

Histología Vegetal



Editorial
Unillanos



Primera edición, 2019

Bonilla Morales, Miguel Macgayver

Histología Vegetal / Miguel Macgayver Bonilla Morales, Adriana Carolina Aguirre Morales y Oscar Agudelo Varela – Villavicencio: Editorial Unillanos, 2019

p. 127, il.; (21x28cm.)

Incluye: Bibliografía

ISBN Digital (978-958-8927-39-8)

1. Anatomía Vegetal. 2. Células y Tejidos Vegetales. i. Adriana Carolina Aguirre Morales. ii. Oscar Agudelo Varela

CDD 581.1 ed. 21

Catalogación en la publicación – Biblioteca Universidad de los Llanos

© Miguel Macgayver Bonilla Morales

© Adriana Carolina Aguirre Morales

© Oscar Agudelo Varela

© Universidad de los Llanos

Coordinación editorial: Ana María Lombana Gracia

Diseño de ilustraciones y diagramación: ©Natalia Fernanda Briceño Pinto

Corrección de estilo: Ánderson Villalba

Editorial Unillanos, 2019

Kilómetro 12 vía Puerto López, vereda Barcelona

Email: editorialunillanos@unillanos.edu.co

www.editorial.unillanos.edu.co

Villavicencio, Meta

Descargo de responsabilidad: la información contenida en este libro es producto de los autores y por consiguiente no compromete la posición de la Universidad de los Llanos.

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio, formato o propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Unillanos.

Los autores agradecen a la Universidad de los Llanos, pues mediante la convocatoria de investigaciones, autorizada por el Consejo de Investigaciones, se financió el proyecto FCBI-7-2012 titulado "Desarrollo de material multimedia en Morfología e Histología vegetal, utilizando una estrategia metacognitiva para fortalecer el aprendizaje de los estudiantes de los cursos de Biología, Botánica y Educación vegetal de Licenciatura en Producción Agropecuaria de la Universidad de los Llanos.". Esta obra recoge varios resultados de dicha investigación.



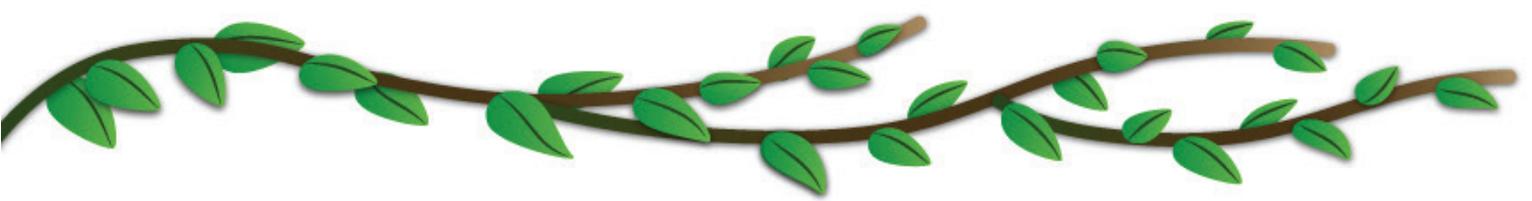
TABLA DE CONTENIDOS

1. CÉLULA VEGETAL	11
1.1. PARED CELULAR	15
1.1.1. Propiedades físico-químicas de la pared celular	16
1.1.2. Protoplasto y componentes de la pared celular	17
1.2. MEMBRANA PLASMÁTICA	18
1.2.1. Transporte de membrana	21
1.3. NÚCLEO	22
1.4. MITOCONDRIA	25
1.5. PLASTIDIOS	25
1.6. RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO	26
1.7. RIBOSOMAS	28
1.8. COMPLEJO DE GOLGI	29
1.9. LISOSOMAS	31
1.10. VACUOLA	32
1.11. PEROXISOMAS	33
1.12. PLASMODESMO	35
1.13. CITOESQUELETO	35
2. MERISTEMO	39
2.1. CÉLULAS MERISTEMÁTICAS	40
2.2. DIVISIÓN CELULAR MERISTEMÁTICA	40
2.3. CLASIFICACIÓN DE MERISTEMOS	44
2.4. CRECIMIENTO PRIMARIO: MAT Y MAR	45
2.4.1. Crecimiento modular del cuerpo primario	45
2.4.2. Organización estructural y funcional de meristemos apicales	48
2.5. CUERPO SECUNDARIO: CAMBIUM VASCULAR	51
3. TEJIDOS FUNDAMENTALES: PARÉNQUIMA, COLÉNQUIMA Y ESCLERENQUIMA	55
3.1. PARÉNQUIMA	55
3.1.1. Origen y estructura celular	56
3.1.2. Tipos de parénquima	56
3.2. COLÉNQUIMA	58
3.2.1. Localización	59
3.2.2. Estructura de la pared y tipos de colénquima	59
3.2.3. Función del colénquima	60



3.3. ESCLERÉNQUIMA	61
3.3.1. Función	61
3.3.2. Tipos de esclerénquima	62
4. TEJIDOS CONDUCTORES: XILEMA Y FLOEMA	67
4.1. XILEMA	67
4.1.1. Elementos conductores o traqueales	68
4.1.2. Xilema primario: protoxilema y metaxilema	70
4.1.3. Xilema secundario	72
4.2. FLOEMA	73
4.2.1. Células del floema	74
4.2.2. Floema primario: protofloema y metafloema	75
4.2.3. Floema secundario	77
4.2.4. Laticíferos	78
5. TEJIDO EPIDÉRMICO	81
5.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS	81
5.2. CÉLULAS EPIDÉRMICAS: ESTOMAS Y TRICOMAS	83
5.2.1. Estomas	83
5.2.2. Tricomas	85
5.3. PELOS RADICULARES	89
6. RAÍZ	91
6.1. ORIGEN	91
6.2. TEJIDOS PRIMARIOS	92
6.2.1. Caliptra	94
6.2.2. Epidermis	94
6.2.3. Córtex	95
6.2.4. Periciclo	97
6.2.5. Tejidos vasculares	98
6.3. DESARROLLO DE LAS RAÍCES LATERALES	100
6.4. CRECIMIENTO SECUNDARIO	100
7. TALLO	103
7.1. CRECIMIENTO PRIMARIO DEL TALLO	103
7.1.1. Epidermis	104
7.1.2. Corteza	105
7.1.3. Tejido vascular	106
7.1.4. Médula	107
7.2. CRECIMIENTO SECUNDARIO DEL TALLO	108





8. HOJA	111
8.1. MORFOLOGÍA DE LA HOJA	111
8.2. HISTOLOGÍA DE LA HOJA	112
8.2.1. La epidermis	114
8.2.2. Mesófilo	114
8.3. SISTEMA VASCULAR	115
8.4. PECIOLO	116
9. FLOR Y FRUTO	119
9.1. ORIGEN DE LA FLOR	119
9.1.1. Desarrollo de la flor	120
9.2. EL FRUTO	122
BIBLIOGRAFÍA	124
DATOS DE AUTORES	128







Capítulo 1

Célula Vegetal

CÉLULA VEGETAL

1. Célula Vegetal

La célula es la unidad morfológica, fisiológica, reproductiva y metabólica básica de la vida.

La palabra *célula* deriva del griego *kytos* y del latín *cellula*, que significan celda. En 1665, Robert Hooke, fue el primero en observar la *célula* vegetal al realizar cortes sobre tejido de corcho utilizando lentes de aumento 50X elaborados por él mismo. En sus observaciones no describió los componentes intercelulares, ya que estas fueron realizadas sobre tejido muerto de corcho, gracias a lo cual pudo observar múltiples celdas que hoy se reconocen como pared celular.

El posterior avance en microscopía permitió reconocer las células como organismos vivos y dividir las según su componente intracelular en procariotas (gr. *pro*: antes de, y, *karyon*: núcleo) y eucariotas (gr. *eu*: verdadero y *karyon*: núcleo). Los procariotas son organismos unicelulares cuyo material genético se encuentra disperso en el citoplasma, pues no presenta un núcleo definido por la envoltura o membrana nuclear y carece de organelas.

Los procariotas son, generalmente, bacterias que han logrado establecerse en todos los hábitats de la tierra, hacen parte del de los reinos *archae* y bacteria, y son la forma de vida más primitiva y mejor adaptada, con existencia cercana a los ca. 3.800 millones de años, de los 4.500 ma. que tiene el planeta. Por otro lado, los eucariotas aparecen hace aproximadamente 1.800 millones de años. La teoría de la endosimbiosis seriada propuesta por Lynn Margulis, postula la formación de la célula eucariota como la suma de procariotas que entablaron una relación simbiótica



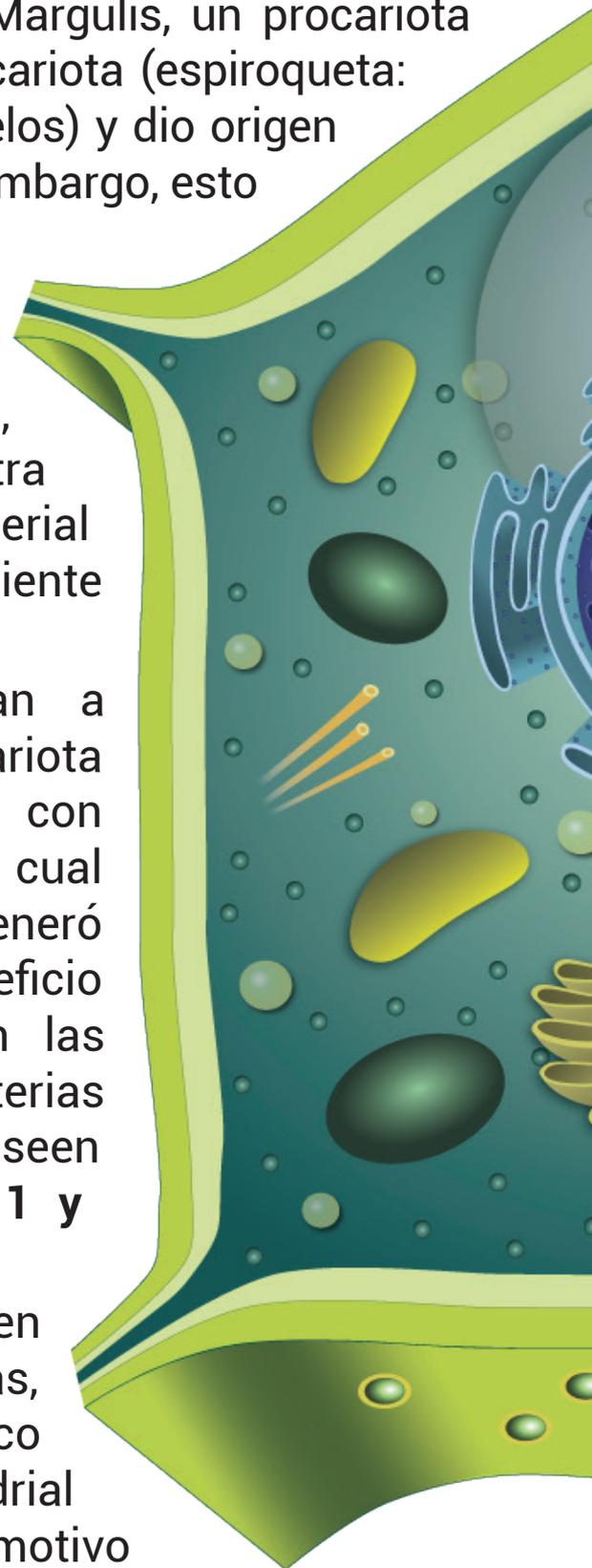


Los organismos que se conocen dentro del reino protista, fungi, vegetal y animal, que componen la mayor diversidad del planeta, son eucariotas. Desde esta perspectiva, y de acuerdo con los hallazgos encontrados en la teoría de Margulis, un procariota (*Thermoplasma* sp.) fagocitó a otro procariota (espiroqueta: que formaron el citoesqueleto y los flagelos) y dio origen a los primeros protistas (eucariota); sin embargo, esto no ha sido comprobado.

La teoría confirmada afirma que el *Thermoplasma* sp. fagocitó una eubacteria que dio origen a la mitocondria, denominada organelo (aunque es otra célula, pues contiene su propio material genético y su ciclo celular es independiente a través de la fisión binaria).

Las células vegetales se originan a partir de otro encuentro de este eucariota (*Thermoplasma* sp. + eubacteria) con otro procariota, la cianobacteria, la cual fue fagocitada sin causar daños y generó condiciones intracelulares de beneficio mutuo. De esta manera, se originan las células vegetales, pues las cianobacterias son organismos fotosintéticos que poseen plastidios de tipo cloroplasto (**figura 1 y figura 2**).

Las células vegetales se reconocen como la suma de tres procariotas, cada una posee su material genético independiente: nuclear (ADN), mitocondrial (ADNmt) y cloroplástico (ADNcp), por tal motivo se conoce como ADN tripartita.



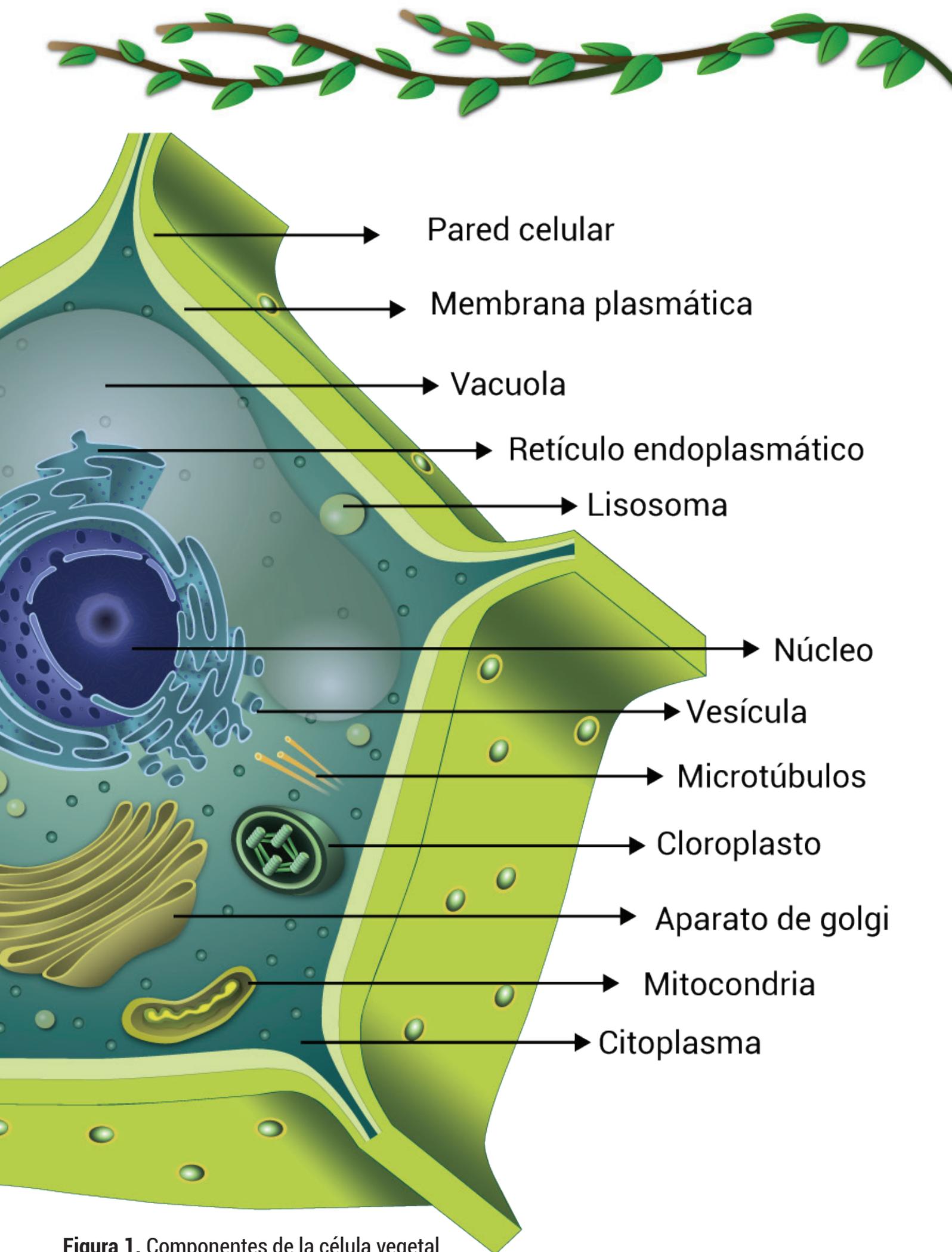


Figura 1. Componentes de la célula vegetal

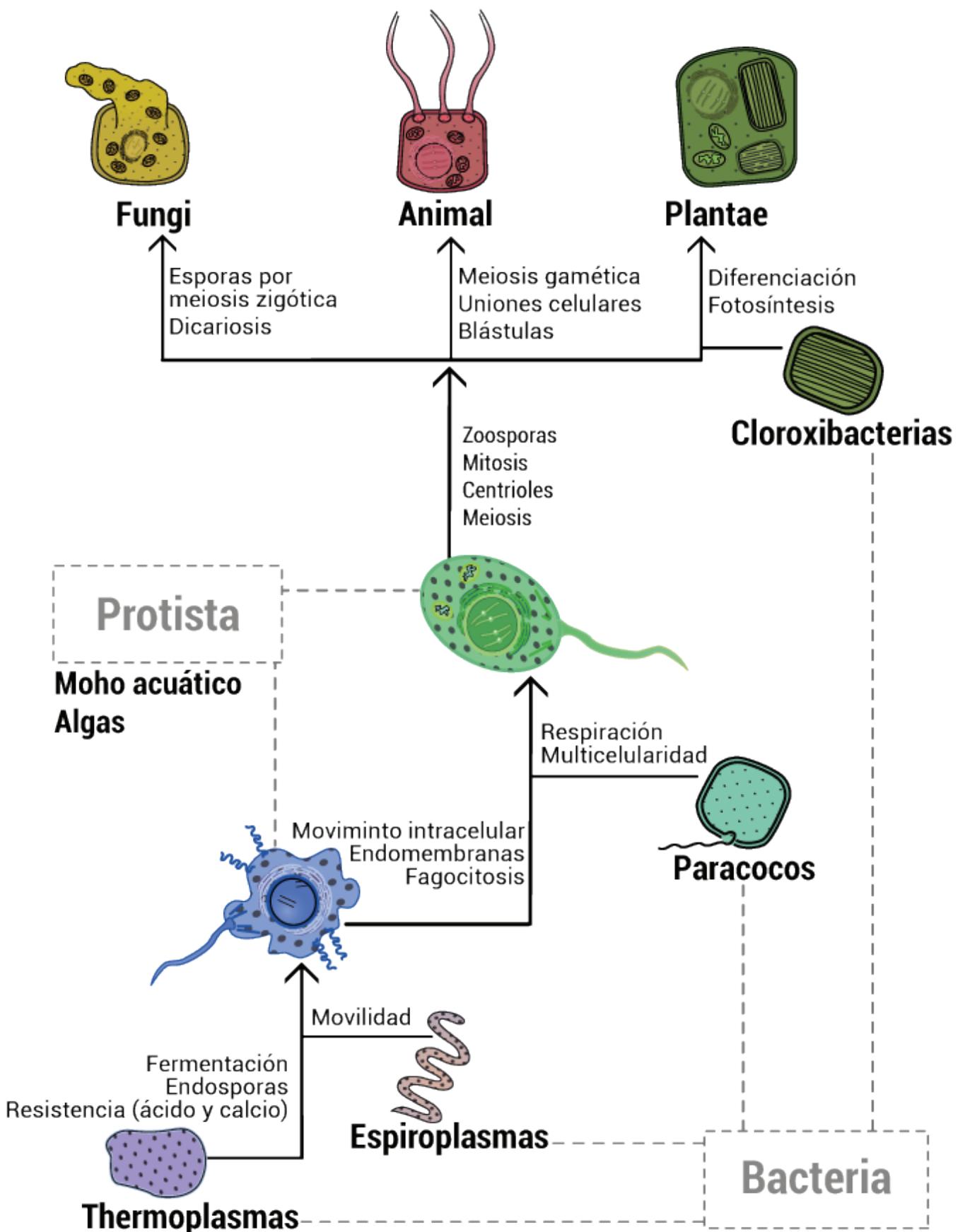


Figura 2. Teoría endosimbiótica propuesta por Lynn Margulis



1.1. Pared celular

La pared celular le confiere a las células y organismos vegetales resistencia mecánica ante diferentes componentes abióticos. Además, define el tamaño y la forma de la célula, pues regula su crecimiento al delimitar la extensión de la membrana celular. En cuanto a la defensa de agentes patógenos, actúa como barrera física que impide su entrada; sumado a esto, posee moléculas que desencadenan repuestas que involucran al sistema inmune vegetal.

