y Siqueira Costa Leite, L. F. (Orgs.). (2021). *Coleções Científicas do Amapá: Arqueologia, cartografia e geologia* (Vol. 2). Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá.

Simpson, M. G. (2006). *Plant Systematics*. Academic Press



Recursos

Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens. (s.f.). *Useful Plants of Colombia*. <https://colplanta.org/>

Botanic Gardens Conservation International. (s.f.). *PlantSearch*. <https://www.bgci.org/resources/bgci-databases/plantsearch/>

Missouri Botanical Garden. (s.f.). *Garden Glow*. <https://www.missouribotanicalgarden.org/>

Missouri Botanical Garden. (s.f.). *Tropicos*. <https://www.tropicos.org/home>

Quintero Ortiz, G. A. (2015). *Homo Botanicus* [Video]. RTVCPlay. <https://rtvcplay.co/peliculas-documentales/homo-botanicus>

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Colecciones Científicas en Línea*. <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/>

Laboratorio 12.

La flor

Objetivos

1. Identificar los verticilos (partes) que forman la flor de las angiospermas.
2. Clasificar flores de acuerdo con características morfológicas.

Marco teórico

La flor es una rama formada por hojas modificadas con un eje corto que la une al tallo y se desarrolla de una yema axilar floral. Es el órgano de reproducción sexual en las angiospermas (Mauseth, 2021). La flor consta de los siguientes verticilos (conjunto de hojas modificadas que nacen al mismo nivel del eje) (Glimn-Lacy y Kaufman, 2006; Jaramillo Plitt, 2006; Waller, 1990) (Figura 30).

Sépalos: son hojas pequeñas ubicadas en la parte más externa, generalmente de color verde que, en conjunto, se llaman Cáliz. Su función principal es proteger las estructuras internas; pueden contribuir con la atracción de polinizadores.

Pétalos: son hojas con colores vistosos generalmente distintos al verde que, en conjunto, se llaman Corola. Secretan sustancias aromáticas, protegen las estructuras internas de la flor y atraen polinizadores (nectarios: secretan sustancias azucaradas muy apetecidas por insectos).



Cuando los sépalos y pétalos de una flor se distinguen fácilmente entre sí, forman el perianto, característico de las flores heteroclamídeas. Por el contrario, si sépalos y pétalos son similares en forma y color, conforman el perigonio, propio de las flores homoclamídeas, donde cada una de sus partes se denomina tépalo.

Algunas flores son aclamídeas, es decir, no poseen ni sépalos ni pétalos. En estos casos generalmente son reemplazados por brácteas. Las flores sin sépalos se llaman asépalas y sin pétalos apétalas. Si los sépalos de una flor están unidos, se dice que son gamosépalos y si están separados son dialisépalos.

Estambres: son verticilos reproductores que, en su conjunto, reciben el nombre de androceo; están compuestos por filamento y antera; a su vez las anteras tienen dos tecas. Tecas: cada una posee generalmente dos cavidades denominadas sacos polínicos en donde se forman los granos de polen. Cuando se observan estambres atrofiados y no poseen antera por lo cual son estériles, reciben el nombre de estaminodios.

Pistilos: son verticilos reproductores que, en su conjunto, se llaman gineceo. Un pistilo está constituido por un ovario, un estilo (por donde desciende el tubo polínico) y un estigma (la estructura receptora de los granos de polen). En el ovario se produce uno o más óvulos adheridos a un tejido llamado placenta. El ovario corresponde a la parte inferior o basal del pistilo y está formado por una o varias hojas modificadas que reciben el nombre de carpelos.

Pedúnculo: es el eje que une a la flor con la rama y se ensancha en su extremo constituyendo el receptáculo o base floral. Si se trata de una inflorescencia, la parte del pedúnculo en la cual se insertan las flores se llama raquis y el tallito que une cada flor al raquis recibe el nombre de pedicelo.

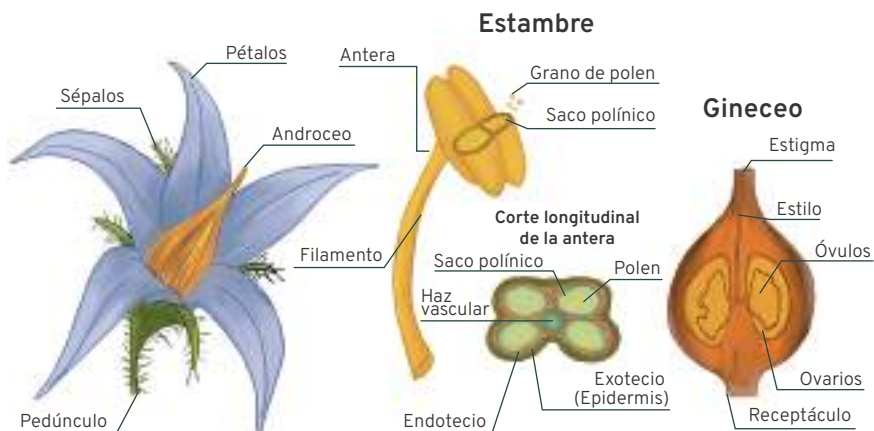


Figura 30.

La flor y sus partes

Fuente: elaboración propia.

El sexo en la flor

Flor bisexual o hermafrodita: es aquella que tiene estambres y pistilos, por ejemplo: las flores de san joaquín (*Hibiscus rosa-sinensis*) o el lirio (*Lirium* sp.).

Flor unisexual: aquella que solo posee uno de los dos verticilos sexuales. Si posee estambres se llama flor estaminada, si posee solo pistilos se denomina flor pistilada o femenina.

Flor neutra: una flor que no posee estambres ni pistilos, por lo cual es estéril.

Procedimiento

Cada estudiante llevará ramas de diversas plantas con sus flores. Realizará un corte longitudinal de una flor de eudicotiledónea y otra de monocotiledónea, y desarrollará las siguientes actividades:

1. Esquematizar una flor de eudicotiledónea y una de monocotiledónea y señalar todas sus partes.



2. Observar detalladamente las anteras y el corte transversal de ovario empleando el esteromicroscopio.

Completar la Tabla 7.

Tabla 7.

Plantas con diferentes tipos de flores

Especie	Número de verticilos*	Unión de verticilos **	Sexo***	Simetría



*Completa o incompleta

**Gamopétala/dialipétala, gamosépala/dialisépala

***Estaminada, pistilada o hermafrodita

Banco de preguntas

1. Describa cinco plantas importantes en Colombia por sus flores.
2. ¿Cómo se clasifican las plantas según la placentación?
3. ¿Cómo ocurre la fecundación en las plantas acuáticas?
4. ¿Qué diferencias hay en las plantas angiospermas y gimnospermas en cuanto a la fecundación?
5. Elabore un esquema de la flor de las *Poaceae*, indicando sus partes.