La pared celular está compuesta por celulosa (25-30%), hemicelulosa (15-25%), pectina (35%) y proteínas (5-10%), que se distribuyen en la pared primaria, secundaria (S1, S2 y S3) y lámina media (figura 3).

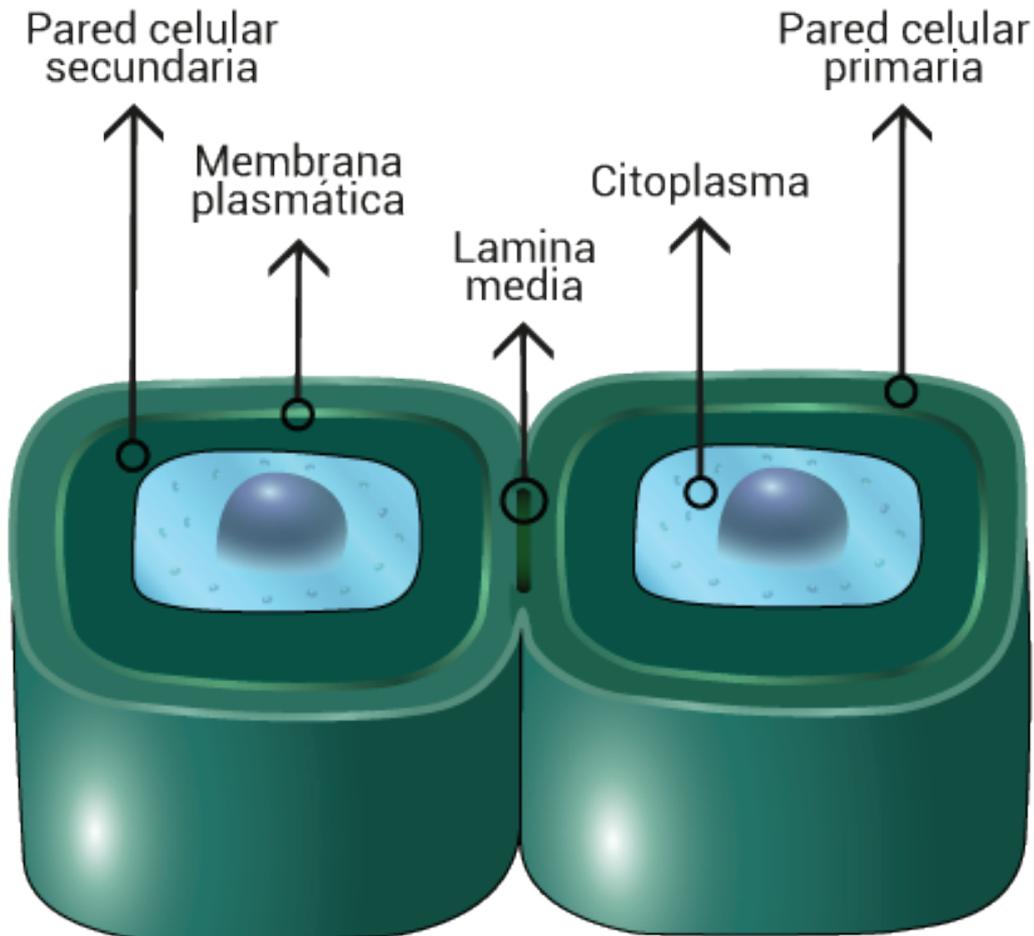
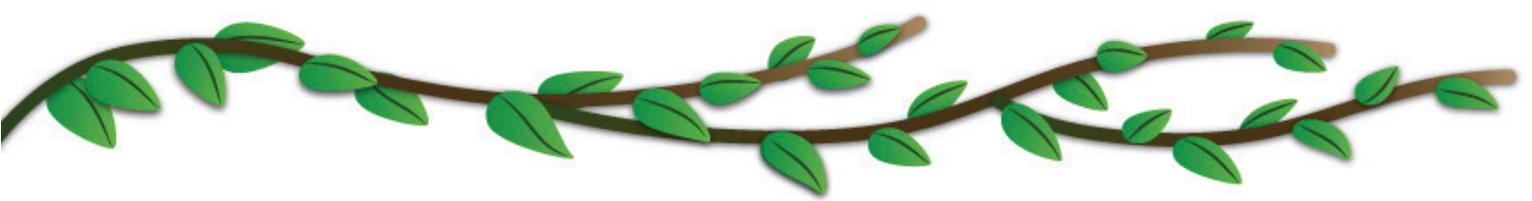


Figura 3. Componentes de la pared celular





1.1.1. Propiedades físico-químicas de la pared celular

Las propiedades físico-químicas de la pared celular son:

- I. Porosidad
- II. Carga eléctrica
- III. Cohesión celular
- IV. Grado de hidratación
- V. Resistencia química
- VI. Resistencia mecánica

1.1.1.1. Porosidad

La porosidad está determinada por las redes poliméricas que constituyen la pared celular. Esta funciona a manera de "colador": regula y limita la entrada de moléculas según su tamaño.

Los poros generalmente oscilan entre 3.5 y 6.0 nm (masas moleculares: 13-65 KDa), por lo que restringen la entrada de macromoléculas como proteínas o polisacáridos; no obstante, permite el paso de micromoléculas, como aminoácidos, sacarosa o reguladores de crecimiento.

1.1.1.2. Carga eléctrica

La carga eléctrica de la pared celular es negativa debido a los grupos carboxilo de los restos de galacturonosil de las pectinas y glicorosil de los xilanos con un pH fisiológico entre 4.5 y 6.0.

El balance de cargas se da por la presencia de cationes, fundamental de calcio (Ca^{++}).

1.1.1.3. Cohesión celular

La cohesión celular se presenta a través de la unión de la pared celular. Este suceso ocurre en la lámina media, principalmente





a través del pectato de calcio, responsable de la formación de puentes.

1.1.1.4. Grado de hidratación

El grado de hidratación depende del tipo de pared celular: la pared primaria puede acumular aproximadamente un 65% de humedad; sin embargo, la pared secundaria, por contener lignina, es hidrófoba por lo que impermeabiliza la pared y no retiene humedad. Igualmente, sucede con los depósitos de suberina y cutina en las células de la endodermis y células epidérmicas, respectivamente.

1.1.1.5. Resistencia química

La resistencia química se ve intervenida por los polímeros de celulosa y lignina que son resistentes a la degradación química por agentes patógenos. Además, se encuentran proteínas ricas en hidroxiprolina que forman una barrera pasiva frente a la penetración de microorganismos. También se pueden generar respuestas que activan el sistema inmune innato que liberan componentes como las fitoalexinas.

1.1.1.6. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica está dada por la celulosa y la lignina, las cuales, de manera estructural, impiden el acceso de agentes bióticos o abióticos que puedan afectar las células vegetales.

1.1.2. Protoplasto y componentes de la pared celular

La pared celular es una estructura que delimita el protoplasto al rodear la membrana plasmática o plasmalema. La pared celular permite acumular solutos en concentraciones mayores a las





existentes en el medio extracelular o apoplasto. El agua ingresa al protoplasto por ósmosis, lo que causa la hinchazón de la vacuola y, consecuentemente, la del plasmalema, y facilita así la elasticidad celular, limitada por la pared celular. La estructura y constitución de la pared celular varía a nivel inter e intra específico, aún a nivel intercelular en un individuo vegetal.

La lámina media está formada principalmente por polisacáridos pécticos, que mantienen la unión de las células adyacentes. Su origen se da desde la división celular, como primera capa que constituye la pared celular.

La pared celular primaria mide entre 0.1 y 1.0 μm , se deposita en las células hijas después de que la placa celular de la lámina media está completa. La pared celular primaria controla el crecimiento, pues permite la expansión celular.

La pared celular secundaria se forma en algunas células diferenciadas que dejan de crecer y se constituyen como depósitos de nuevas capas de material en la cara interna de la pared. La pared celular secundaria es más gruesa que la primaria al tener mayor contenido de celulosa.

1.2. Membrana plasmática

La membrana plasmática genera la compartimentación de la célula y sus organelos o componentes intracelulares, tales como núcleo, retículo endoplasmático rugoso y liso, complejo de Golgi, vacuola, lisosomas, vesículas, mitocondria y plastidios. Este conjunto de elementos se conocen como el sistema de endomembranas. La membrana plasmática aísla selectivamente el contenido interno del externo, regula el intercambio de sustancias indispensable para el desarrollo y permite la comunicación con otras células.

Las membranas son estructuras celulares que cumplen el





“modelo del mosaico fluido” al estar constituidas por una bicapa fosfolipídica y una variedad de proteínas que se mantienen en movimiento (**figura 4**). Los fosfolípidos tienen una cabeza hidrofílica y un par de colas hidrofóbicas, generalmente una de ellas posee ácidos grasos insaturados que permiten el doblado de la cola y, por ende, mejoran el movimiento y la fluidez de la membrana a bajas temperaturas.

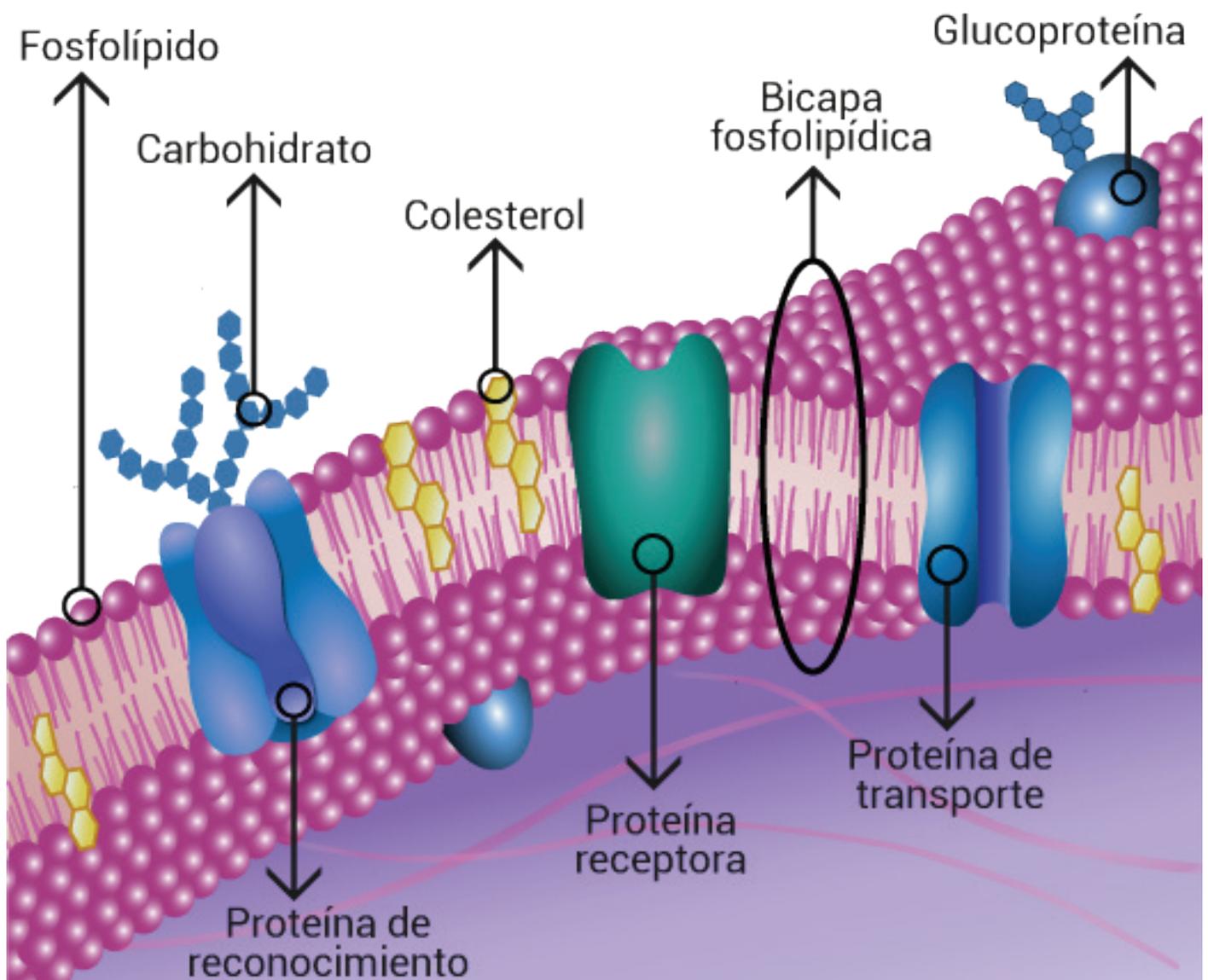
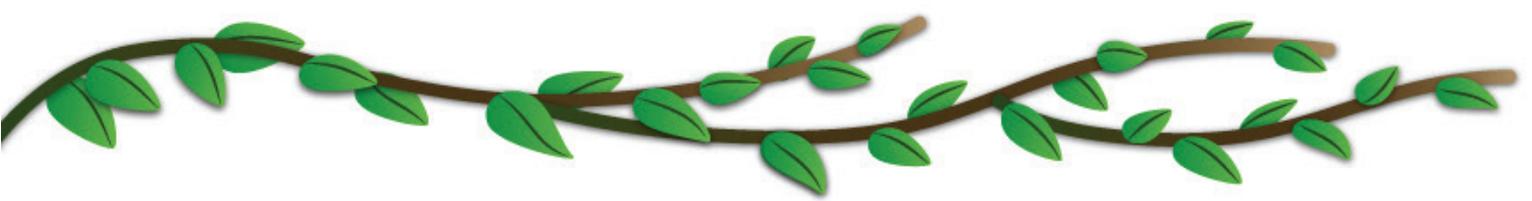


Figura 4. Composición de la membrana citoplasmática

La bicapa fosfolipídica posee cabezas hidrofílicas que están en contacto con la porción intracelular del citoplasma y extracelular





del ambiente acuoso. Las colas hidrofóbicas se encuentran en contacto de manera interna, insertando la membrana.

La bicapa fosfolipídica generalmente contiene colesterol, que hace a la membrana más resistente y flexible, pero menos fluida. El colesterol de la membrana debe estar regulado, pues mayor concentración intrabica fosfolipídica puede causar rompimiento de las moléculas estructurales (**figura 5**).

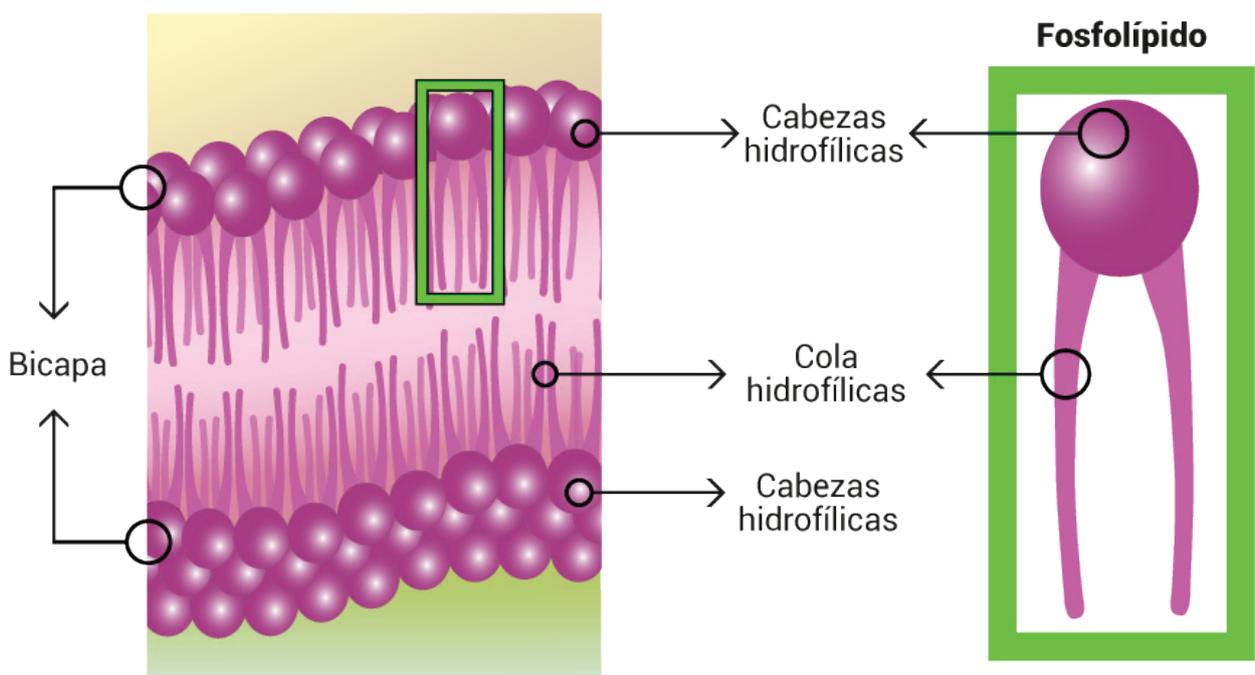


Figura 5. Fosfolípidos: cara hidrofílica y cara hidrofóbica

Diversas proteínas se encuentran ancladas en la bicapa fosfolipídica cuando dichas proteínas se encuentran unidas a carbohidratos se denominan glucoproteínas.

Existen proteínas de transporte, proteínas receptoras y proteínas de reconocimiento. Las proteínas de transporte regulan el movimiento de moléculas hidrofílicas (soluble en agua), también se les llaman proteínas de canal por los poros o canales que permiten la entrada de elementos. Las proteínas receptoras activan respuestas celulares cuando se unen a ellas moléculas específicas del fluido extracelular, como hormonas o nutrientes.





Las proteínas de reconocimiento (glucoproteínas) permiten la identificación de agentes patógenos.

1.2.1. Transporte transmembranal

El transporte a través de la membrana se da por transporte pasivo o transporte activo (**figura 6**). El transporte pasivo no requiere gasto de energía y se presenta por difusión simple, difusión facilitada u ósmosis, lo que implica un gradiente de concentración, presión o carga eléctrica. La difusión simple se da por el paso de agua, gases disueltos o atmosféricos, o moléculas liposolubles que fácilmente atraviesan la bicapa fosfolipídica (**figura 6A**).

La difusión facilitada involucra moléculas hidrosolubles que pasan a través de un canal o proteína portadora (**figura 6B**).

La ósmosis es el paso de agua por una membrana de permeabilidad diferencial, de tal modo que facilita el tránsito de agua de acuerdo a la cantidad de solutos intra o extra celulares.

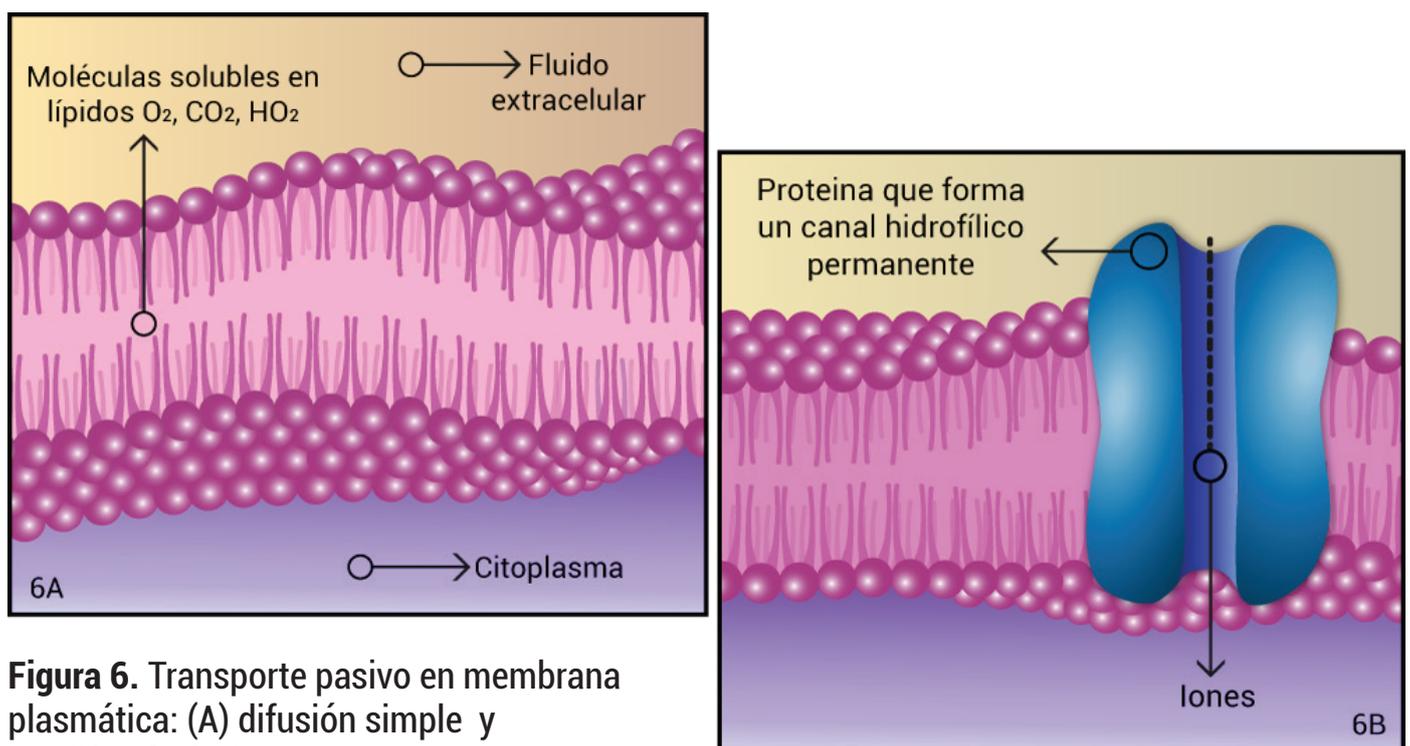
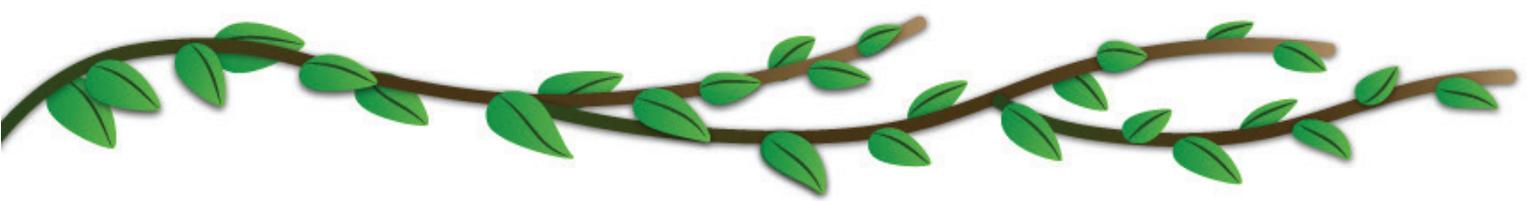


Figura 6. Transporte pasivo en membrana plasmática: (A) difusión simple y (B) difusión facilitada





El transporte que requiere de un gasto de energía se determina formalmente como transporte activo: endocitosis y exocitosis. El transporte activo requiere de uso de energía en forma de ATP para el movimiento de moléculas o iones pequeños. La endocitosis se realiza para introducir macromoléculas del medio exterior al interior del citoplasma a través de vesículas (pinocitosis) para introducir fluidos nutricionales. La exocitosis permite, por medio de vesículas, transportar materiales intracelulares que se funden con la membrana plasmática para liberarlos al espacio extracelular.

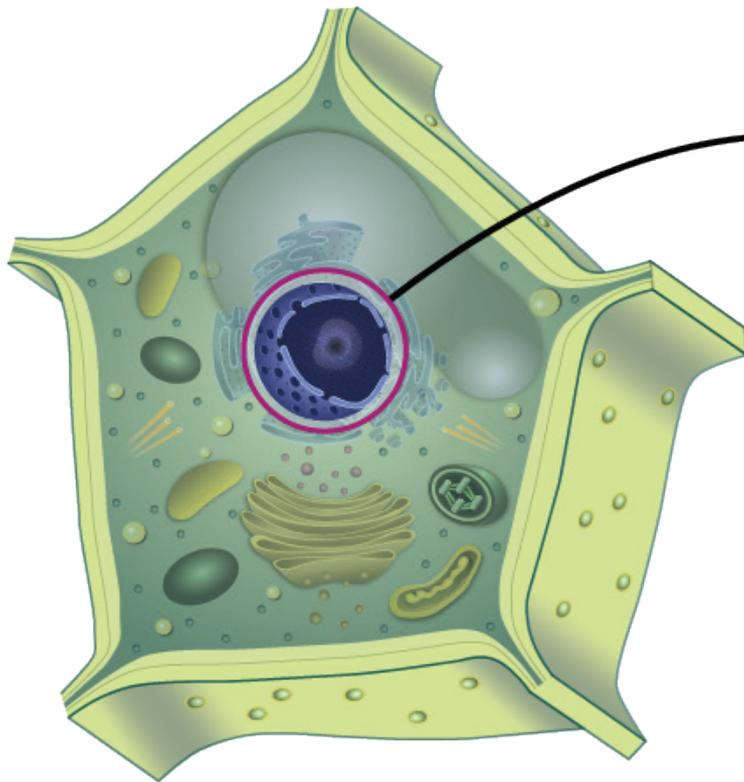
1.3. Núcleo

En las células eucariotas el núcleo es el responsable de gobernar la actividad celular (**figura 7**). Este presenta una envoltura nuclear que regula la entrada y salida de compuestos a través del poro nuclear, por donde fluye agua, iones y ATP.

El poro nuclear posee “proteínas portero” que permiten el paso específico de proteínas, trozos de ribosoma y ARN. En la envoltura o membrana nuclear exterior se encuentran ribosomas anclados que dan continuidad al retículo endoplasmático rugoso. El material genético (ADN y ARN) está disperso a nivel intranuclear en forma de cromatina, ADN asociado a proteínas. Cuando las células eucariotas están en proceso de división, el ADN y las proteínas asociadas se condensan formando cromosomas.

El núcleo posee en el centro el nucleolo, que es el responsable de la síntesis de ribosomas. Por tal motivo contiene ADN_r (ADN ribosomal), que es utilizado para la síntesis de ARN ribosomal en diversas etapas y proteínas.





Núcleo celular

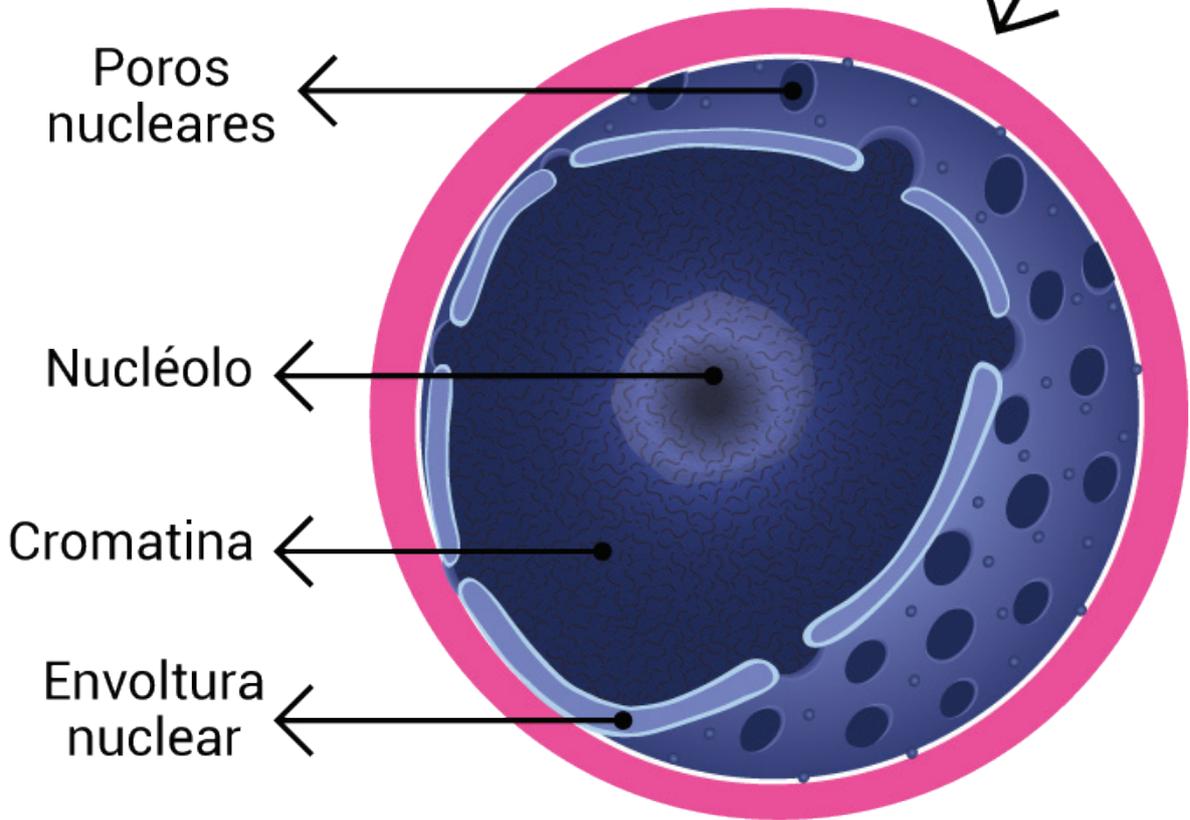


Figura 7. Núcleo celular



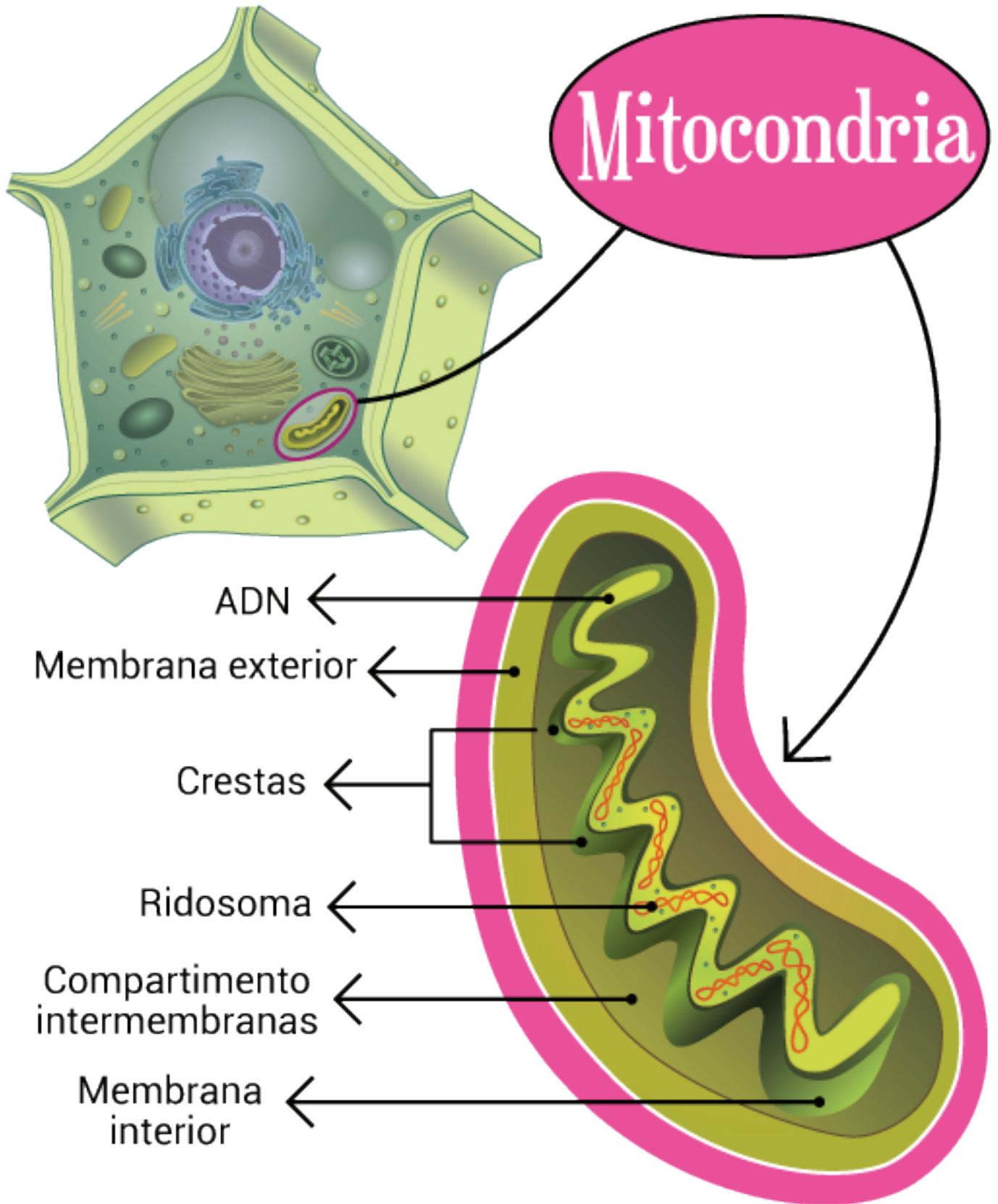
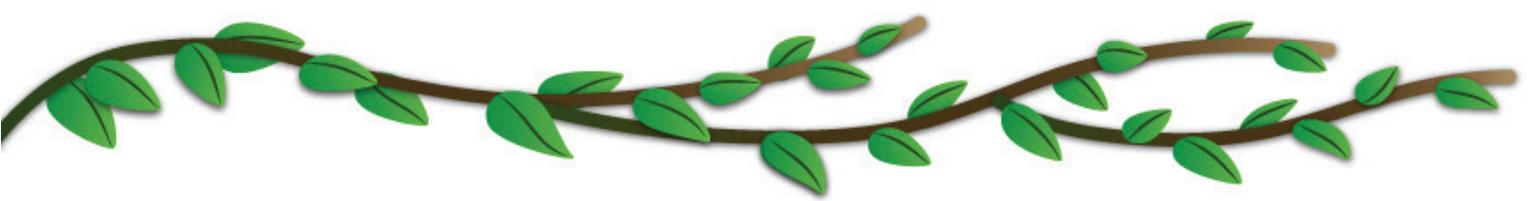


Figura 8. Mitocondria





1.4. Mitocondria

La mitocondria es la principal fuente de producción de energía de la célula. Posee forma ovalada o cilíndrica y está compuesta por un par de membranas: la membrana externa, que es lisa, y la membrana interna, que se arruga para formar crestas.

El espacio entre la membrana interna y externa se denomina compartimiento intermembranal. En el compartimiento interior se encuentran el ADN mitocondrial (ADNmt), ribosomas y proteínas (**figura 8**).

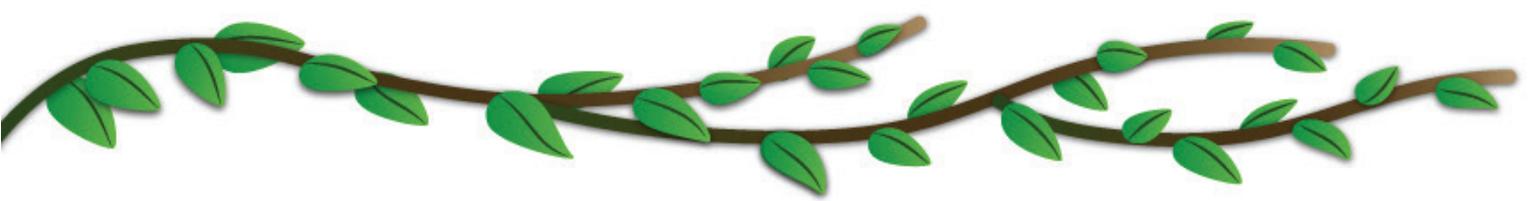
1.5. Plastidios

Los plastidios son organelos que se dividen en fotosintéticos y no fotosintéticos. Los fotosintéticos son conocidos como el cloroplasto y el cromoplasto. Estos generan el color a las plantas y contribuyen a la captación de energía lumínica para transformarla en energía química. En cuanto a los no fotosintéticos o de reserva, denominados leucoplastos por la carencia de color, se conocen los proteinoplastos, que almacenan proteínas (ej., semillas), amiloplasto, que guardan almidón (ej. tubérculos), y oleoplasto (ej., semilla del girasol). Los cloroplastos están conformados por una membrana externa y una interna. La membrana interna encierra un fluido que se llama estroma, donde se encuentran los tilacoides. Cuando hay una pila de tilacoides se denomina grana (plural, granum) (**figura 9**).

1.6. Retículo endoplasmático

El retículo endoplasmático (**figura 10**) se constituye en una serie de tubos y canales interconectados, encerrados por membranas





en el citoplasma. En el ítem “Núcleo” (pág. 22) se mencionó la continuidad que existe entre la membrana nuclear y el retículo endoplasmático. El retículo endoplasmático se divide en rugoso (RER) y liso (REL). El RER tiene incrustados ribosomas que permiten la síntesis de proteínas. El REL facilita la síntesis de lípidos que incluyen los fosfolípidos y colesterol que se utilizarán en las membranas.

Las proteínas pasan por los conductos del RER y llegan a las membranas, las cuales se estrangulan y liberan las proteínas en vesículas para el complejo de Golgi.

1.7. Ribosomas

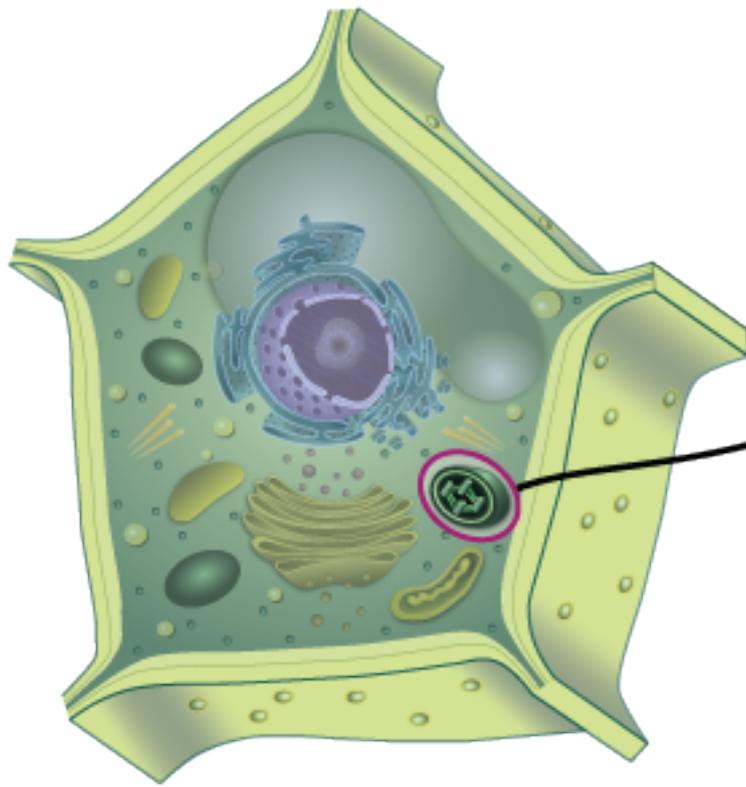
Los ribosomas son complejos macromoleculares citoplasmáticos cuya función consiste en sintetizar proteínas. Estos se constituyen de dos subunidades: la subunidad grande, que posee un sitio catalítico y dos sitios de unión de ARN de transferencia (ARNt) aminoácidos, y, la subunidad pequeña (**figura 11**).

Ambas subunidades se ensamblan para la entrada del ARN mensajero (ARNm), el cual trae las tripletas de bases nitrogenadas, o codones, que en la traducción dan el mensaje para que el anticodon una los aminoácidos específicos de acuerdo a la lectura.

Los ribosomas se pueden encontrar insertados en la cara externa del núcleo o en el retículo endoplasmático rugoso cuando van a producir proteínas que se utilizarán de manera extracelular. Sin embargo, también existen ribosomas libres que sintetizan compuestos para el uso intracelular.

Los plastidios y la mitocondria también poseen ribosomas.