Referencias

- Glimn-Lacy, J. y Kaufman, P. B. (2006). *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families* (2.^a ed.). Springer.
- Jaramillo Plitt. (2006). *La flor y otros órganos derivados*. Universidad de Caldas.
- Mauseth, J. D. (2021). *Botany: An Introduction to Plant Biology* (7.^a ed.). Jones & Bartlett Publishers.
- Waller, D. M. (1990). Plant Morphology and Reproduction. En J. Lovett Doust y L. Lovett Doust (Eds.), *Plant Reproductive Ecology: Patterns And Strategies* (pp. 203-227). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195063943.003.0010>

Recursos

- Parque Explora. (5 de abril de 2013). *Flores y más flores: las Angiospermas | Ciencia en Bicicleta | Parque Explora* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/XRMqz1axXYI>



Laboratorio 13.

Morfología de polen

Objetivos

1. Identificar características palinológicas de las angiospermas.
2. Relacionar las descripciones morfológicas de los palinomorfos con la sistemática de las plantas.

Marco teórico

Los granos de polen de plantas con flores (espermatófitos) y las esporas de helechos (pteridófitos) o musgos (briófitos) constituyen los restos vegetales más comunes en los depósitos del Cuaternario, los cuales no son visibles a simple vista. La diversidad morfológica de estas partes microscópicas de las plantas, normalmente de solo una décima a una centésima de milímetro (10-100 micrómetros), permite la identificación de familias, géneros y, a veces, incluso especies.

Normalmente se producen grandes cantidades de granos de polen y esporas de plantas vasculares (cormófitos). Luego son transportados por el viento y depositados en sedimentos y turba, donde se conservan durante el tiempo gracias a las condiciones anóxicas reinantes. Por lo tanto, el estudio de las esporas y los granos de polen no solo proporciona información cualitativa sobre la presencia de las plantas, sino también información cuantitativa sobre



su abundancia. Así, el estudio del polen constituye una herramienta para sacar conclusiones sobre las condiciones de la vegetación del pasado (Fonnegra, 1989).

El análisis de granos de polen y esporas como método de investigación de depósitos cuaternarios (o más antiguos) representa parte de la palinología. La palinología se puede traducir literalmente como «la ciencia de las partículas de polvo que flotan en el aire», en este caso «polvo» se refiere al polen (Hyde y Williams, 1944).



Figura 31.

Palinomorfos, un grano de polen y una espora, cada uno con sus partes principales

Fuente: elaboración propia.



Formación de microesporas

Los granos de polen de espermatofitos y las esporas de pteridofitos o briófitos son estructuras homólogas (Erdtman, 1952). Se desarrollan durante la alternancia de generaciones en el esporofito. La síntesis de polen ocurre de la siguiente manera: las células madre de polen se desarrollan a partir de la arqueospora (el tejido del saco polínico que produce polen) durante la mitosis (división celular). Durante la meiosis posterior (división de reducción), las microesporas se forman como una tétrada. La formación de tétradas ocurre ya sea por la división de células en un plano (formación de tétrada tetragonal; en algunas pteridófitas, gimnospermas, monocotiledóneas y dicotiledóneas primitivas) o en ángulos rectos entre sí (formación de tétrada tetraédrica; en briófitas, algunas pteridófitas y eudicotiledóneas). Una división mitótica adicional da como resultado un núcleo generativo y otro vegetativo en cada miembro de la tétrada. Una vez que la tétrada se ha desintegrado, el nuevo polen existe como granos individuales. En algunos géneros, por ejemplo, el rosal (*Rhododendron*) o el brezo (*Calluna*), los granos de polen individuales permanecen agrupados en tétradas. La producción de esporas ocurre de manera similar.

Tamaño y producción de microesporas

El tamaño de las esporas y los granos de polen que se encuentran en la zona tropical oscila entre 2 y más de 150 micrómetros. La ortiga (*Urtica* sp.), por ejemplo, produce uno de los granos de polen más pequeños (y ligeros), con un diámetro de unos 10 micrómetros, mientras que la navidad común (*Malvaviscus arboreus*) produce uno de los más grandes, con un diámetro superior a los 160 micrómetros. Sin embargo, el tamaño de los granos de polen de una especie puede variar considerablemente. Los diferentes procedimientos para la preparación de muestras también pueden afectar el diámetro de los granos de polen de diferentes maneras. Por tanto, las mediciones de tamaño para la identificación de los granos de polen deben utilizarse con precaución.

La producción de polen o esporas difiere de una especie a otra. En biología de la dispersión, se hace una distinción entre plantas que producen de abundante a muy abundante, polen disperso por el viento (anemófilo) y plantas que producen muy poco polen disperso por insectos (entomófilo).

Tabla 8.
Ejemplos de producción de polen

Muy abundante (dispersión por el viento)	pino abedul (<i>Betula</i>) (10'000 granos/antera) escobo (<i>Alchornea</i>) aliso (<i>Alnus</i>) gramíneas	Sobrerrepresentado en comparación con el resto de la vegetación.
Abundante (dispersión por el viento)	Myrtaceae Melastomataceae granizo (<i>Hedyosmum</i>)	Bien representado en comparación con el resto de la vegetación.
Poco abundante (dispersión por insectos)	acebo (<i>Ilex</i>) cucharo (<i>Clusia</i>) drimys urapán (<i>Fraxinus</i>) muchas hierbas, e.g. Lein (c. 100 granos/ antera)	Infrarrepresentada en comparación con el resto de la vegetación.

Términos de morfología del polen y sus definiciones según Punt *et al.* (2007):

Aberturas: son lugares de la pared más débiles, o en donde falta por completo o en forma parcial y, básicamente, sirven como punto de germinación o de regulación volumétrica

Ámbito: forma del grano de polen en vista polar.

Arco: líneas curvas que unen los poros.



Colpo: aberturas en la superficie del polen que generalmente son alargadas.

Colpado: el polen tiene colpos.

Colporado: el polen tiene colpos y poros.

Escultura: es la ornamentación de la superficie de la exina que puede ser psilada, foveolada, areolada (frustillada), gemada, clavada, verrugada, baculada, equinada, rugulada, estriada o reticulada.

Equinada: la superficie del polen tiene espinas o proyecciones afiladas.

Lomo: elemento escultórico nítido en la superficie del polen.

Porado: el polen tiene poros

Protuberancia: elemento escultórico redondeado en la superficie del polen.

Poros: aberturas en la superficie del polen que, generalmente, son redondas.

P/E: relación entre las longitudes de los ejes polar y ecuatorial en granos radiosimétricos que determina la forma.

Unidad de dispersión: la unidad morfológica en la que se desprenden los granos de polen maduros o las esporas, que puede variar desde individuos (mónadas), parejas (díadas), grupos de cuatro (tétradas) o grupos de más de cuatro (poliadas).

Vesiculado: tiene vejigas de aire que ayudan con la dispersión del polen por el viento.