Cloroplasto

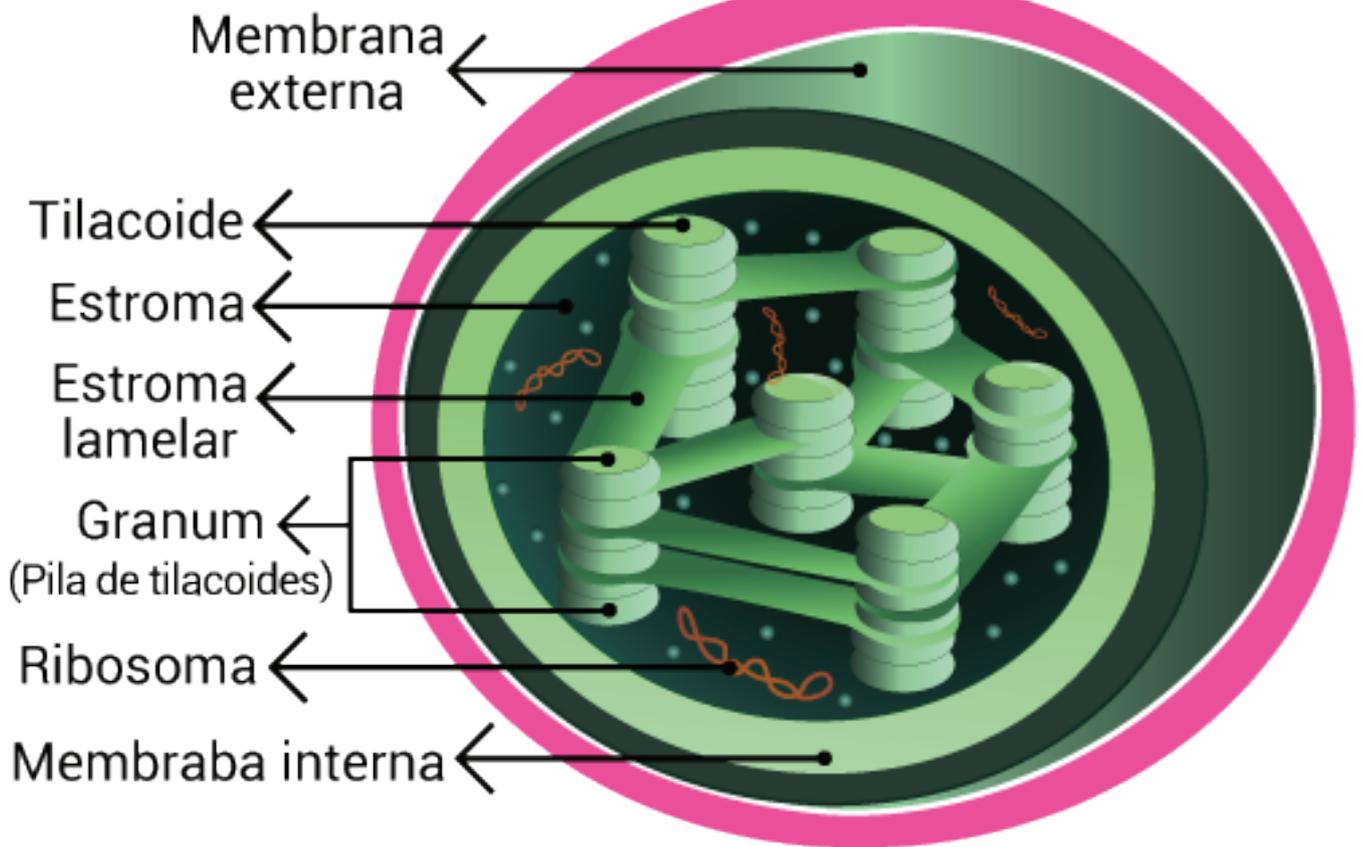


Figura 9. Cloroplasto



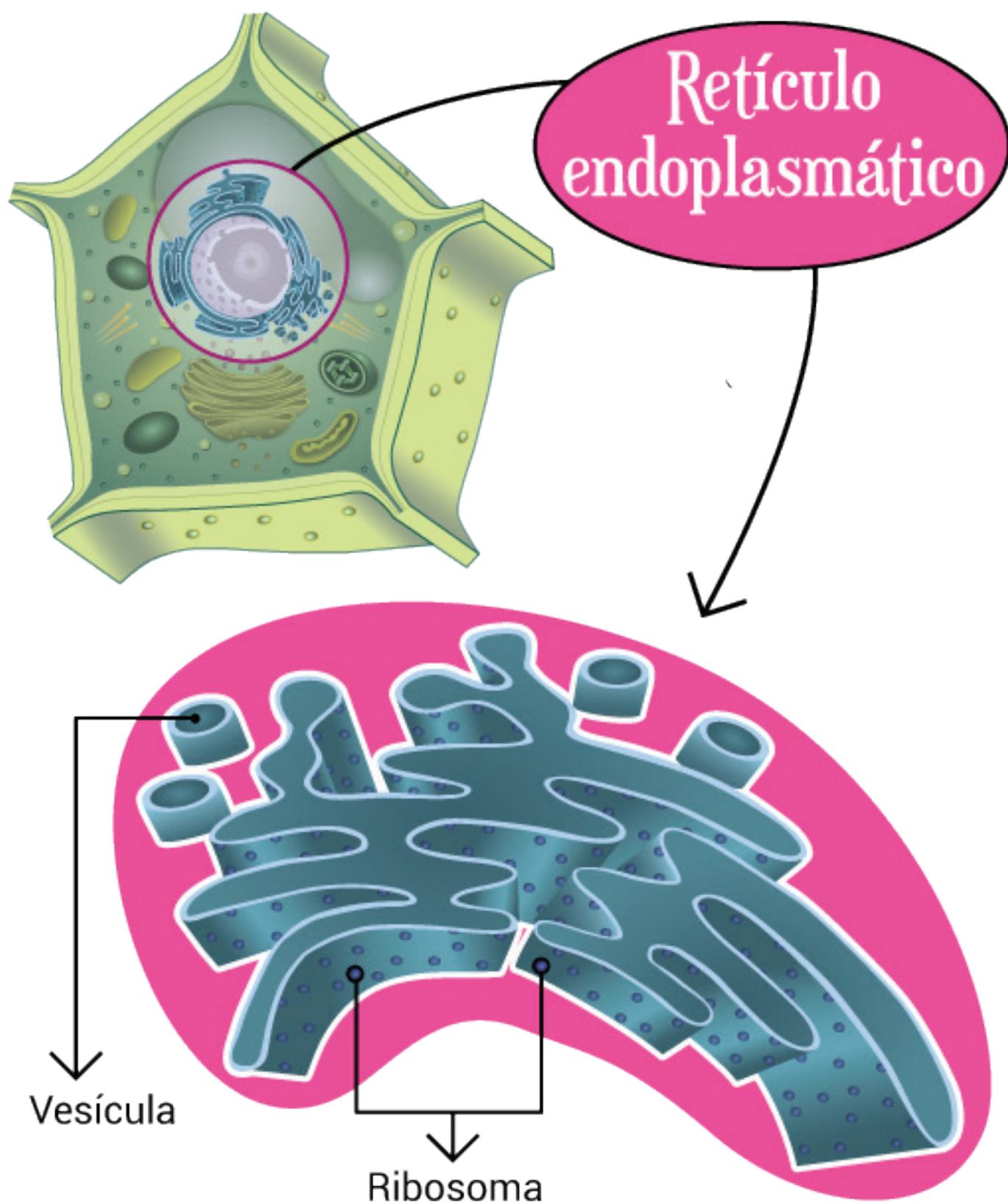


Figura 10. Retículo endoplasmático



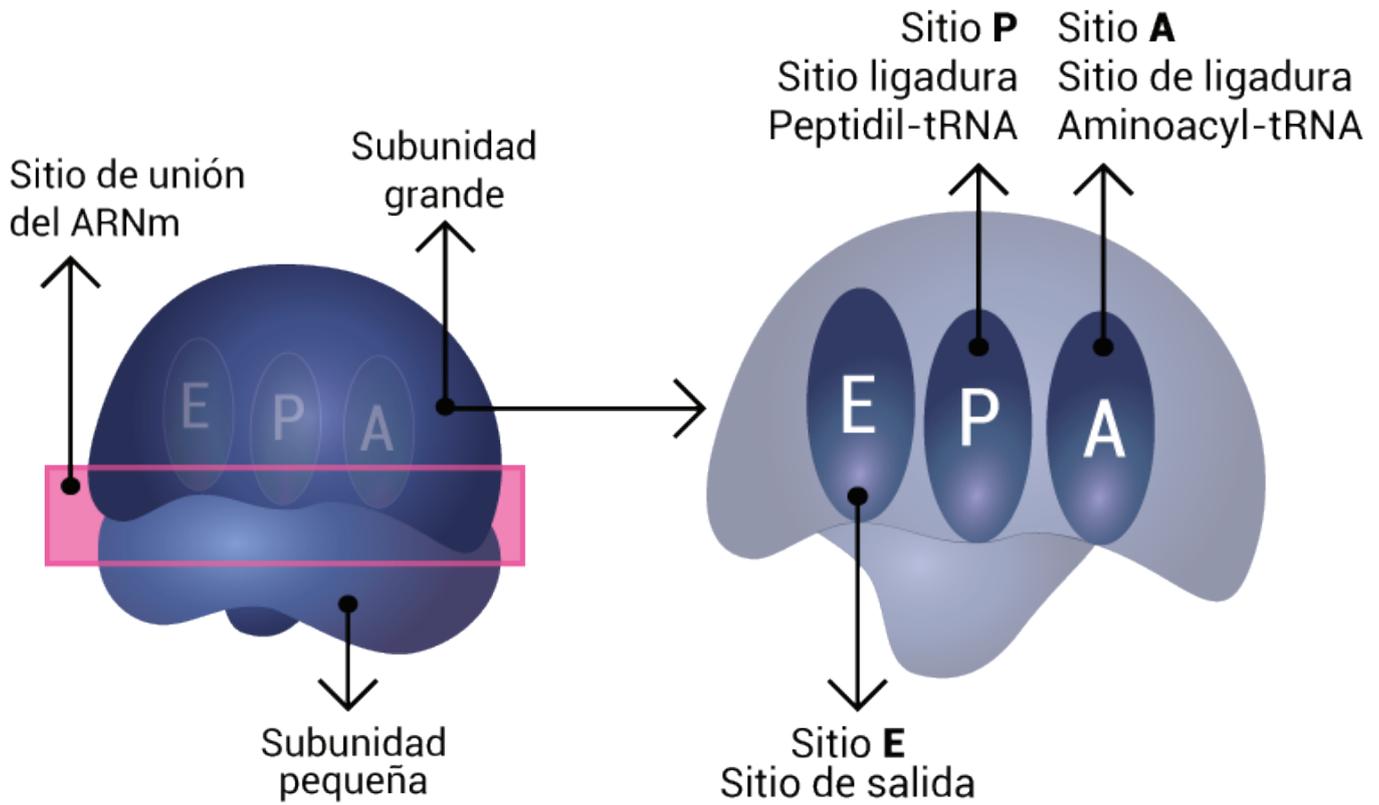


Figura 11. Ribosoma

1.8. Complejo de Golgi

El complejo de Golgi (CG) es un conjunto especializado de membranas aplanadas derivadas del retículo endoplasmático (RE) en forma de disco (**figura 12**). Cabe mencionar que existe un espacio entre el RE y el CG rico en vesículas denominado la zona intermedia. El conjunto de sáculos en apilamiento también se le llaman dictiosoma. Existe la cara interna, o cis, y externa, o trans, y una intermedia, la región intermedia.

La parte más externa del lado cis se denomina la red cis Golgi y la más externa del lado trans la red trans Golgi.



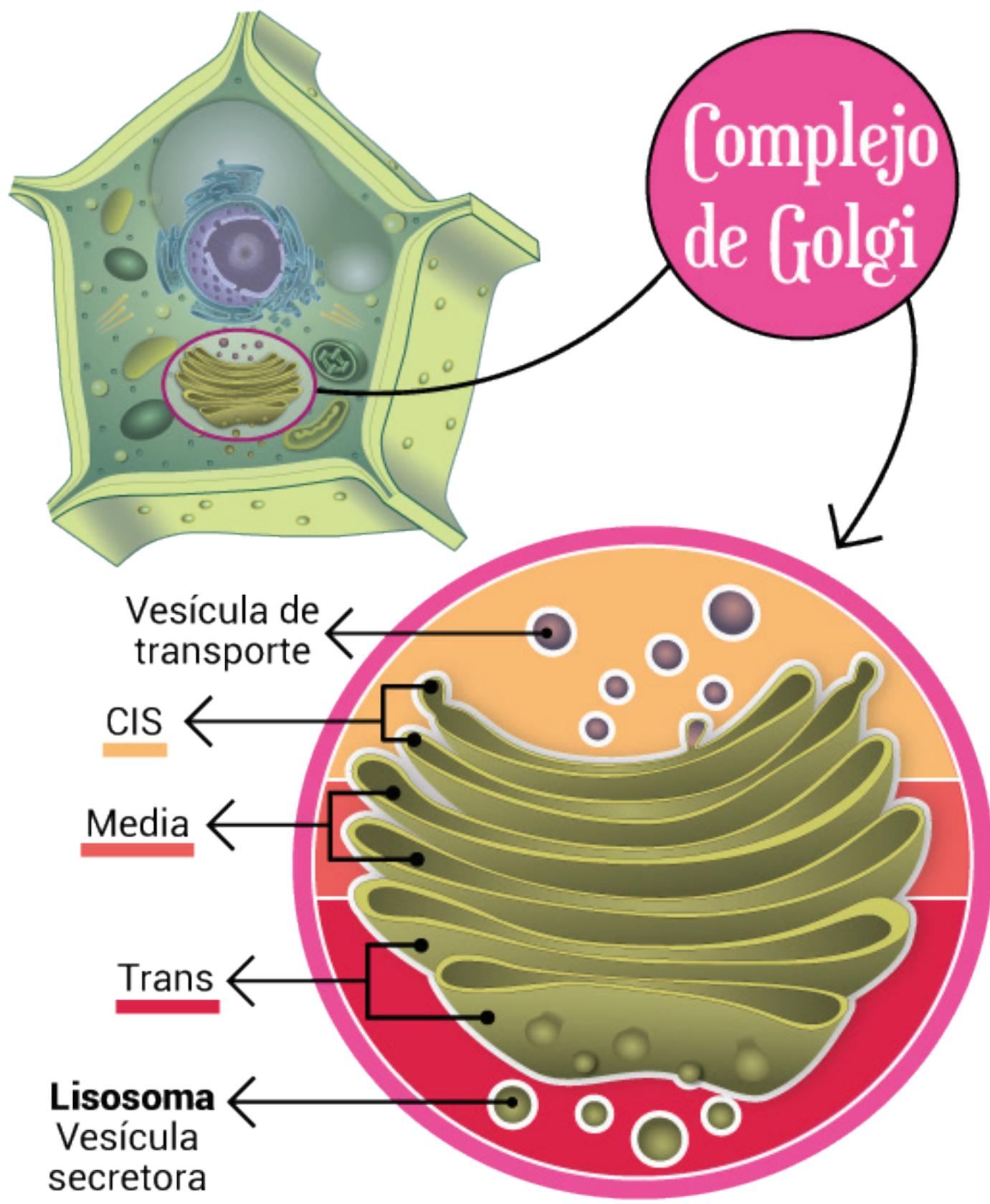


Figura 12. Complejo de Golgi





Las principales funciones del CG son separar las proteínas y los lípidos según su destino, modificar algunas moléculas en procesos de glucosilación, sulfatación y postraducción, y empacar estos materiales para el transporte a los organelos o a la membrana plasmática asociada al proceso de exocitosis.

1.9. Lisosomas

Los lisosomas actúan como el sistema digestivo de la célula y de la planta en general. Su función principal es digerir proteínas, carbohidratos y lípidos a subunidades más pequeñas, al igual que destruir microorganismos (**figura 13**). Además, los lisosomas también tienen la capacidad de digerir las membranas celulares excedentes y organelos defectuosos como mitocondrias y cloroplastos.

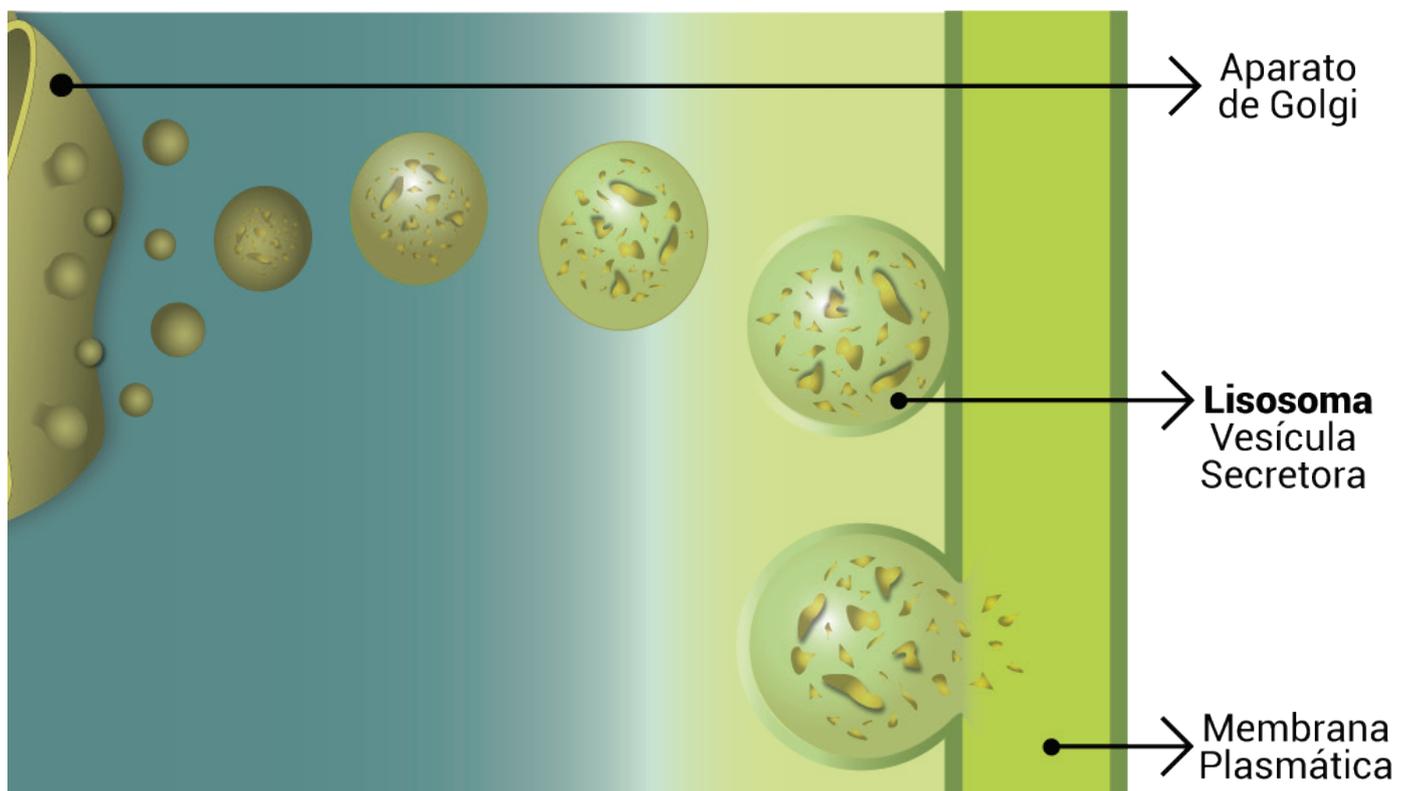
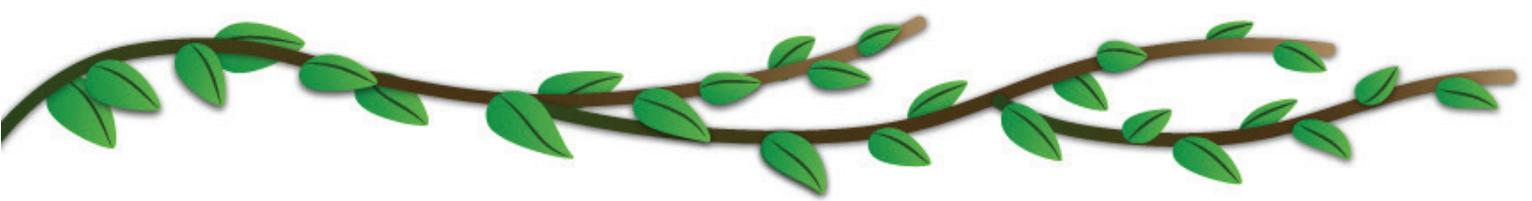


Figura 13. Lisosomas





1.10. Vacuola

Generalmente, las células poseen múltiples vacuolas, no obstante, en algunas es diferente, ej., las células vegetales que presentan una vacuola central (**figura 14**).

La vacuola central, al ser hipertónica, tiene la capacidad de regular la entrada de agua por presión de turgencia al hincharse y, consecutivamente, la célula, al plegarse por la membrana plásmática. Por lo anterior, cerca del 90% del espacio intracelular de la célula vegetal lo puede ocupar la vacuola central.

En las vacuolas también se depositan sustancias tóxicas, azúcares, aminoácidos e iones de importancia como el potasio (K^+)

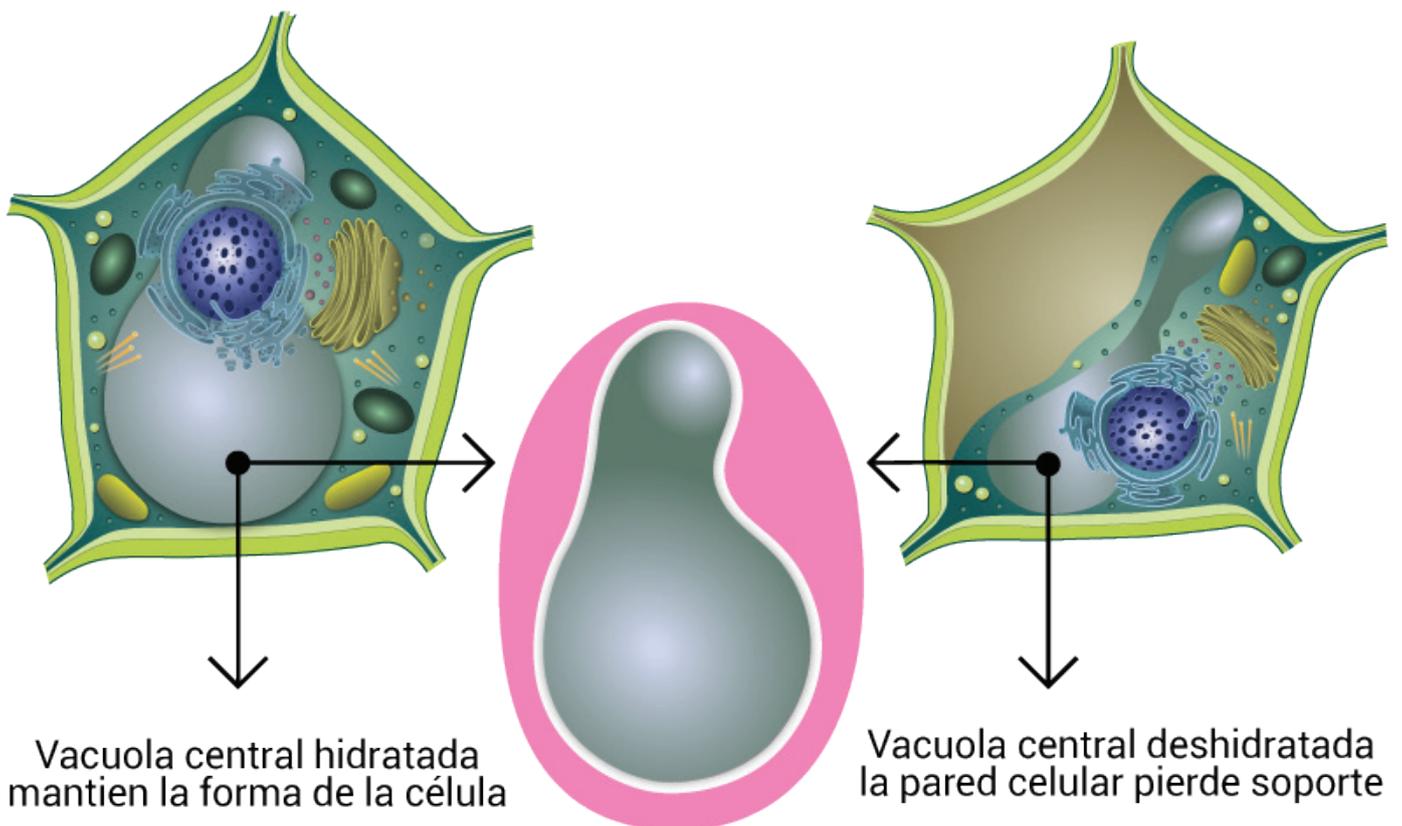


Figura 14. Vacuola



1.11. Peroxisomas

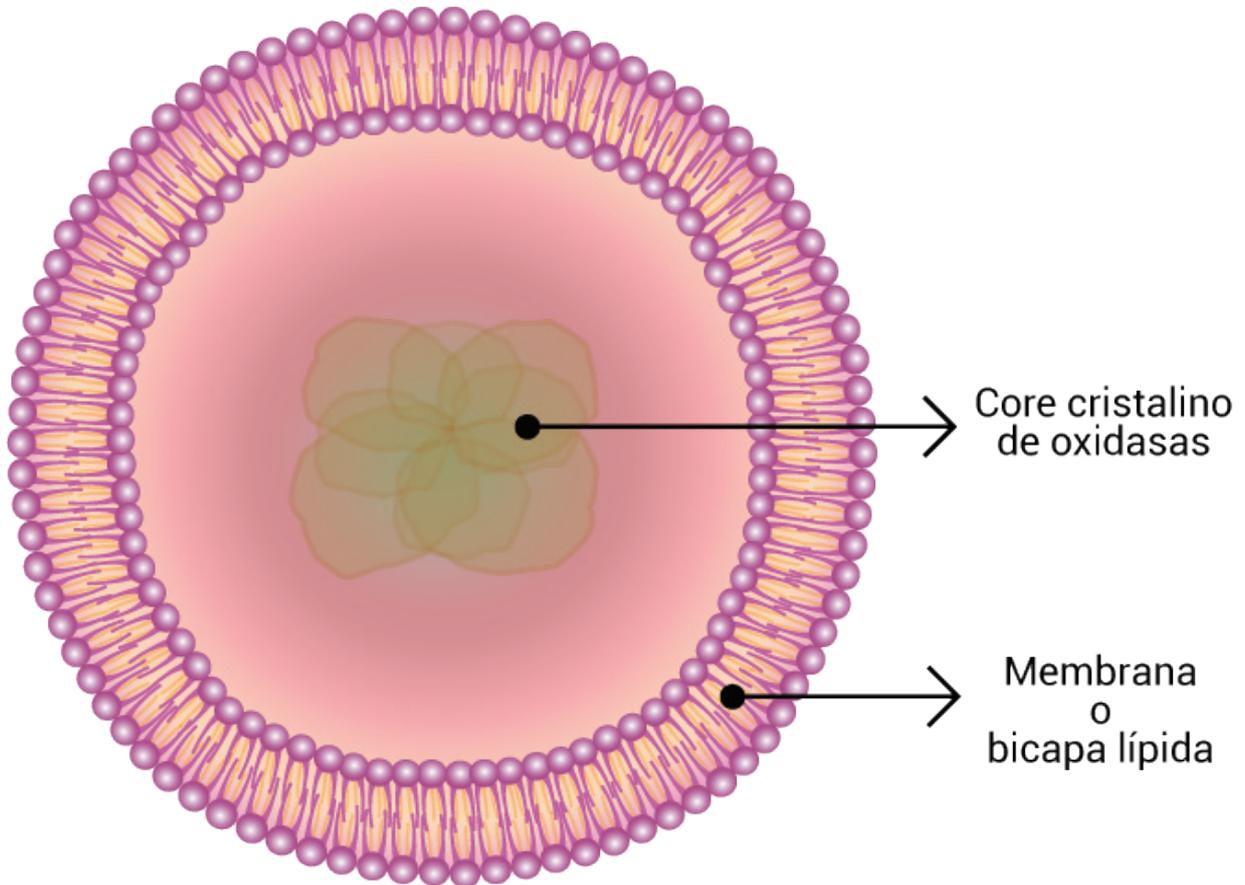


Figura 15. Peroxisoma

Los peroxisomas (**figura 15**) son cuerpos o corpúsculos que cuando se descubrieron fueron relacionados con su alta producción de peróxido de hidrógeno, sin embargo, se han reportado otras actividades fisiológicas para estos.

Dentro de sus múltiples funciones se encuentra la oxidación de lípidos, poliaminas y D-aminoácidos, detoxicación de renobióticos (ej. etanol), metabolismos de la lisina y ácido pipecólico, biosíntesis de isoprenoides, producción de radicales libres, termogénesis y rol antioxidante.

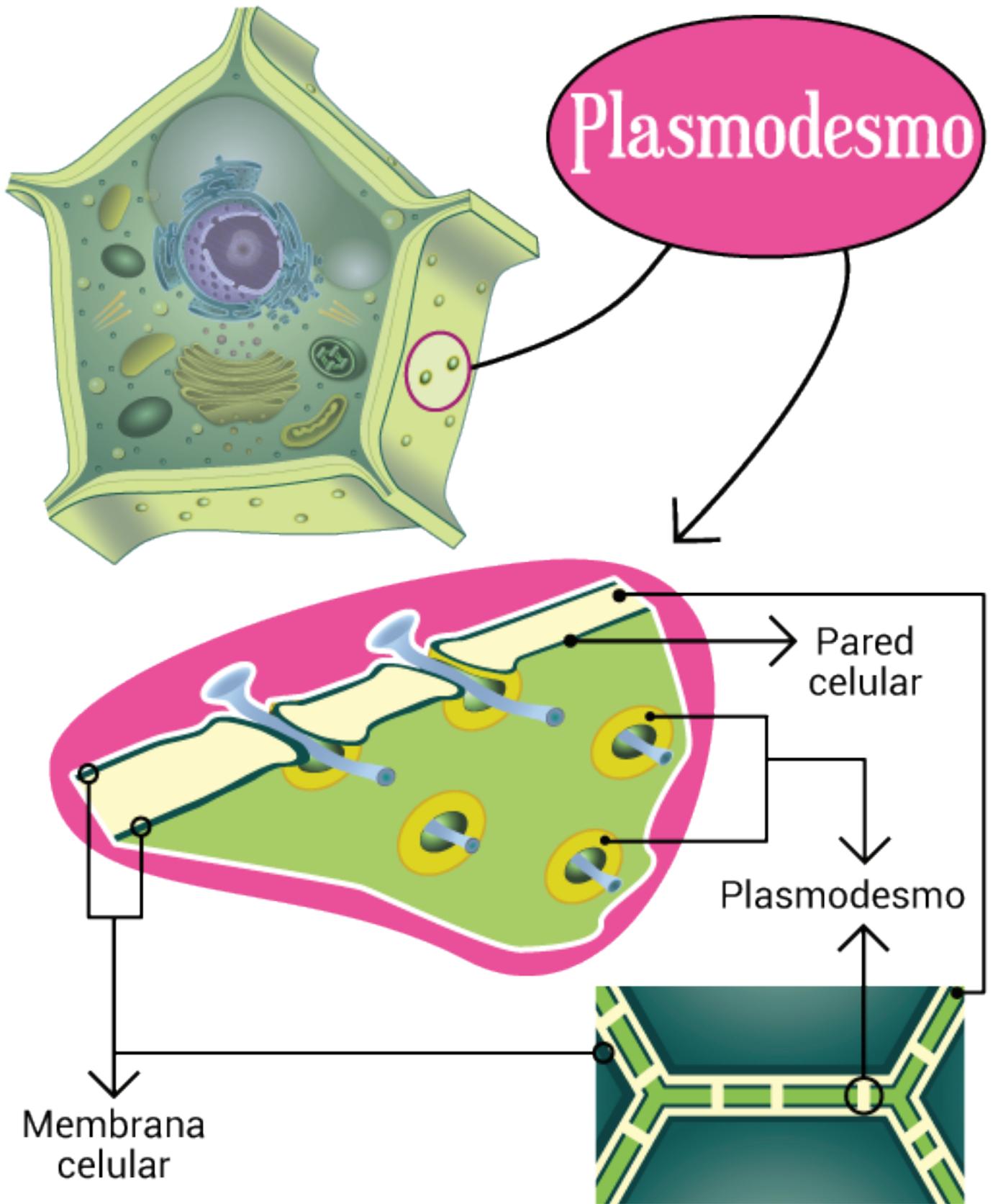
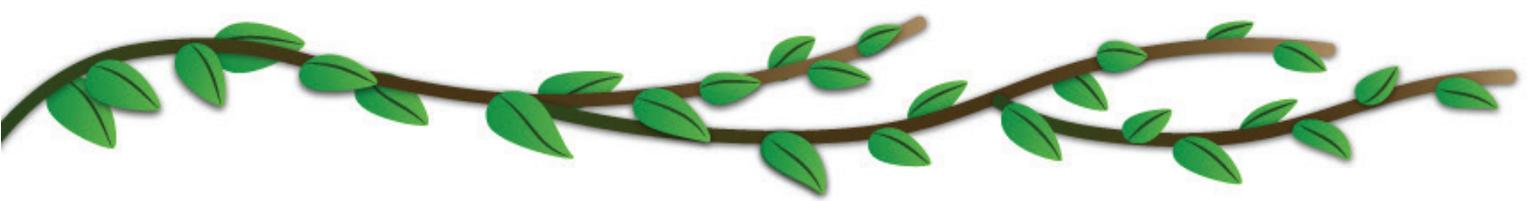


Figura 16. Plasmodesmo





1.12. Plasmodesmo

El plasmodesmo permite la comunicación intercelular. Esta estructura compleja nace de un desmotúbulo del retículo endoplasmático que atraviesa la membrana y la pared celular (**figura 16**).

Así facilita el flujo de macromoléculas a través de los citoplasmas de células, las cuales permiten la entrada de compuestos como agua, nutrientes, metabolitos, reguladores de crecimiento y macromoléculas.

Los plasmodesmos pueden ser primarios o secundarios. Los primarios son los que se forman durante la división celular. Los plasmodesmos secundarios se forman post división celular. Además, pueden ser simples o ramificado sin embargo, esto depende de la madurez y tejido.

1.13. Citoesqueleto

El citoesqueleto le confiere a la célula forma, soporte, movimiento y división celular (**figura 17**). De tal manera, es el sostén celular y la vía para el transporte de elementos y moléculas de uso intracelular.

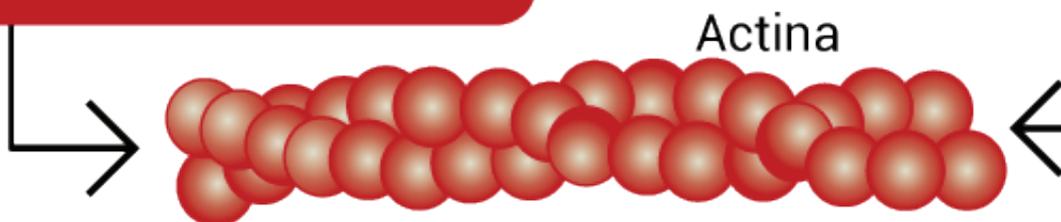
Enzimas, macromoléculas y organelos en su mayoría se encuentran sujetos al citoesqueleto.

El citoesqueleto está constituido de fibras protéicas delgadas (microfilamentos), de grosor mediano (filamentos intermedios) y gruesos (microtúbulos) (**figura 18**).

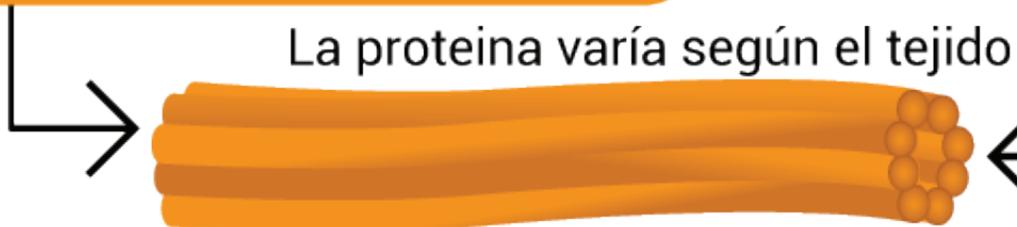




Microfilamentos



Filamentos intermedios



Microtúbulos



Figura 18. Componentes del citoesqueleto



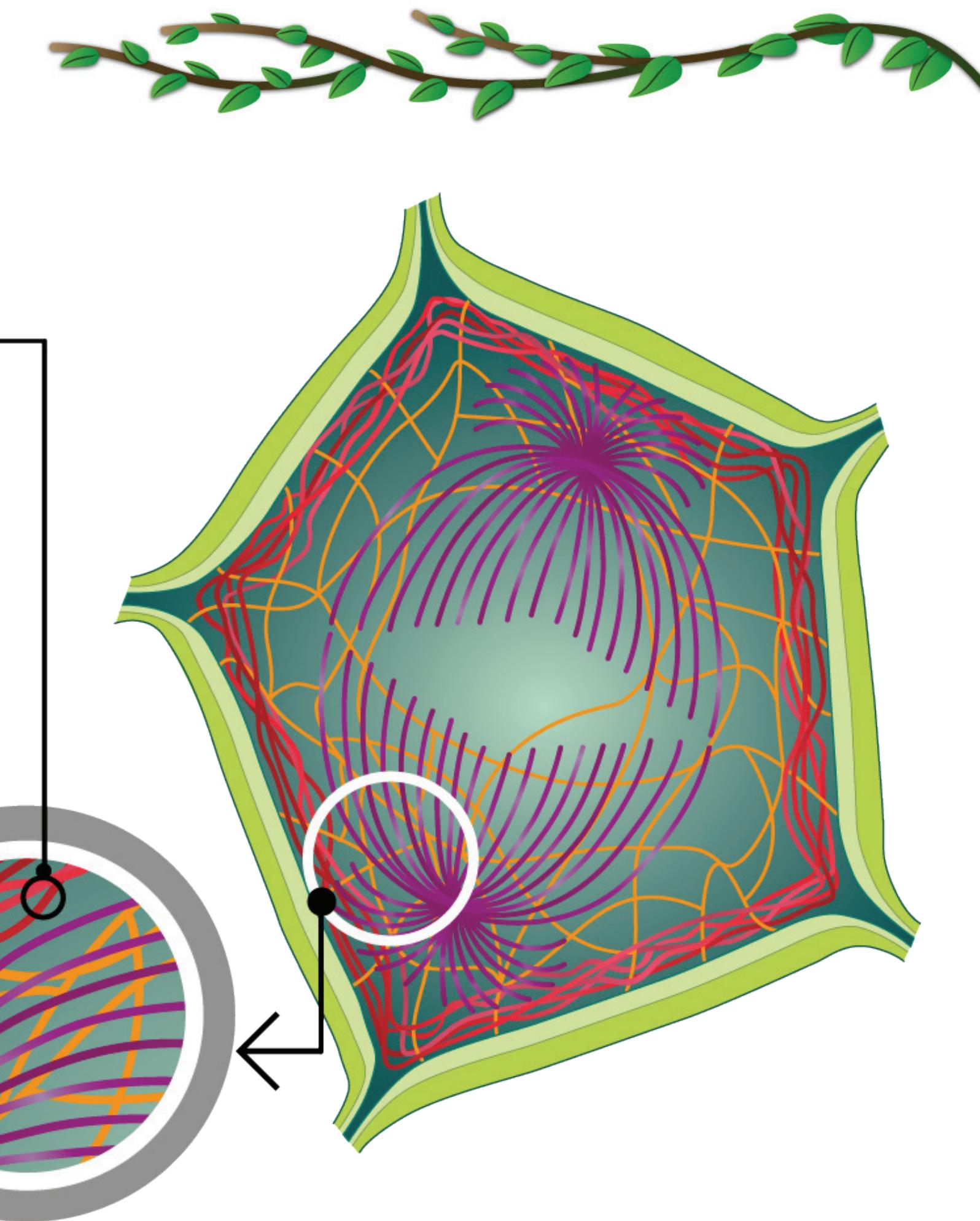


Figura 17. Citoesqueleto



Capítulo 2

Meristemo

MERISTEMO

2. Meristemo

El meristemo es el tejido vegetal que presenta la primera parte del desarrollo de la planta, constituido por un cúmulo de células indiferenciadas en constante y rápida división. Esto no solo permite aumentar el número de células, sino perpetuar al individuo, pues un grupo de células indiferenciadas continúan en división.

Las angiospermas se encuentran constituidas por estructuras determinadas (hojas, flores y frutos) e indeterminadas (tallo y raíz). Las estructuras indeterminadas se desarrollan directamente del meristemo apical del tallo (MAT) y meristemo apical de la raíz (MAR), por lo que crece indefinidamente (figura 19).