Procedimiento

Cada estudiante dispondrá de seis tipos de polen de una colección de referencia de polen moderno, cuatro eudicotiledóneas y dos monocotiledóneas. Una colección de referencia es una biblioteca de polen, en donde cada placa (portaobjetos) contiene granos de polen acetolizados (técnica ampliamente utilizada para preparar exinas de polen y esporas para su estudio) de una especie, listos para ser vistos en el microscopio óptico. Desarrollará las siguientes actividades:



1. Esquematizar los seis tipos de granos de polen y señalar sus partes principales.
2. Completar la Tabla 9.

Banco de preguntas

1. Explique la gametogénesis en las plantas.
2. ¿Qué es un palinomorfo y cuáles son los más comunes?
3. Explique la polinización y sus principales tipos.
4. ¿Qué es la exina y cuál es su función en un grano de polen?
5. ¿Qué es la paleoecología y cómo se asocia a la conservación de ecosistemas?

Referencias

- Erdtman, G. (1952). *Pollen Morphology and Plant Taxonomy: Angiosperms (An Introduction to Palynology)*. Almqvist & Wiksell.
- Fonnegra, R. (1989). *Introducción a la palinología*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Hyde, H. A. y Williams, D. A. (1944). The right word. *Pollen Analysis Circular*, 8(6), 2.
- 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), 1-81.

Recursos

- Black Rock Forest Consortium y Columbia Center for New Media Teaching and Learning. (s.f.). *Paleoecology*. The Virtual Forest Initiative. <https://blackrock.ctl.columbia.edu/paleoecology/identification>
- The Global Pollen Project. (s.f.). *The Open Platform for Pollen Identification*. <https://globalpollenproject.org/>



Tabla 9.
Morfología del polen

Nombre de la especie	Unidad de dispersión	Tipo de dispersión	Forma del grano	Tipo de aberturas	Escultura	Observaciones



Laboratorio 14.

Reconocimiento de inflorescencias

Objetivos

1. Reconocer las partes que forman una inflorescencia.
2. Identificar diferentes tipos de inflorescencias en campo, mediante el uso de una clave.

Marco teórico

Se denomina inflorescencia a un tallo o eje con crecimiento determinado portador de flores (Crang *et al.*, 2018; Jaramillo Plitt, 2006). En ella se pueden diferenciar las siguientes partes (Figura 32).

- pedúnculo: tallo o eje que sostiene la inflorescencia.
- pedicelo: parte del tallo que sostiene la flor individual en una inflorescencia.
- raquis: es el eje central o prolongación del pedúnculo que sostiene los pedicelos o flores individuales.
- brácteas: hojas modificadas, por lo general son menores que las hojas normales.
- flores

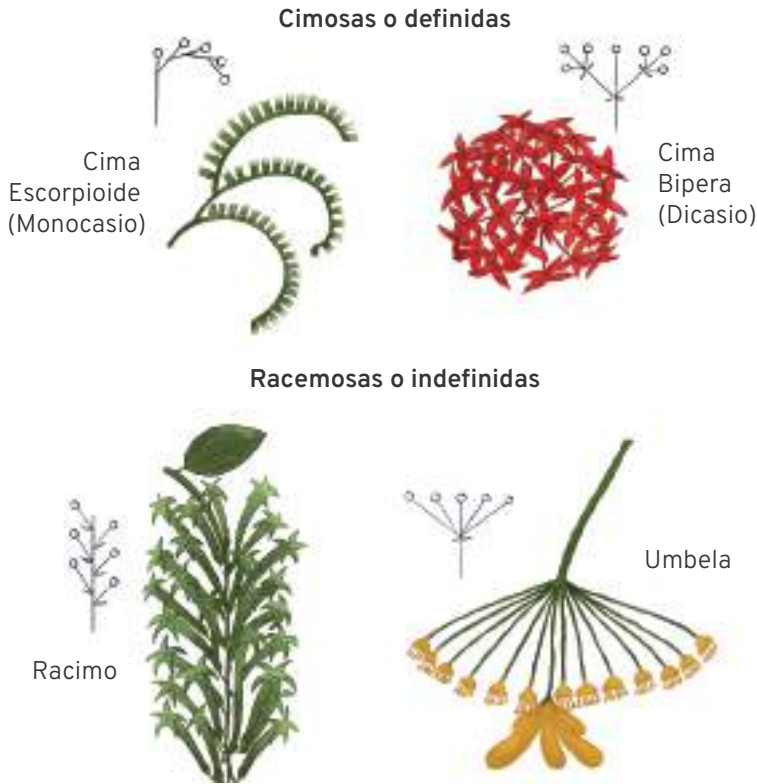


Figura 32.

Cuatro inflorescencias: dos determinadas y dos indeterminadas

Fuente: elaboración propia.

Tipos de inflorescencias comunes

Las inflorescencias pueden dividirse en indeterminadas y determinadas.

Indeterminadas: son aquellas con crecimiento indefinido; las flores más jóvenes se encuentran en el centro de la inflorescencia (floración centrípeta). Entre ellas se encuentran las siguientes inflorescencias: Capítulo o Cabezuela, Racimo, Espiga.

Determinadas: son aquellas con crecimiento definido y las flores más jóvenes se encuentran hacia la base (floración centrífuga). Entre ellas se encuentran la umbela y la cima.



Procedimiento

Se realizará un recorrido por un espacio abierto en el cual los estudiantes deberán seleccionar una inflorescencia para dibujar y señalar todas sus partes.

Posteriormente, deberán seleccionar 10 plantas florecidas para determinar el tipo de inflorescencia que poseen. Para ello deben utilizar la clave que se adjunta en la Tabla 11 de esta guía. A partir de la observación de las inflorescencias, pondrán la información en la Tabla 10.

Tabla 10.
Identificación de inflorescencias

Nombre de la planta	Familia	Tipo de Inflorescencia



Nombre de la planta	Familia	Tipo de Inflorescencia

Tabla 11.
*Clave para determinar tipos de inflorescencias**

A.		Las flores se disponen en forma solitaria en los extremos de las ramas (terminal), o en las axilas de las hojas (axilar).	Flor solitaria	
AA.		Las flores se disponen sobre un sistema de ramas más o menos modificadas de diversa forma, tales como pedicelo, raquis, pedúnculo, brácteas.	Inflorescencia	
	B.	Las primeras flores que abren en la inflorescencia son basales, es decir, van abriendo de afuera hacia adentro.	Inflorescencia racimosa indefinida centrípeta	
	C.	Las flores se disponen directamente sobre el raquis de primer orden.	Inflorescencia simple	
	D.	Flores dispuestas mediante un pedicelo sobre el raquis.	Flores pediceladas	
	E.	Raquis indefinido a cuyos lados surgen las flores pediceladas.	Racimo	
	EE.	Raquis corto, contraído.		