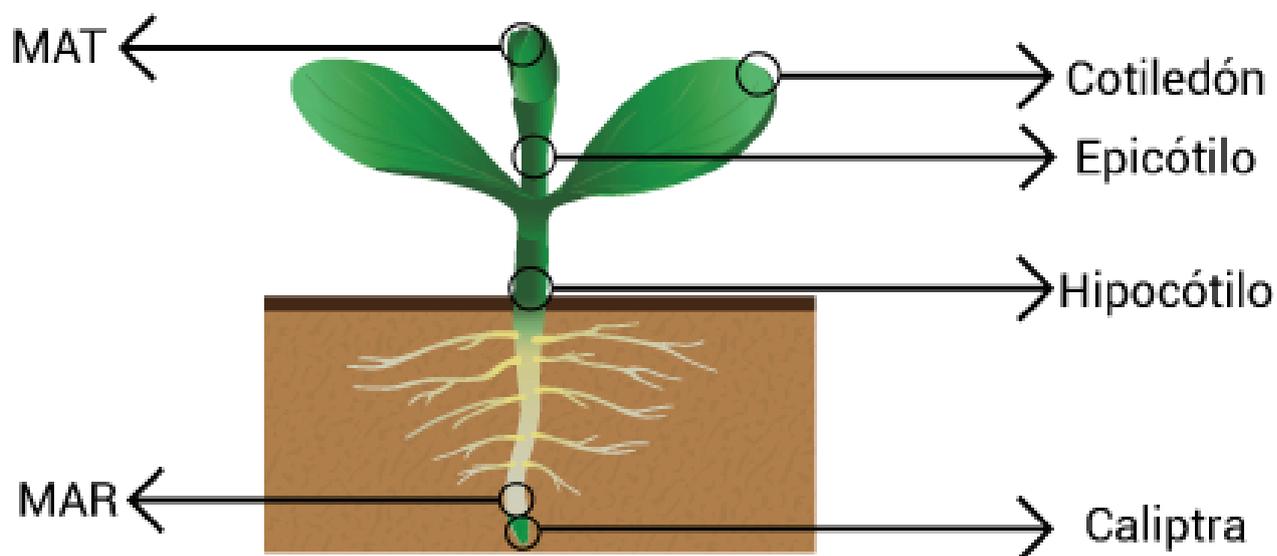
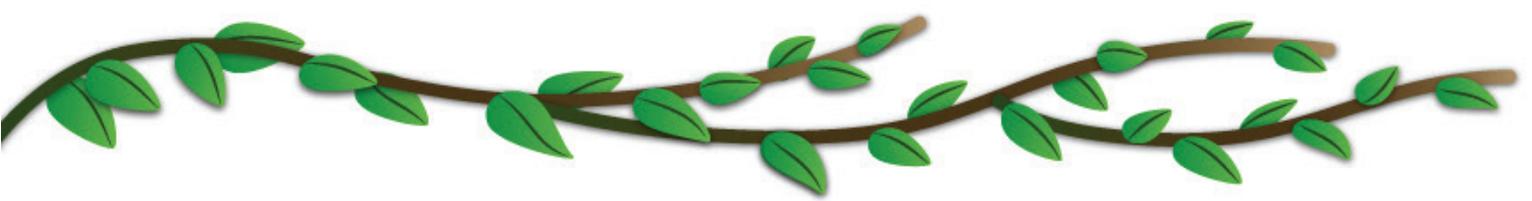


Figura 19. Estructuras indeterminadas: MAT y MAR



Sumado a esto, las células meristemáticas se consideran las más totipotentes. La totipotencia es la capacidad que tienen algunas células o tejidos de regenerar un individuo completo e idéntico a su progenitor, a través de procesos mitóticos. Por tal motivo, se le denomina clonación, ya que no existen fenómenos de recombinación génica; sin embargo, pueden ocurrir variaciones somaclonales asociadas a mutaciones.

2.1. Células meristemáticas

Generalmente, las células meristemáticas poseen una capa delgada de pared celular primaria y forma irregular con tendencia isodiamétrica, excepto las células del cambium vascular que son fusiformes.

A nivel intracelular, contiene proplastidios, a diferencia del cambium suberoso, donde hay cloroplastos. Además, el retículo endoplasmático es de menor tamaño y con abundantes ribosomas libres; el núcleo ocupa la mayor parte del volumen celular, el complejo de Golgi está más desarrollado y posee pequeñas y abundantes vacuolas, y un protoplasma desprovisto de inclusiones (**figura 20**).

2.2. División celular meristemática

En el proceso de división celular del meristemo, la citocinesis permite separar las células hijas en el punto de crecimiento o nicho de células troncales. Durante este proceso se da la formación de una placa celular o tabique separador. Esto condiciona la forma de los meristemos y, consecutivamente, los tejidos.





La tabicación perpendicular al eje del meristemo y órgano donde se encuentra va a conformar meristemos en fila o hileras paralelas mediante tabicaciones al eje longitudinal. Esto permite generar cilindros como la raíz y la médula del córtex del tallo.

Cuando la tabicación corresponde a dos planos perpendiculares entre sí, forman un meristemo en placa o laminar, conocido como láminas celulares, ejemplo, la hoja

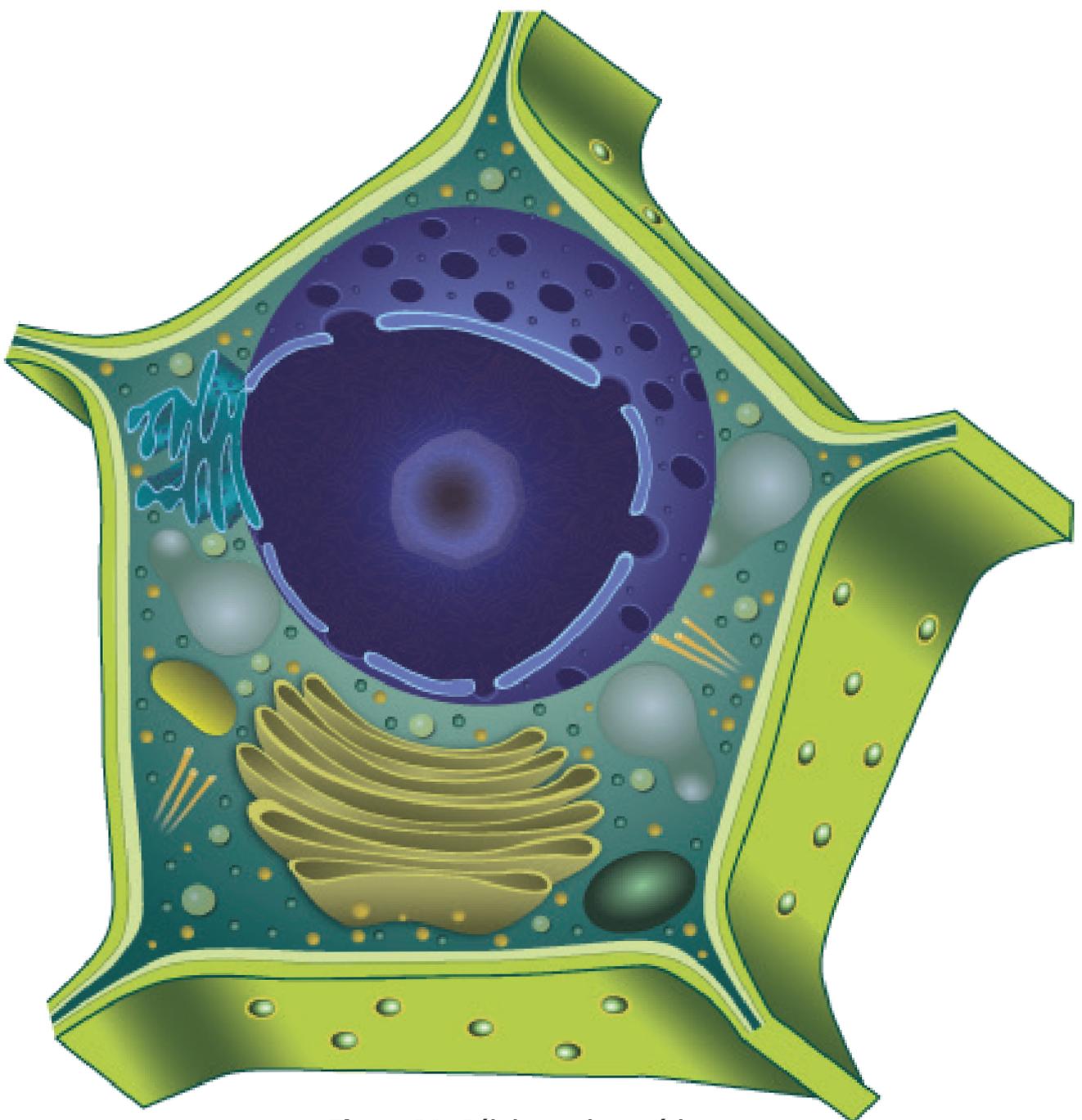
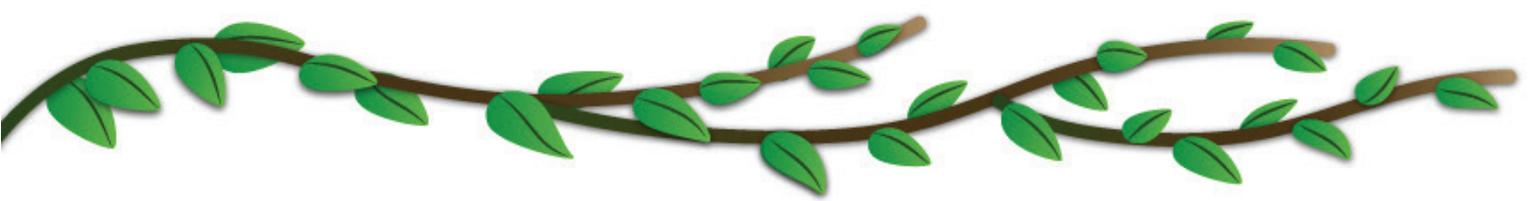


Figura 20. Célula meristemática



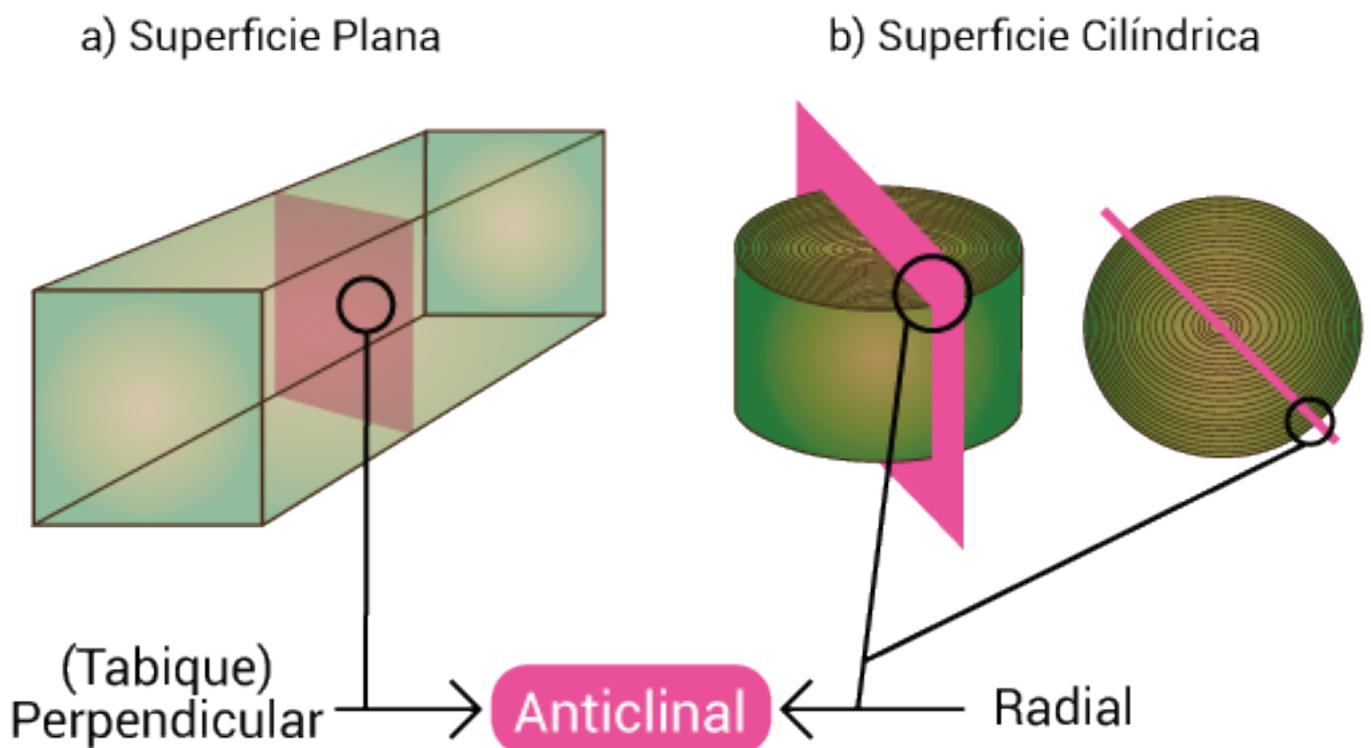


en las plantas. Los meristemos en fila y laminar son las formas básicas del cuerpo de la planta.

Al presentar tres planos de tabicación que entre sí son perpendiculares, el crecimiento es en masa y de forma esférica, e.g., órganos reproductores de la planta. Aunque en ocasiones el meristemo crece más en una dirección que en otra, típico de los callos (tumores) en plantas con otro tipo de formas.

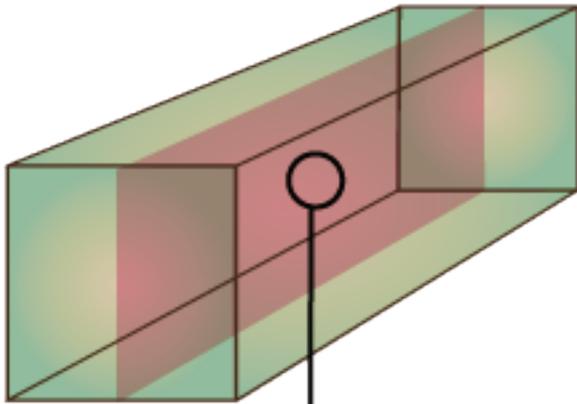
Al relacionar la posición del tabique respecto a la superficie vegetal, se observan dos tipos de tabicación: la tabicación anticlinal y la tabicación periclinal. La tabicación anticlinal se forma perpendicular a la superficie; y la tabicación periclinal, paralelo a la superficie.

En las porciones cilíndricas de las plantas, también se utiliza el término radial para referirse a anticlinal y tangencial o transversal a periclinal (**figura 21**).





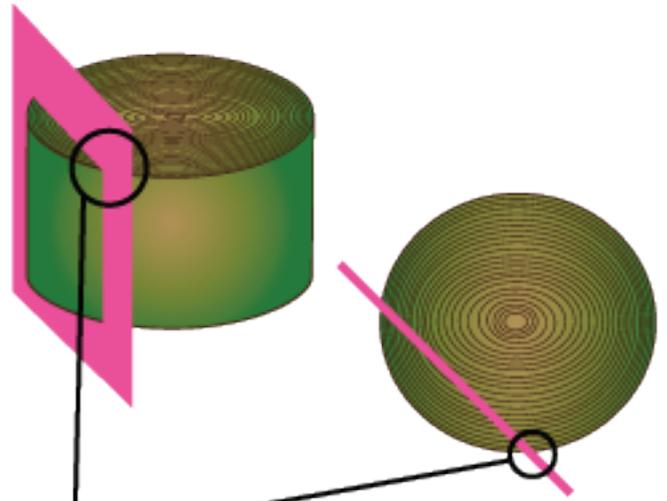
a) Superficie plana



(lobrique)
Paralelo

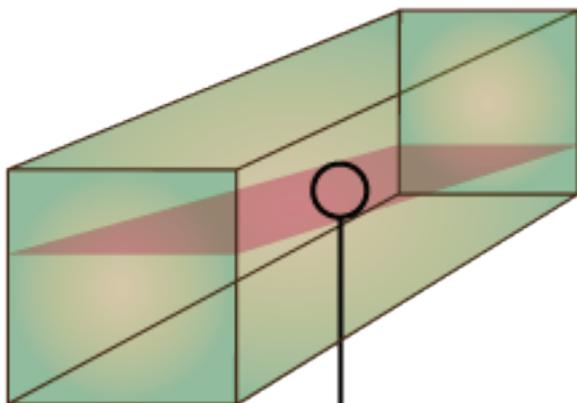
Periclinal

b) Superficie cilíndrica



Tangencial

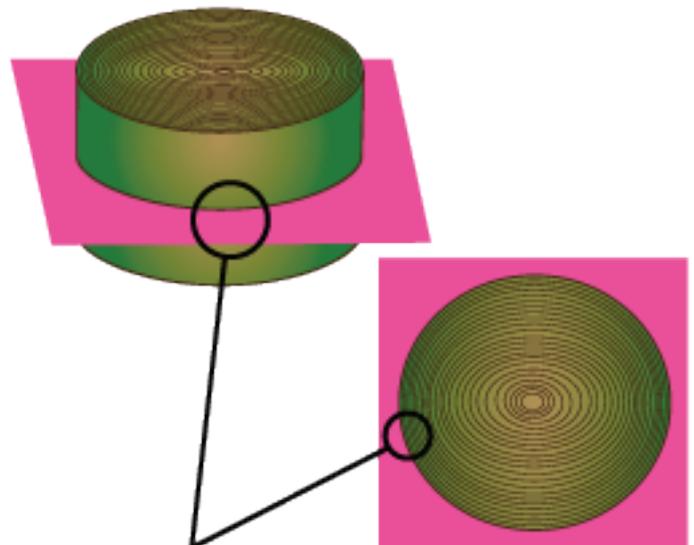
a) Superficie Plana



(Tabique)
Perpendicular

Anticlina

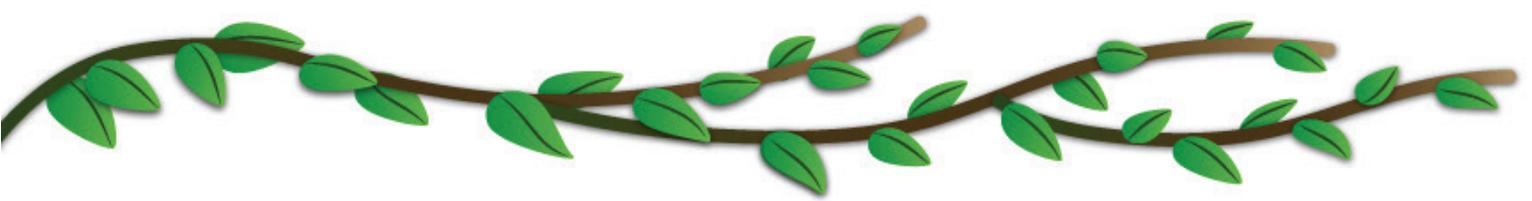
b) Superficie Cilíndrica



Transversal

Figura 21. Planos de división celular meristemática: superficial y radial





2.3. Clasificación de meristemos

En las plantas, principalmente las angiospermas, se utilizan dos términos para referirse a los meristemos:

1. Meristemos apicales.
2. Meristemos axiales.

Estos tipos de meristemos constituyen el cuerpo primario de la planta (**figura 22**). Los meristemos apicales se dividen en meristemo apical del tallo y meristemo apical de la raíz, denominados de crecimiento primario.

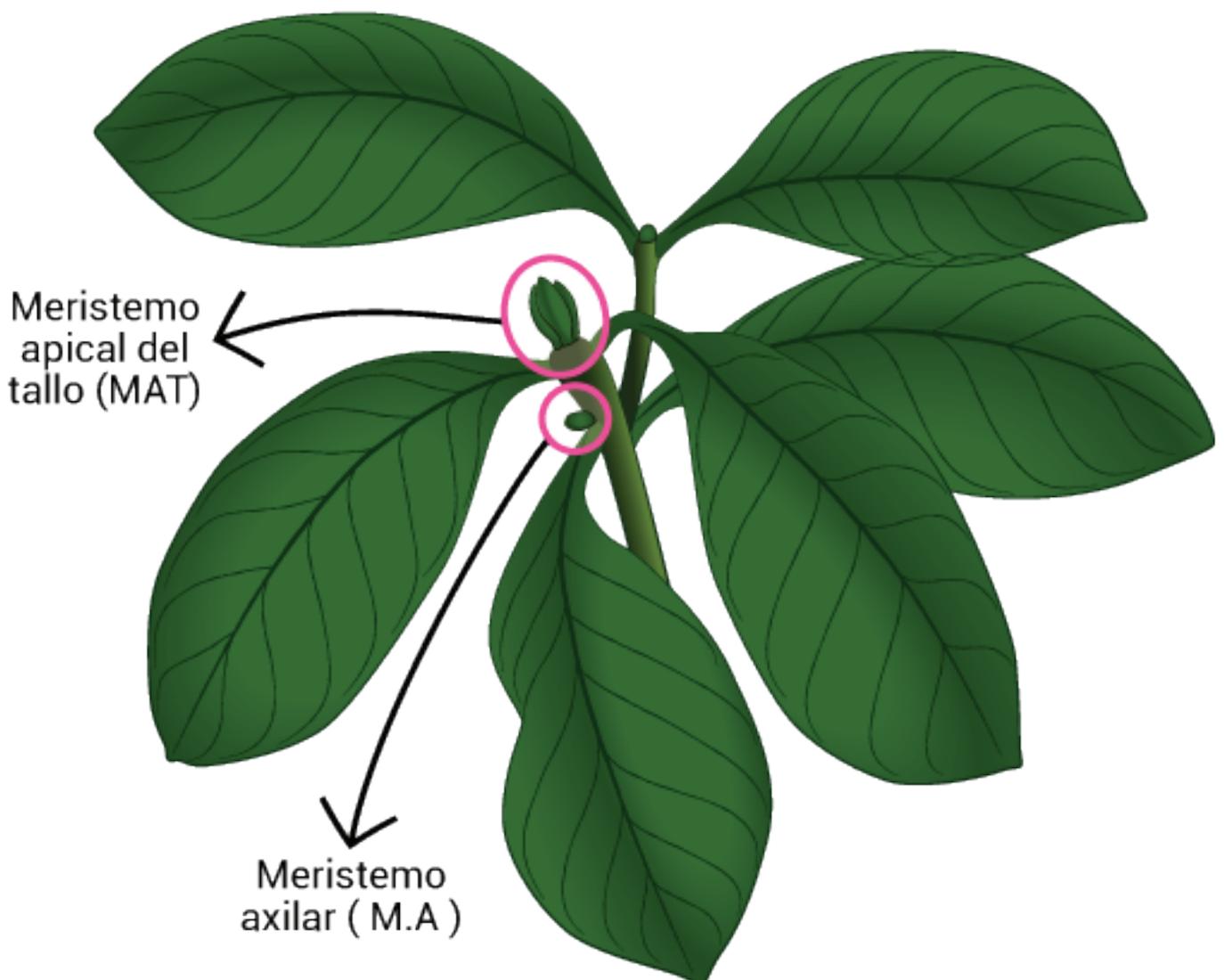


Figura 22. Meristemo apical del tallo y meristemos axilar





Desde la embriogénesis, formación del cigoto y el embrión, se da inicio a la conformación de la célula apical que, sometida a divisiones constantes, lleva a la estructuración de los tejidos meristemáticos como MAT y MAR (**figura 19**).