					F.		Los pedicelos florales nacen del ápice del raquis corto y tienen igual longitud. Umbela
					FF.		Los pedicelos florales nacen a distinta altura del raquis, pero alcanzan el mismo nivel. Corimbo
			DD.				Flores sentadas sobre el raquis. Flores sésiles
					E.		Raquis con receptáculo ensanchado en forma de plato o globo, sobre el que se insertan las flores. Capítulo o cabezuela
				EE.			Raquis distinto.
					F.		Raquis carnoso y flores unisexuales, pétalos, protegidas por una bráctea carnosa (Espata). Espádice
					FF.		Raquis no carnoso.
						G.	Raquis articulado (raquilla), protegidas por dos brácteas (glumas), característico de las Poaceae. Espiguilla
						GG.	Raquis no articulado.



						H.	Raquis erguido y flores sésiles. Espiga
						HH.	Raquis péndulo, caedizo con flores unisexuales. Amento
						HHH.	Raquis y brácteas leñosas con flores unisexuales. Estróbilo o cono
		CC.					Las flores se disponen sobre el raquis de segundo orden. Inflorescencia compuesta
			D.				Inflorescencias elementales o parciales del mismo tipo que la inflorescencia total. Inflorescencia compuesta homogénea
				E.			Racimo de racimo. Racimo compuesto, panícula o panoja
				EE.			Umbela de umbela. Umbela compuesta
					EEE.		Espiga de espiguillas, las que pueden ser unilateral, dística o cilíndrica. Espiga compuesta
						DD.	Inflorescencias elementales de diferente tipo que la inflorescencia total. Inflorescencia compuesta heterogénea



BB.	El raquis es de crecimiento definido y termina en una flor. Flores más antiguas en el centro, por debajo nacen uno o más ejes secundarios.				
	Inflorescencia cimosa definida centrífuga				
C.					Debajo de cada eje central nacen dos ejes secundarios.
					Dicasio - Cima bípara
CC.					Debajo de cada eje central nace un solo eje secundario.
					Monocasio - Cima escorpioide
CCC.					Debajo de cada eje central nacen varios ejes secundarios.
					Pleiocasio - Cima múltipara
BBB	Otros tipos de inflorescencias				
		Racimo compuesto, cuyas inflorescencias parciales están formadas por una flor femenina de gran tamaño, pedicelo largo y flores masculinas discretas, reducidas a un estambre, y acompañada de uno o varios nectarios y brácteas. Típica de Euphorbia.			
		Ciatio			
		Inflorescencia con apariencia de fruto, de receptáculo carnoso y cóncavo, casi cerrado, con flores unisexuales apétalas. De polinización obligada por insectos, los que penetran a través de una pequeña abertura.			
		Sícono			

* Elaborada a partir de Armstrong (1999), Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (2006).



Banco de preguntas

1. ¿Cómo se justifica desde el punto de vista ecológico la presencia de inflorescencia?
2. ¿Por qué se presentan en algunas inflorescencias flores neutras?
3. ¿Cuál tipo de inflorescencia caracteriza a la familia Asteraceae? Dé ejemplos de algunas especies de importancia económica que la presenten.
4. ¿Qué tipo de inflorescencia caracteriza a la familia Apiaceae? Dé ejemplos de algunas especies de importancia económica que la presenten.
5. ¿Cuáles inflorescencias son más comunes en la Familia Solanaceae?

Referencias

- Crang, R., Lyons-Sobaski, S. y Wise, R. (2018). *Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones. (2006). *Clave para determinar tipos de inflorescencias*. <http://www.factor.unam.edu.ar>
- Jaramillo Plitt. (2006). *La flor y otros órganos derivados*. Universidad de Caldas.

Recursos

- Tree Guide UK. (s.f.). Flower key inflorescences. <https://www.treeguideuk.co.uk/flower-key-inflorescences/>
- Porter D. Key of inflorescence types. <http://www.biol.vt.edu/faculty/porter/key.pdf>. Fecha de acceso 28 de abril de 2010
- University of Michigan Herbarium. (s.f.). *Family Key*. <https://michiganflora.net/family-key>



Laboratorio 15.

El fruto y la semilla

Objetivos

1. Reconocer las partes del fruto y la semilla.
2. Identificar algunos frutos por su morfología.
3. Distinguir semillas de varios grupos de plantas.

Marco teórico

El fruto

La fecundación de los óvulos forma un embrión vegetal que resulta en semilla, mientras que el ovario que los contenía se modifica para proteger al embrión, por lo tanto, el fruto es el ovario desarrollado y maduro (Nabors, 2006). También pueden formarse frutos sin desarrollo de semillas; este proceso recibe el nombre de partenocarpia.

La transformación del ovario en fruto comienza después de la llegada del polen al estigma (polinización), ya que las auxinas contenidas en el polen inducen la fertilización y el desarrollo subsecuente del ovario en el fruto, asegurando que se produzcan frutos viables y saludables. Esto mismo ocurre con la auxina producida por los embriones de las semillas.



La función de los frutos es proteger las semillas y facilitar su dispersión, para lo cual, tienen diversas adaptaciones, dependiendo de la especie (Fuentes Yagüe, 2001). Por ejemplo, los frutos carnosos proporcionan sustancias alimenticias a los animales, que actúan como dispersores; algunos frutos poseen semillas pequeñas y resistentes a los jugos digestivos de los animales, pudiendo germinar después de ser eliminadas en las heces; otros frutos tienen estructuras para adherirse al pelaje de los animales; ciertas plantas tienen frutos con vellosidades agrupadas en una especie de paracaídas (vilano) que les facilita la dispersión por el viento, entre otros.

En el fruto se distinguen fundamentalmente dos partes: el pericarpio y la semilla (Figura 33).

Pericarpio. Es la parte del fruto que rodea a las semillas. En algunos frutos como el maíz (*Zea mays*) y el girasol (*Helianthus annuus*), el pericarpio está formado por una membrana compacta y delgada; en otros como la naranja y el aguacate, está constituido por tres capas fácilmente diferenciables, que son (Figura 33):

- a. **Epicarpio o exocarpio:** es la parte más externa del pericarpio y en algunos frutos corresponde a lo que comúnmente se llama cáscara o piel, como en el mango (*Mangifera indica*) y el tomate (*Lycopersicon esculentum*).
- b. **Mesocarpio:** parte media del pericarpio que en varios casos corresponde a la parte comestible; la cáscara de algunos frutos como la naranja (*Citrus sinensis*) está formada por el epicarpio y el mesocarpio.
- c. **Endocarpio:** corresponde a la parte más interna del pericarpio, que está en íntimo contacto con las semillas.

Los frutos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Según la Consistencia	Carnosos: aquellos que al madurar tienen un pericarpio carnoso o jugoso.
	Secos: al madurar se deshidratan, quedando con un pericarpio, seco y a veces duro.