2.4. Crecimiento primario: MAT y MAR

Los meristemos apicales que permiten el crecimiento primario forman el cuerpo primario (raíces, tallos y hojas). El cuerpo primario está constituido por sistema de tejidos (dérmico, vascular y fundamental) que desde el embrión implican el proceso de desarrollo de la planta.

El sistema dérmico involucra la epidermis que cubre y protege a la planta, y, en especies con engrosamiento secundario, la peridermis cumple esta función.

El sistema vascular comprende los tejidos conductores, xilema y floema, de origen primario o secundario. El sistema fundamental contiene el parénquima, colénquima y esclerénquima.

2.4.1. Crecimiento modular del cuerpo primario

Conforme al crecimiento de los meristemos apicales, el cuerpo primario se genera de forma modular (metámeros). Así, durante el desarrollo se producen más metámeros.

El módulo o metámero originado del MAT, conocido como fitómero, comprende un órgano lateral (la hoja), un nudo, al que se une la hoja, y un meristemo axilar, localizado en la axila de la hoja (**figura 23**)

La filotaxia determina la posición de la hoja en el fitómero y sigue un modelo o patrón en espiral o verticilado. El modelo filotáxico en espiral es regular de acuerdo al ángulo de las hojas.



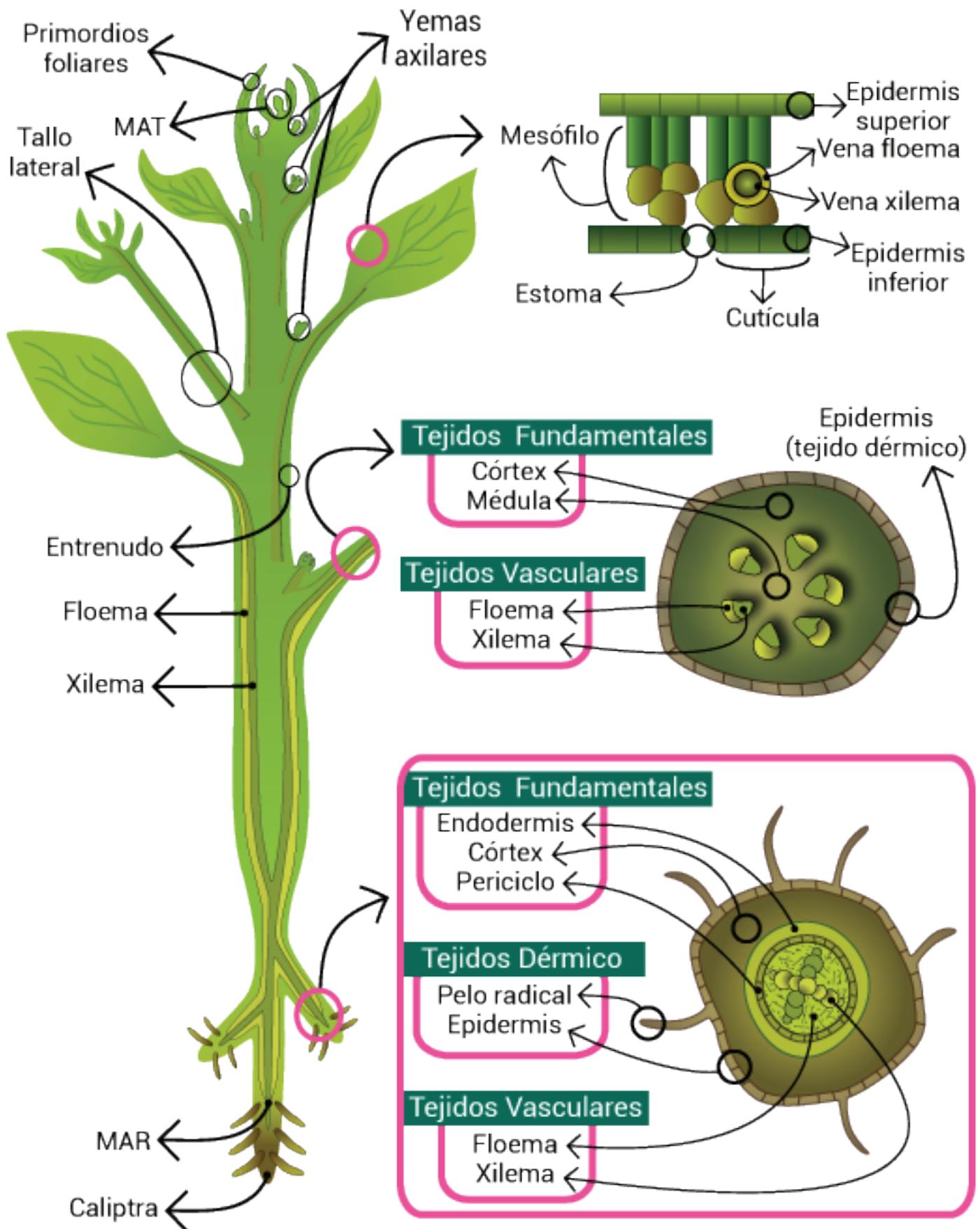


Figura 23. Crecimiento primario de una eudicotiledónea



No obstante, en un verticilo se puede presentar en el fitómero de una hoja (modelo dístico), dos hojas (modelo decusado) o tres o más hojas (verticilada típica).

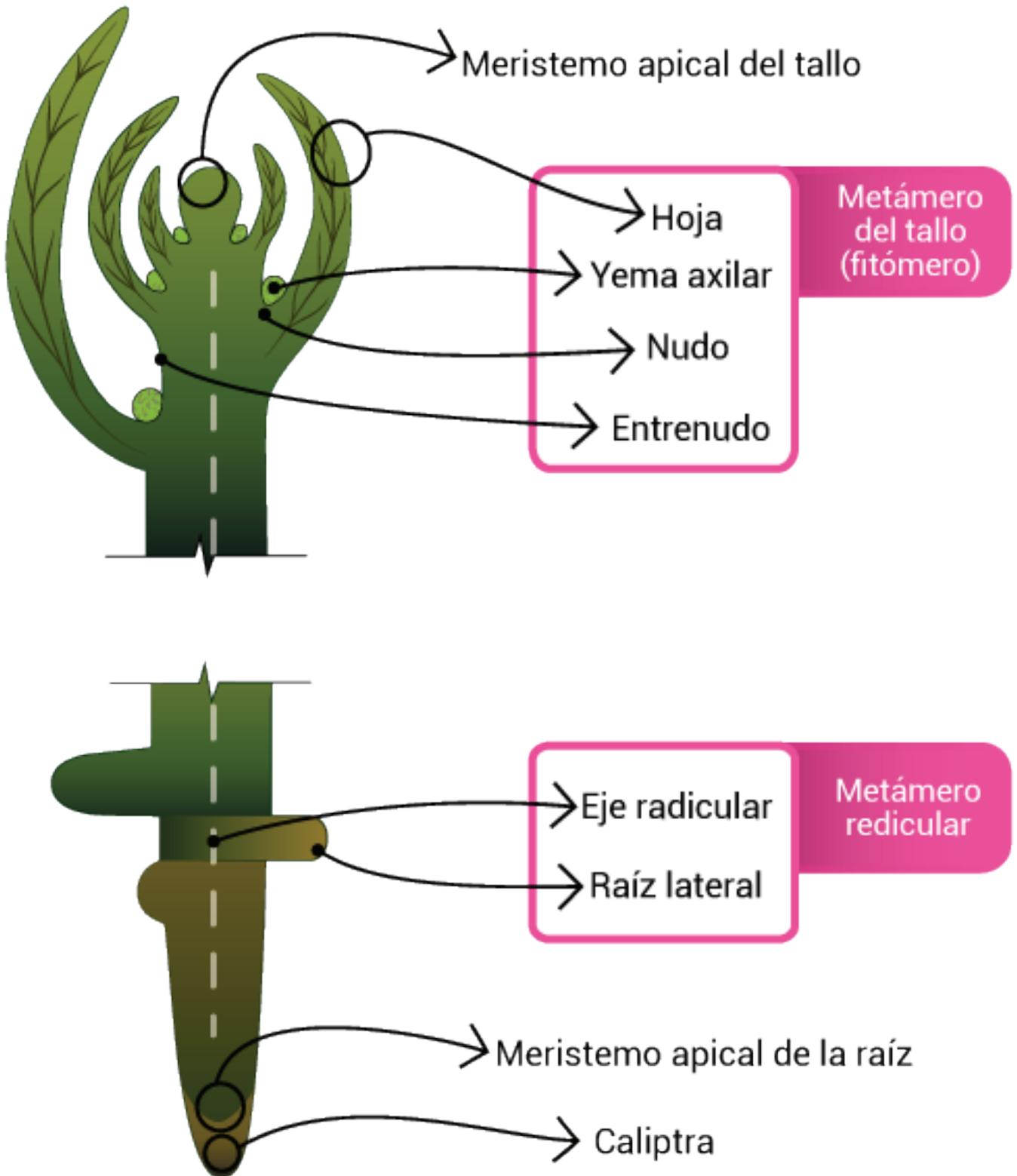


Figura 24. Formación del cuerpo primario a través de metámeros





Además, la ramificación del tallo principal depende del crecimiento del ápice caulinar. Cuando el crecimiento del ápice es mayor que el de las yemas axilares respectivas, se produce una ramificación monopódica. Pero si ocurre al contrario, donde las yemas axilares dominan sobre la porción apical, es una ramificación simpódica.

En el metámero radicular, el MAR genera las células que constituyen la caliptra (**figura 24**). La caliptra es una capa externa que protege al MAR de la fricción y daño físico durante el crecimiento radicular. Adicionalmente, genera un mucilago que mejora las condiciones para su mantenimiento y conservación. El MAR no genera órganos laterales, a diferencia del MAT. Las raíces laterales se forman a partir de meristemos adventicios (primordios radiculares) que se diferencian en el periciclo.

2.4.2. Organización estructural y funcional de meristemos apicales

El meristemo apical es una estructura de ca. 100 μm de diámetro, en forma de domo, que agrupa entre 800 y 1.200 células pequeñas, con paredes delgadas y citoplasma normalmente denso. Los MAT y MAR se activan postembriogénesis durante la germinación. El MAT presenta una apariencia estratificada por tres capas: L1, L2 y L3.

La primera capa, L1, de una célula de grosor y la más externa, se divide en el plano anticlinal, perpendicular a la superficie. La segunda capa, L2, se divide en su mayoría en el plano anticlinal, excepto donde se originan los órganos, pues se realiza en el plano periclinal, paralelo a la superficie. Las células de la capa más interna, L3, presentan división al azar. La L1 y L2 forman la túnica y, la L3, el corpus del meristemo (**figura 25**).



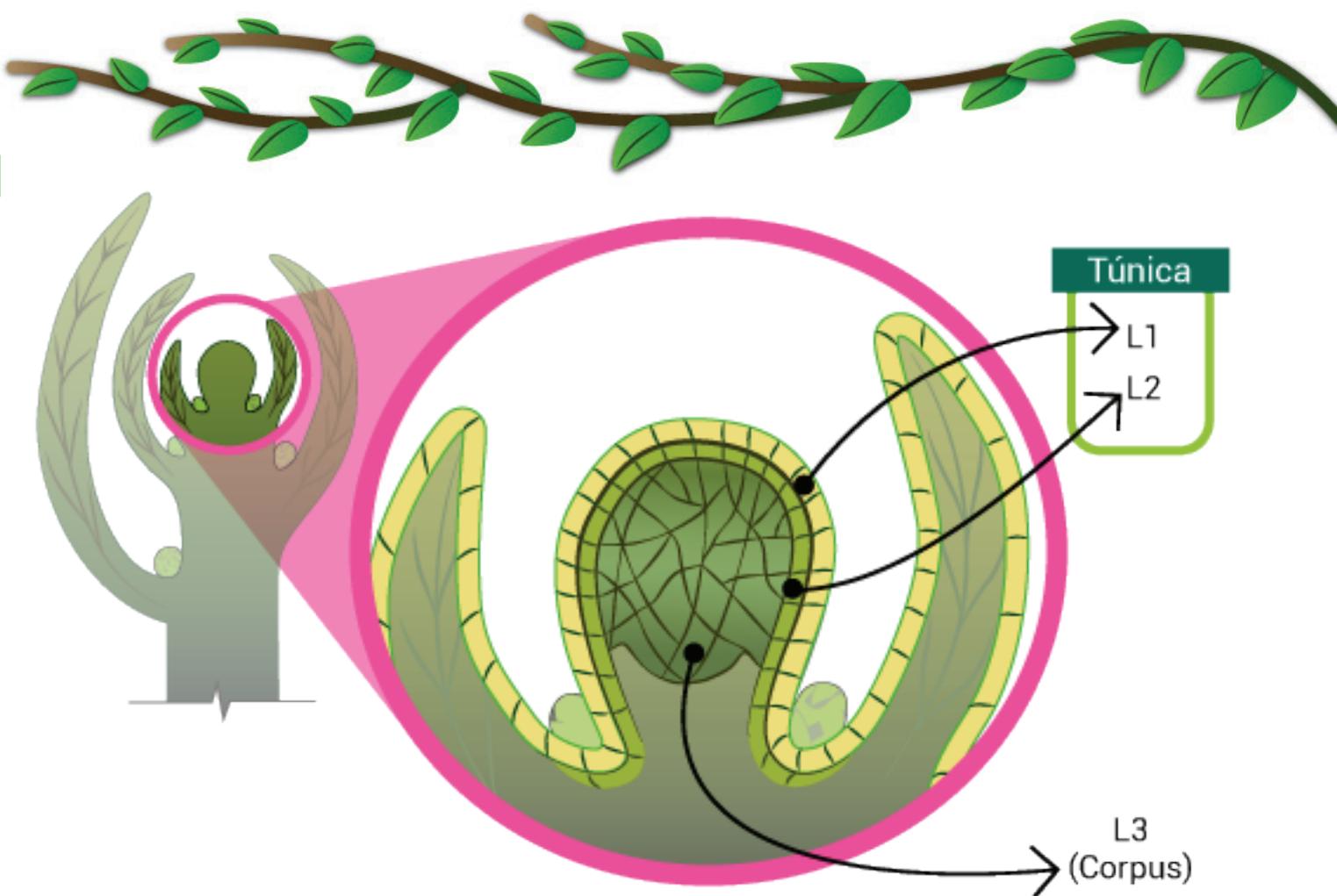


Figura 25. Meristemo apical del tallo: túnica (L1, L2) y corpus (L3)

Sumado a lo anterior, el meristemo apical se puede dividir en 3 zonas: zona central (ZC), zona periférica (ZP) y zona medular (ZM). La ZC posee las células más grandes, con núcleos prominentes, vacuoladas, y su división celular es en menor proporción. Esta zona es el nicho de las células troncales del meristemo donde actúa como organizador celular para la ZP y la ZM. La función de la ZP es la formación de órganos laterales, como primordios foliares, yemas axilares y yemas florales. La ZM origina las células de la parte central del tallo y los tejidos vasculares. Cabe mencionar que en la base de la ZC se encuentra un depósito de células conocido como el centro organizador, que mantiene su crecimiento.

Cuando una célula abandona la ZC, deja de recibir señales específicas del centro organizador para formar la ZP o la ZM y, consecuentemente, sigue una ruta específica que implica la diferenciación (**figura 26**).

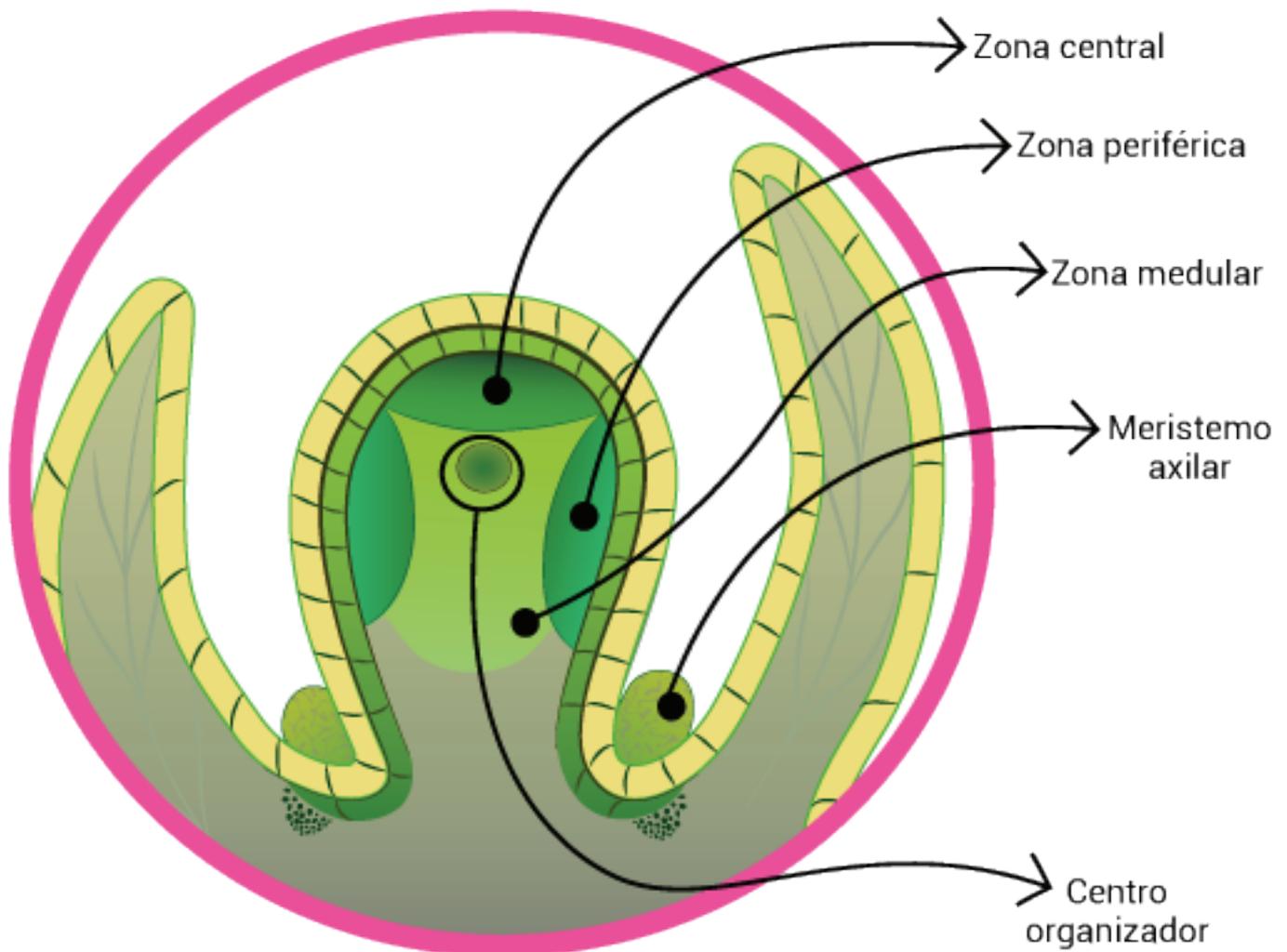
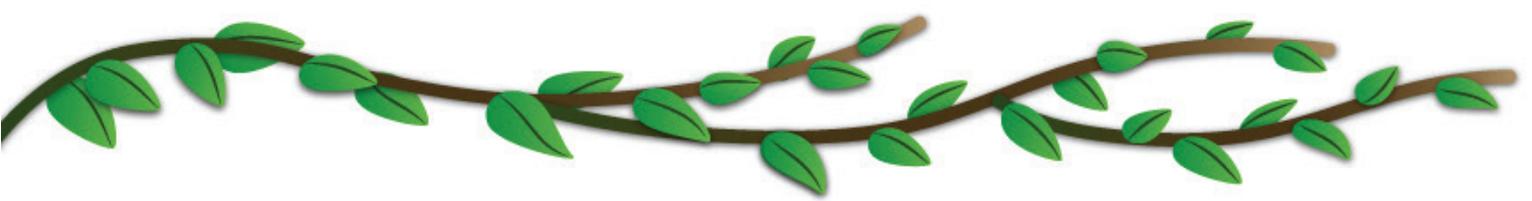


Figura 26. Componentes del ápice caulinar: zona central (ZC), zona periférica (ZP) y zona medular (ZM)

El MAR está cubierto por la caliptra, de modo que su posición no es terminal. Las células iniciales o nicho de células troncales están alrededor del centro quiescente (CQ), conformado por una o cuatro capas de células. El CQ regula la indiferenciación de las células troncales. Las células que se separan hacia el ápice forman la caliptra y, por encima, hacia la porción basal, constituyen la típica raíz primaria que va a tener la epidermis, córtex y cilindro central (**figura 27**).