Según la Dehiscencia	Dehiscentes: se abren naturalmente para dar salida a las semillas.
	Indehiscentes: deben esperar hasta que el pericarpio se descomponga o sea consumido para liberar las semillas.
Según la Complejidad	Simples: son los derivados de un solo ovario. Algunos ejemplos son el mango (<i>Manguifera indica</i>), la guayaba (<i>Psidium guajaba</i>).
	Agregados: los ovarios que los forman provienen de una sola flor con varios pistilos; tal es el caso de la mora, la guanábana, la fresa y la rosa.
	Múltiples: son frutos provenientes de varios ovarios separados, cada uno de ellos pertenecientes a una flor. En otras palabras, en la formación de los frutos múltiples intervienen varias flores, al madurar los frutos se fusionan, ejemplos: el brevo y la piña.

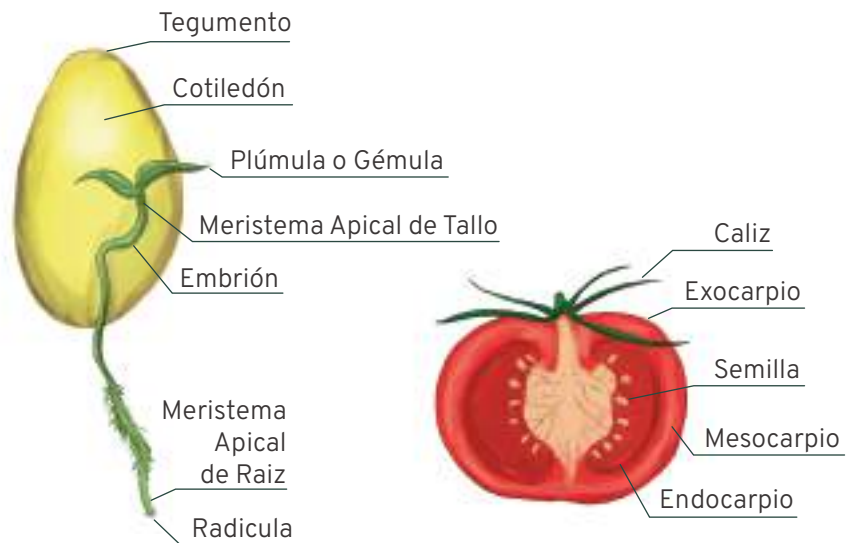


Figura 33

El fruto y sus partes.

Fuente: elaboración propia.



La semilla

Las semillas se forman como resultado de la transformación de los óvulos después de la fecundación y están contenidas dentro del fruto (Fuentes Yagüe, 2001). Presenta las siguientes partes:

Epispermo o cubierta de la semilla: envoltura típica que protege a la semilla contra la desecación, daños y patógenos. Está formado por dos capas: testa (capa más externa) y el tegmen (membrana más interna). Puede tener sustancias inhibitoras (control de la germinación).

En algunas semillas pueden observarse en el epispermo el hilo (actúa como una válvula higroscópica que regula el intercambio gaseoso), el micrópilo y el rafe (dos pequeñas cicatrices dejadas por el óvulo).

Embrión: se considera la parte viva de la semilla, ya que a partir de éste se forma la nueva planta. El embrión es un eje del cual se proyectan hojas modificadas llamadas cotiledones u hojas de la semilla que almacenan buena cantidad de alimento para nutrir la plántula (planta recién formada); en general la función de los cotiledones es digerir, absorber y almacenar nutrientes a partir del endospermo. Las plantas dicotiledóneas tienen dos cotiledones en la semilla y las plantas monocotiledóneas tienen un cotiledón en la semilla. En el embrión se observan la plúmula (eje que dará lugar al vástago) y la radícula (eje del que se forma la raíz primaria), en algunas plantas gramíneas y otras monocotiledóneas se presentan dos vainas cónicas que envuelven la plúmula y la radícula: el coleóptilo y la coleorriza, respectivamente.

Endospermo o albumen: tejido nutritivo constituido por células que nutren el embrión en las primeras etapas de la germinación de la semilla. Inicialmente todas las semillas poseen endospermo, pero en algunos casos, como el fríjol (*Phaseolus vulgaris*), a medida que la semilla madura el embrión lo va absorbiendo hasta llegar a tener poco o nada del mismo cuando está completamente formada; gran parte de las sustancias absorbidas por el embrión del endospermo son almacenadas en los cotiledones. En otras especies el endospermo solo comienza a utilizarse cuando las semillas son



plantadas y absorben agua, como en el maíz (*Zea mays*), el higuierillo (*Ricinus communis*) y el trigo (*Triticum sativum*). Generalmente las semillas que tienen poco o nada de endospermo germinan más rápido, debido a que éste ha sido absorbido con anterioridad por el embrión y lo puede utilizar fácilmente. En algunas semillas pueden observarse otras estructuras denominadas en general como apéndices. Estos pueden ser alas, pelos o arilos, y están relacionados con la dispersión.

Según sus sustancias de reserva, las semillas se pueden clasificar en:

Según sus sustancias de reserva

Endospermadas: las sustancias de reserva se encuentran en el endospermo originado en la doble fecundación. Suelen ser ideales para la germinación. Ejemplos: apio, zanahoria, maracuyá, tomate y ajíes.

Exendospermadas: el endospermo es absorbido por el embrión y las sustancias de reserva se almacenan en los cotiledones del embrión. Ejemplos: arveja, fríjol, girasol, pepino y calabaza.

Perispermadas: las sustancias de reserva se almacenan en un tejido llamado perispermo, al interior de las células de nucela. Ejemplo: quinua, amaranto, pimienta, café.

Procedimiento

Cada estudiante llevará varios frutos y semillas germinadas y realizará las siguientes actividades:

1. Esquematizar un fruto seco y uno carnosos, y señalar sus partes.
2. Esquematizar dos semillas, una de maíz y una de fríjol, y señalar sus partes.
3. Completar la Tabla 12, empleando la clave de frutos adjunta.



Tabla 12.
Identificación de frutos y semillas

Nombre Planta	Tipo de semilla	Consistencia	Dehiscencia	Complejidad	Nombre botánico del fruto



Tabla 13.

Clave de frutos (Traducida de Judd et al., 1999)

1. El fruto es producto de una flor solitaria	2
1. El fruto es producto de muchas flores agrupadas en una masa (Pase a 3 y considere una unidad individual)	Fruto múltiple
2. Fruto solitario (carpelo solitario o muchos y fusionados)	Fruto simple (3)
2. Muchos frutos diferenciados (Pase a 3 y considere una unidad individual)	Fruto agregado
3. Fruto indehisciente (que no se abre)	4
3. Fruto dehiscente (que se abre o rompe)	13
4. Fruto carnoso (al menos en parte)	5
4. Fruto seco	8
5. Textura del fruto más o menos homogénea (excepto por la semilla), carnoso	Baya
5. Textura del fruto heterogénea	6
6. Parte externa del fruto firme, dura o coriácea	Baya
6. Parte externa del fruto más o menos suave	7
7. Centro del fruto con 1 o más cavidades duras encerrando las semillas; ovario inferior o superior	Drupa
7. Centro del fruto con estructura papelosa o cartilaginosa encerrando las semillas; ovario inferior	Pomo
8. Fruto con muchas semillas	vaina indehisciente
8. Fruto usualmente con 1 semilla	9
9. Fruto alado	sámara
9. Fruto sin alas	10
10. Pericarpio grueso y huesudo; fruto generalmente grande	nuez



10. Pericarpio delgado; fruto pequeño	11
11. Pericarpio suelto y libre de la semilla	Utrículo
11. Pericarpio firme, cercanamente fijado o fusionado a la semilla	12
12. Pericarpio firme, cercanamente fijado pero libre de la semilla	Aquenio
12. Pericarpio adnado (fusionado) a la semilla	Cariopsis
13. Fruto de un solo carpelo	14
13. Fruto de 2 a muchos gineceos carpelados	16
14. Fruto dehiscente a lo largo de una sola sutura	Folículo
14. Fruto dehiscente por dos suturas longitudinales o transversales	15
15. Sutures longitudinales	Legumbre
15. Sutures transversales, el fruto se rompe en segmentos uniseminados	Lomento
16. Fruto con una cáscara externa seca fibrosa a coriácea o carnosa que se abre; centro del fruto con cavidades duras encerrando las semillas	Drupa dehiscente
16. Fruto que carece de cavidades duras; se abren o se parten en segmentos uniseminados	17
17. Fruto dividido en segmentos con una o pocas semillas (mericarpes)	Esquizocarpo
17. Fruto que se abre y libera las semillas	18
18. Fruto bilocular, las dos valvas se dividen de una delgada partición a lo largo del borde donde se encuentran adheridas las semillas	Silicua
18. Fruto con uno o más lóculos, la partición no persistente si el fruto es bilocular	Cápsula (19)
19. Dehiscencia circuncísil (división transversal), parte superior -ápice- en forma de tapa	Pixidio
19. Dehiscencia no circuncísil	20
20. Fruto abierto por poros, alas o dientes	21



20. Fruto que se abre longitudinal o irregularmente	22
21. Fruto abierto por poros o alas (frecuentemente cerca de la parte superior -ápice-)	cápsula poricida
21. Fruto abierto por una serie de dientes apicales	cápsula denticida
22. Fruto que se abre irregularmente	cápsula anomalicida
22. Fruto que se abre longitudinalmente	23
23. Valvas que se abren por los tabiques (particiones entre los lóculos)	cápsula septifragal
23. Valvas permanecen adicionadas a los tabiques (al menos en parte)	24
24. Frutos que se dividen del tabique	cápsula septicida
24. Fruto que se divide entre el tabique y dentro de los lóculos del ovario o fruto unilocular	cápsula loculicida

Banco de preguntas

1. ¿Cuántos tipos de germinación existen? Explique y ejemplifique cada uno.
2. ¿Qué es latencia de la semilla? Mencione dos métodos para suspenderla.
3. ¿Qué características presentan las semillas dispersadas por el viento?
4. Mencione ejemplos de frutos simples, agregados y múltiples.
5. Mencione cinco ejemplos de semillas oleaginosas.
6. ¿Qué es la dehiscencia?
7. ¿Qué es apomixis?



Referencias

- Fuentes Yagüe, J. L. (2001). *Iniciación a la botánica*. Mundiprensa.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F. y Donoghue, M. J. (1999). *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*. Sinauer.
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botánica* (Trad. P. González-Barreda). Pearson Educación.

Recursos

- Corpocampo ONG. (18 de septiembre de 2021). *El sueño del Açaí - completo* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/MShWTHOyJMM>



Laboratorio 16.

Principales familias de importancia económica y ambiental

Objetivos

1. Distinguir algunas familias de plantas por sus caracteres diagnósticos.
2. Aplicar los conocimientos adquiridos sobre morfología vegetal para describir estructuras vegetativas y reproductivas.

Marco teórico

Las plantas que tienen flores, estructuras reproductivas y otras características similares y que están relacionadas evolutivamente se agrupan en familias. Las especies de la misma familia tienden a tener características de crecimiento, necesidades de nutrientes y, a menudo, se relacionan con los mismos organismos (patógenos, herbívoros) similares. Aunque la taxonomía moderna se basa en estudios genéticos y datos moleculares, es importante que los profesionales que trabajan con plantas reconozcan algunos caracteres morfológicos que permiten deducir familias botánicas de importancia económica y ambiental, cuando se está en campo.

A continuación, se describen algunas familias y sus características morfológicas generales más importantes:



1. En Monocotiledóneas

Las principales características de este grupo se distinguen por ser especies principalmente de hábito herbáceo; algunas pueden alcanzar grandes alturas y tamaños (palmas, pandanos, bambúes), tener un solo cotiledón en su semilla, sistema radicular adventicio, tallos con haces vasculares esparcidos y usualmente carecen de crecimiento secundario, hojas con nervaduras paralelas, flores trímeras y granos de polen con una única apertura distal (Judd *et al.*, 1999). A continuación, se describen algunos grupos de importancia económica.

- Orden Zingiberales: incluye 8 familias, entre ellas Musaceae, Zingiberaceae y Heliconiaceae (Deng *et al.*, 2016).
- Familia Musaceae presenta solo 3 géneros y 91 especies (Christenhusz y Byng, 2016). *Musa* es el género de mayor importancia económica, donde se encuentran los plátanos y bananos. Las Musaceae son de origen asiático, sin embargo, Colombia es uno de los principales productores de banano en el mercado internacional. Esta familia presenta plantas de gran tamaño, monoicas, con inflorescencias que crecen dentro de hojas enrolladas y tallos rizomatosos.
- Familia Zingiberaceae, con 50 géneros y 1600 especies (Christenhusz y Byng, 2016) son hierbas aromáticas, de tallos rizomatosos, hojas alternas y dísticas, inflorescencias indeterminadas; en este grupo se encuentran varias plantas medicinales, ornamentales y condimentarias como el jengibre (*Zingiber officinale*) y la cúrcuma (*Curcuma longa*). Todas las especies de este grupo presentan hojas simples, dística y presentan lígula, con flores zigomórficas.
- Familia Heliconiaceae, con un género y cerca de 194 especies (Christenhusz y Byng, 2016), incluye todas las especies de platanillos que se conocen como Heliconias (*Heliconia* spp.), cuyas inflorescencias presentan brácteas muy llamativas, erectas o péndulas, con reconocida importancia económica por su belleza y duración en florero.



- Otras especies dentro de este orden son el biao y hierbas afines, que pertenecen a la familia Marantaceae con 29 géneros y 570 especies (Christenhusz y Byng, 2016), cuyas hojas son muy llamativas para jardines de interior y exterior, y para la envoltura de tamales. Las achiras, también de este orden, pertenecen a la familia Cannaceae, familia con un solo género y 10 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Sus flores son ornamentales y sus semillas se utilizan para hacer escapularios y artesanías.
- Familia Arecaceae: anteriormente conocida como Palmae, es de gran importancia en Colombia. Se estiman 181 géneros y 2600 especies (Christenhusz y Byng, 2016). La mayoría de las especies son leñosas arborescentes, la inflorescencia presenta 1 o varias espatas. Las palmas conforman una de las familias más usadas por las comunidades de los trópicos americanos; se usan en la construcción, elaboración de utensilios y herramientas, alimentación humana, medicinas, alimento animal, ornamental, combustible y otros usos culturales (Bernal y Galeano, 2013). La palma de cera (*Ceroxylon quindiuense*) es el árbol nacional y una de las palmas más alta del mundo; puede alcanzar hasta 70 m y es muy importante para algunas especies de loros.
- Familia Poaceae: la familia de los pastos o de las gramíneas presenta una amplia distribución en el mundo y su importancia es indiscutible para las comunidades humanas, ya sea por la alimentación directa o indirecta a través de cría de animales. Incluye cerca de 780 géneros y 12 000 especies (Christenhusz y Byng, 2016), la mayoría de las cuales son herbáceas; sus tallos son generalmente cañas; sus inflorescencias son pequeñas espigas formadas por 1 o más flores sentadas sobre una raquilla; están acompañadas de brácteas llamadas glumas. A esta familia pertenecen los cereales (sorgo, trigo, maíz, avena, cebada, arroz) y todos los pastos que alimentan el ganado. La guadua (*Guadua angustifolia*) y el bambú (*Bambusa* spp.) también pertenecen a esta familia.



2. En Magnoliidae

Este grupo incluye especies forestales de gran importancia como alimento, drogas, perfumes, maderables y ornamentales. Este grupo se caracteriza por presentar polen monocolpado, hojas con nervaduras ramificadas y flores con tépalos. Se destacan las familias Magnoliaceae, Lauraceae y Annonaceae, en las cuales hay especies nativas muy valiosas.

- Lauraceae: familia con 45 géneros y 2850 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Árboles, hojas simples, alternas, espiraladas, olor aromático al macerar. Sus maderas en general son de alta calidad. Especies como el aguacate (*Persea americana*), aguacatillo (*Persea caerulea*) y el comino (*Aniba perutilis*) son características de este grupo.
- Annonaceae: familia con 105 géneros y 2 500 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Árboles, hojas simples, alternas, espiraladas, olor aromático al macerar. Flores con perianto, generalmente trímero, con pétalos en dos verticilos, siendo los verticilos interior y exterior a menudo morfológicamente distintos (Saunders, 2010). Las especies presentan compuestos químicos, por lo cual han sido usadas para tratar diferentes enfermedades. Especies como la guanabana (*Annona muricata*), chirimoya (*A. cherimola*), y otras especies de los géneros *Annona* y *Duguetia* presentan frutos nutritivos de gran aceptación en Colombia.

3. En Eudicotiledóneas

Las eudicotiledóneas se distinguen por tener dos cotiledones en su semilla, sistema radicular pivotante, tallos con haces vasculares formando una eustela, poseen crecimiento secundario, hojas con nervaduras generalmente reticuladas, flores con verticilos con piezas en número de 4, 5 o múltiplos. Las eudicotiledóneas se caracterizan por poseer polen tricolpado. La mayoría de las especies de importancia económica actual se encuentran en este grupo. Algunas familias se describen a continuación:



- **Asteraceae:** es una familia enorme, pues presenta cerca de 1623 géneros y 24 700 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Son hierbas, arbustos y lianas, raramente árboles, con hojas simples o compuestas, alternas u opuestas, con o sin exudado. La médula en el tallo es corchosa. El girasol (*Helianthus annuus*), los frailejones (*Espeletia* spp.) y el botón de oro (*Thyttonia diversifolia*), pertenecen a esta familia algunas plantas medicinales de importancia como la caléndula (*Calendula officinalis*) y la manzanilla (*Matricaria chamomilla*) y abundantes ornamentales. Generalmente la inflorescencia es una cabezuela con simetría radial (Nabors, 2006).
- **Cucurbitaceae:** generalmente son hierbas rastreras o trepadoras mediante zarcillos, hojas alternas simples y más o menos lobadas. Esta familia presenta 95 géneros y 965 especies (Christenhusz y Byng, 2016) Flores unisexuales y plantas generalmente monoicas. Algunas especies de importancia económica son la ahuyama (*Cucurbita maxima*), sandía (*Citrillus lanatus*), pepino (*Cucumis sativus*), estropajo (*Luffa cylindrica*), entre otras.
- **Fabaceae:** este grupo, con cerca de 770 géneros y 19 500 especies (The Legume Phylogeny Working Group [LPWG], 2017)), se reconoce por hojas compuestas, alternas, con pulvínulo, un único carpelo superior con un lóculo, placentación marginal y, generalmente, de dos a muchos óvulos, en dos filas alternas en una sola placenta. El fruto generalmente es una legumbre. A partir de análisis moleculares hoy se reconocen seis subfamilias (LPWG, 2017), y se baja el peso a las características de la flor para identificarlas. Se resaltan las siguientes:
 1. **Caesalpinioideae.** Presenta árboles, arbustos, enredaderas, algunas veces con presencia de espinas con hojas compuestas, algunas veces recompuestas, folíolos asimétricos. Ejemplos de este grupo son el tamarindo (*Tamarindus indica*), casco de vaca (*Bahuinia variegata*), clavellino (*Caesalpinia pulcherrima*), algarrobo (*Hymenaea courbaril*), nazareno (*Peltogyne paniculata*).
 2. **Faboideae (Papilionoideae).** presenta árboles, arbustos, hierbas, enredaderas con zarcillos, algunos géneros presentan hojas trifoliadas. A este grupo pertenecen el fríjol (*Phaseolus vulgaris*),



búcaro (*Erythrina fusca*), amor seco (*Desmodium adscendens*), sapán (*Clathrotopis brachypetala*), maní forrajero (*Arachis pintoii*), matarratón (*Gliricidia sepium*), arveja (*Pisum sativum*), entre otras.

3. Mimosoideae: Presenta árboles, arbustos e incluso hierbas. Con frecuencia presentan nectarios extraflorales en peciolo o raquis y hojas compuestas, usualmente recompuestas. Sus flores usualmente son pequeñas agrupadas en capítulos o cabezuelas. Unos pocos géneros presentan glándulas. La leucaena (*Leucaena leucocephala*), el piñón de oreja (*Enterolobium cyclocarpum*), la dormidera (*Mimosa pudica*), son especies típicas de este grupo
4. Malvaceae: comprende cerca de 244 géneros y 4 225 especies (Christenhusz y Byng, 2016), incluyendo familias antiguas como Bombacaceae, Sterculiaceae y Tiliaceae. Hojas simples, alternas, espiraladas, tricomas estrellados, pulvínulo, estípula y epicáliz. Puede presentar pelos glandulares y mucílago; a esta familia pertenecen majagua (*Hibiscus tilliaceus*), algodón (*Gossypium hirsutum*) y san joaquín (*Hibiscus rosa-sinensis*). El cacao (*Theobroma cacao*) es una de las especies de mayor importancia económica, así como otras especies del mismo género que tienen potencial de uso similar.
5. Myrtaceae: esta familia se compone de 132 géneros y 5 950 especies (Christenhusz y Byng, 2016), que se distribuyen en su mayoría en regiones tropicales y subtropicales. Árboles o arbustos perennifolios, generalmente de flores bisexuales, hojas simples, opuestas enteras con glándulas resinosas o aromáticas, flores unisexuales blancas con gran número de estambres. Algunas especies de importancia económica son guayaba (*Psidium guajava*), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), y frutales promisorios como arazá (*Eugenia stipitata*), jabuticaba (*Plinia cauliflora*), entre otros.
6. Passifloraceae: se reconocen 29 géneros y 980 especies (Christenhusz y Byng, 2016). La mayoría de las especies son lianas o enredaderas que trepan por medio de zarcillos. Hojas alternas y con estípula. Flores con una corona extraestaminal para atraer polinizadores; en algunas especies está reducida, con glándulas en diferentes órganos; frutos en bayas o cápsulas (Hernández y



Bernal, 2000). Entre las especies mayor importancia económica se encuentran maracuyá (*Passiflora edulis*, var. *flavicarpa*), gulupa (*P. edulis*, var. *edulis*), y otras especies promisorias como maracuba (*P. alata*) y badea (*P. cuadrangularis*), entre otras.

7. Rubiaceae: esta familia con cerca de 590 géneros y 13 620 especies (Christenhusz y Byng, 2016); se reconoce por presentar hojas simples, opuestas, decusadas, con estípula. Flores pentámeras. Sin olor característico. A esta familia pertenecen la jagua (*Genipa americana*), el café (*Coffea arabica*) y el borojó (*Alibertia patinoi*), entre otras.
8. Rutaceae: comprende 148 géneros y 2 070 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Hojas generalmente compuestas, alternas, con puntos translúcidos, muy aromáticas. Uno de los grupos más reconocido de esta familia son los cítricos, que son varias especies del género *Citrus*, como la naranja (*Citrus x aurantium*), mandarina (*Citrus reticulata*), limón (*Citrus limon*). Una especie nativa de este grupo es el tachuelo (*Zanthoxylum rhoifolium*).
9. Solanaceae: comprende 100 géneros y 2 600 especies (Christenhusz y Byng, 2016). Hojas simples o compuestas, alternas, sin estípulas y con olor rancio al macerar. Pueden presentar dimorfismo foliar. Fruto generalmente en baya. Incluye especies como la papa (*Solanum tuberosum*) y otras también conocidas como, tomate (*Solanum lycopersicom*), tomate de árbol (*S. betaceum*), berenjena (*Solanum melongena*), los ajíes (*Capsicum* sp.), entre muchas otras de importancia alimentaria. También presenta especies ornamentales y otras con compuestos fitoquímicos importantes como el tabaco (*Nicotiana tabacum*), borrachero (*Brugmansia candida*), etc.

Procedimiento

Los estudiantes realizarán recorrido guiado de observación de plantas y harán una descripción de varias plantas, haciendo énfasis en caracteres diagnósticos de la familia. A partir de esta se consignará la información en la Tabla 14 incluyendo especies de Monocotiledónea y Eudicotiledónea.

Tabla 14.
Descripción de algunas plantas monocotiledóneas y eudicotiledóneas y sus familias botánicas

#	Nombre común de la planta	Composición/ Filotaxia	Flor solitaria o inflorescencia/ # de pétalos	Carácter diagnóstico de la familia	Observaciones*	Familia botánica
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



*Indicar presencia de atributos como:

1. Pubescencia: tricomas, pelos.
2. Pulvínulo: engrosamiento en la base del pecíolo.
3. Puntos translúcidos: canales resiníferos ubicados en las láminas de las hojas, como puntos transparentes.
4. Olor: al macerar las hojas o folíolos.
5. Epicáliz: hojas modificadas ubicadas sobre el cáliz, característico de Malvaceae.
6. Exudado: líquido acuoso o aceitoso generalmente blanco, presente al desprender algún eje de la planta.
7. Glándulas: estructuras presentes generalmente en la base de las hojas, o en las flores. Habitualmente almacenan sustancias.
8. Estípulas: hojas modificadas que protegen las yemas foliares o rameales.

Referencias

- Bernal, R. y Galeano, G. (Eds.). (2013). *Cosechar sin destruir: Aprovechamiento sostenible de palmas colombianas*. Universidad Nacional de Colombia - PALMS - Colciencias.
- Christenhusz, M. J. M. y Byng, J. W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3), 201-217. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- Deng, J., Gao, G., Zhang, Y., He, F., Luo, X., Zhang, F., Liao, X., Ahmad, K. S. y Yang, R. (2016). Phylogenetic and ancestral area reconstruction of Zingiberales from plastid genomes. *Biochemical Systematics and Ecology*, 66, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.03.013>
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F. y Donoghue, M. J. (1999). *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*. Sinauer.



- The Legume Phylogeny Working Group. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *TAXON*, 66(1), 44-77. <https://doi.org/10.12705/661.3>
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la botánica* (Trad. P. González-Barreda). Pearson Educación.
- Saunders, R. M. K. (2010). Floral evolution in the Annonaceae: hypotheses of homeotic mutations and functional convergence. *Biological Reviews*, 85(3), 571-591. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00116.x>

Recursos

- Instituto Colombiano de Antropología e Historia. (31 de julio de 2020). «Expedición Botánica para todos» | Programa 1 [Video]. YouTube. <https://youtu.be/wR8uLyIFty4>
- Lucid Central. (s.f.). *Key to the Flowering Plant Families of the Neotropics*. Key Search. <https://keys.lucidcentral.org/search/key-to-the-flowering-plant-families-of-the-neotropics/>
- Missouri Botanical Garden. (s.f.). *Tropicos*. <https://www.tropicos.org/home>
- Stevens, P. F. (2017). *Angiosperm Phylogeny Website* (Versión 14). <https://www.mobot.org/mobot/research/apweb/>

Impreso en Divegráficas S.A.S
en el mes de diciembre de 2024



La Guía de laboratorios de Botánica y Fisiología está dirigida, fundamentalmente, a estudiantes de Tecnología e Ingeniería de Ciencias Agrarias y Ambientales, quienes inician en el aprendizaje de la botánica y la fisiología vegetal, razón por la cual hace énfasis en la aplicación práctica de los conocimientos relacionados con la anatomía, la morfología, la fisiología y la sistemática vegetal, los cuales son planteados por diversos autores. Dada la metodología empleada en el diseño de los distintos laboratorios contemplados en esta guía, estudiantes pertenecientes a otras carreras afines o aficionados a las plantas pueden utilizarla sin dificultad.



POLITÉCNICO COLOMBIANO
Jaime Isaza Cadavid