El MAR no forma órganos laterales, ya que las raíces laterales se diferencian en el periciclo. En el periciclo ocurren divisiones anticlinales asimétricas, que siguen un patrón de formación de los primordios de las raíces laterales, igual a la estructura del MAR.

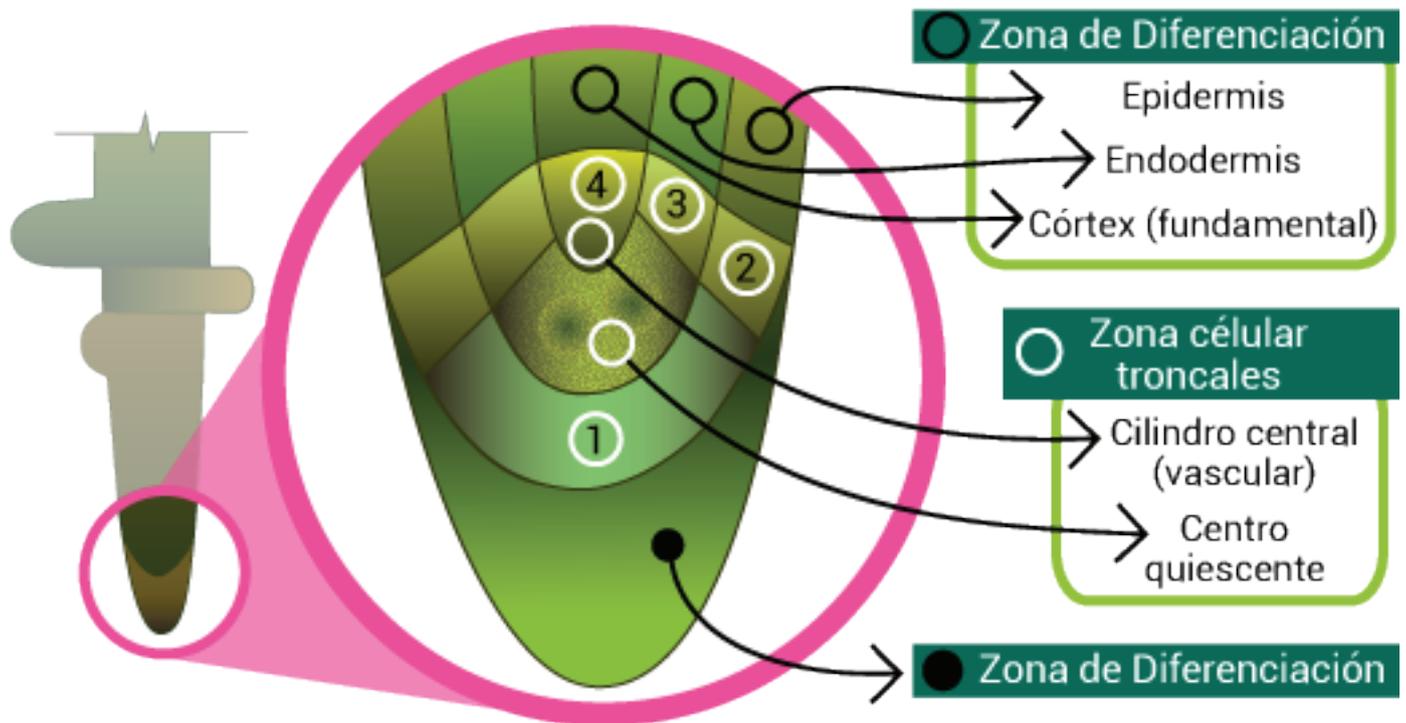


Figura 27. Meristemo apical de la raíz (MAR). CQ: Centro quiescente

2.5. Cuerpo secundario: cambium vascular

El crecimiento secundario proporciona el grosor a la planta. Esta actividad se da por dos meristemos: el cambium vascular, que origina el floema y xilema secundarios, y el cambium del felógeno, que forma el tejido protector como la peridermis, que en su porción más externa se denomina súber y que reemplaza la epidermis (**figura 28 A,B**). El cambium es denominado meristemo secundario o lateral o, en algunos casos, meristemo intercalar, puesto que se sitúa entre las células, que derivan de su actividad mitótica. En cuanto a la división celular ocurre de manera tangencial (periclinal) y con un crecimiento radial.



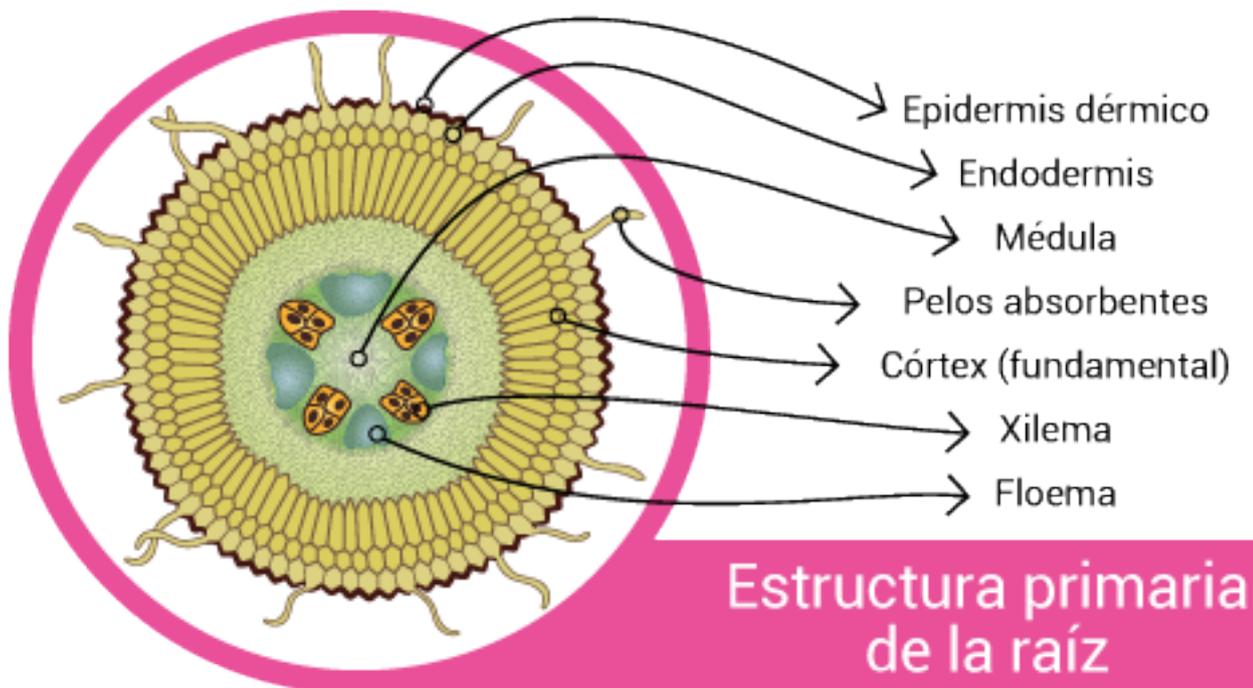
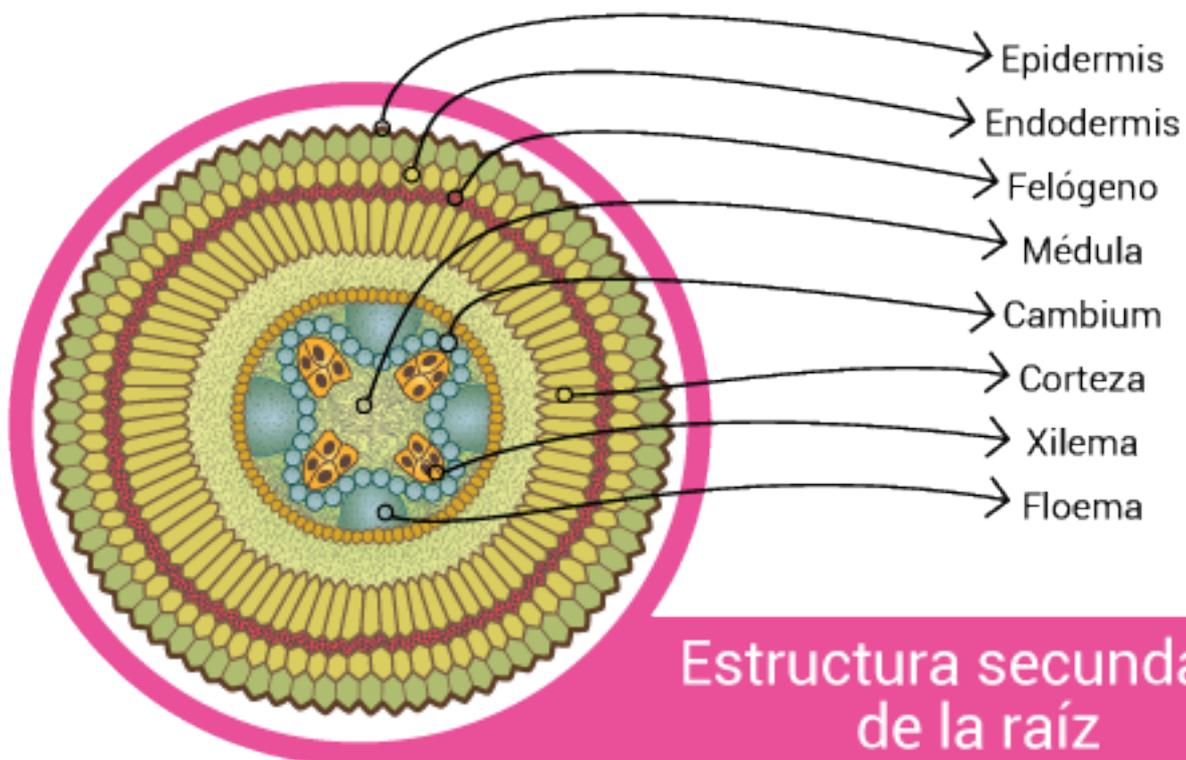
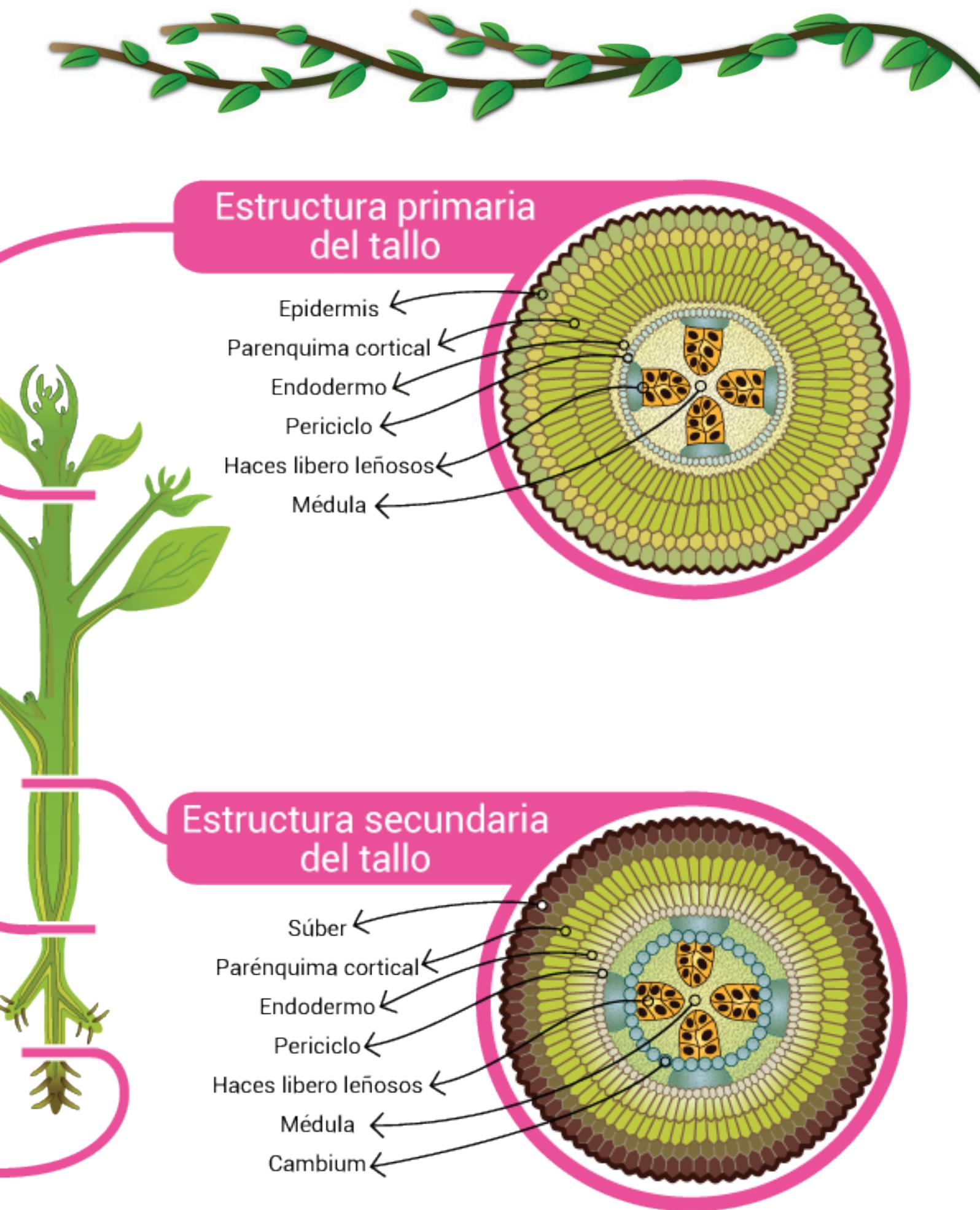


Figura 28. A) Cambium vascular - Tallo con crecimiento Secundario



Estructura primaria del tallo

- Epidermis
- Parenquima cortical
- Endodermo
- Periciclo
- Haces libero leñosos
- Médula

Estructura secundaria del tallo

- Súber
- Parénquima cortical
- Endodermo
- Periciclo
- Haces libero leñosos
- Médula
- Cambium

Figura 28. B) Cambium vascular - Raíz con crecimiento Secundario

The background features a collage of microscopic tissue patterns. On the right side, there is a dense field of large, light-colored, rounded cells. On the left side, there are several irregular, blue-colored patches containing smaller, white, circular or oval structures, possibly representing glandular or ductal tissue. The overall composition is layered and textured.

Capítulo 3

Tejidos fundamentales:

parénquima,
colénquima y
esclerenquima

TEJIDOS FUNDAMENTALES

PARÉNQUIMA, COLÉNQUIMA Y ESCLERÉNQUIMA

3. Tejidos fundamentales: parénquima, colénquima y esclerénquima

Las plantas presentan diferentes tejidos que le permiten cumplir funciones vitales como las de adaptarse a las condiciones donde nacer, crecer, multiplicarse y/o reproducirse. Sin ellos no sería posible evolucionar o coexistir en los ecosistemas del planeta. Estos tejidos fundamentales se conocen como el parénquima, el colénquima y el esclerénquima.

3.1. Parénquima

Tejido vegetal constituido por células que no se encuentran totalmente diferenciadas y especializadas. Su forma es isodiamétrica, ramificada cuando es el parénquima esponjoso (hoja), e isodiamétrica alargada al formar parte del tejido conductor. Adicionalmente, forma parte del tejido de la médula y del córtex del tallo y raíz, el mesófilo foliar, el endospermo de la fruta y la semilla (**figura 29**).

El parénquima se considera como el precursor de tejidos indiferenciados, debido a la capacidad de reanudar su actividad meristemática en determinadas circunstancias. También da origen a los tejidos del colénquima y el esclerénquima. Por tal motivo, es el principal constituyente del tejido fundamental (colénquima, esclerénquima y parénquima).



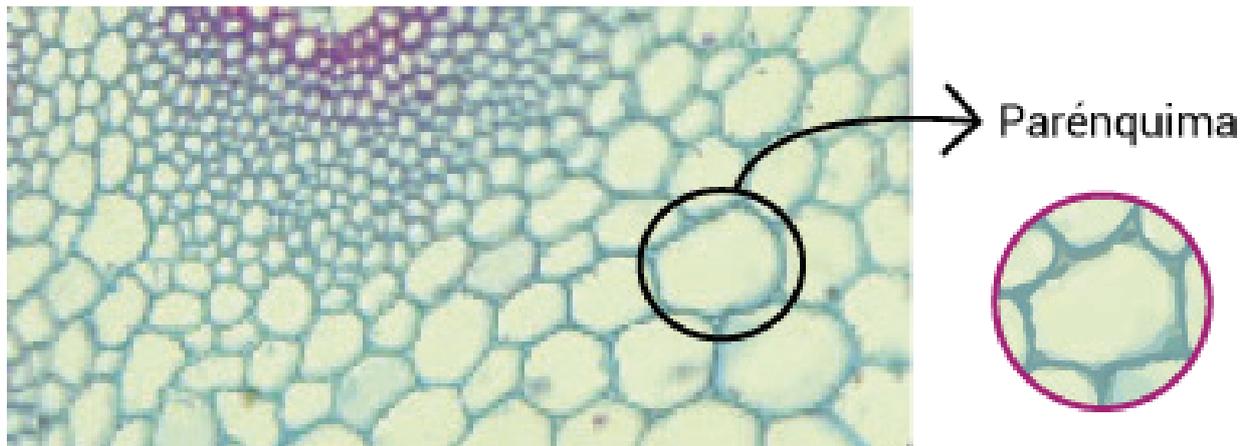
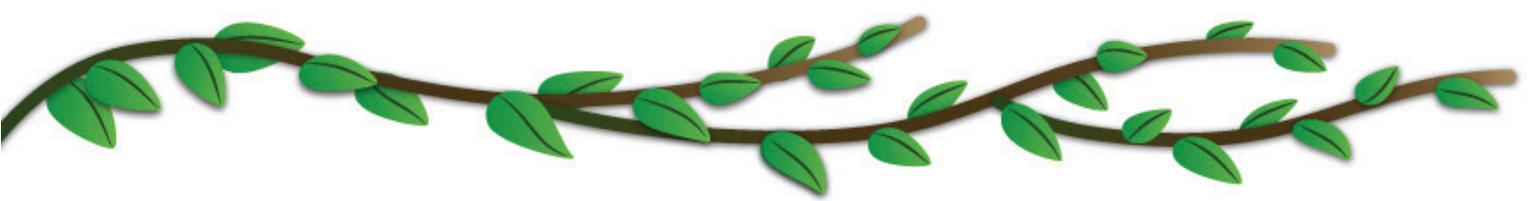


Figura 29. Parénquima del tallo. Foto: Miguel Bonilla-M.

3.1.1. Origen y estructura celular

El parénquima puede tener su origen en la médula, el córtex, el mesófilo foliar y floral. El tejido del cambium vascular primario y secundario proviene del procambium y del cambium vascular, respectivamente. En órganos maduros con crecimiento secundario, el parénquima se diferencia a partir del cambium suberoso o felógeno, que conforma la felodermis.

El tejido parenquimático se constituye de células vivas con pared celular primaria delgada. Las células parenquimáticas del xilema secundario pueden presentar una pared secundaria y una vacuola grande. Estos tejidos se encuentran asociados, lo que deja pocos espacios intercelulares, a excepción del parénquima esponjoso (aerénquima). Estos espacios pueden originarse por la separación de las células a partir de la lámina media o por lisis de algunas células.

3.1.2. Tipos de parénquima

Parénquima clorofílico o fotosintético: células que poseen abundantes cloroplastos (clorénquima) o cromoplastos (croménquima), se encuentra en el mesófilo de la hoja o tejido





vegetal, pero también en el parénquima del córtex de los tallos verdes. Por otro lado, el parénquima de reserva (no fotosintético) puede sintetizar y almacenar sustancias en forma líquida o sólida, normalmente en el jugo vacuolar, como granos de almidón, gránulos y cristales de proteína, gotas lipídicas y agua como principal fuente de almacenamiento en plantas xerofíticas; también almacenan aire (aerénquima). El jugo celular puede además contener azúcares y otros carbohidratos, aminoácidos, amidas y proteínas solubles.

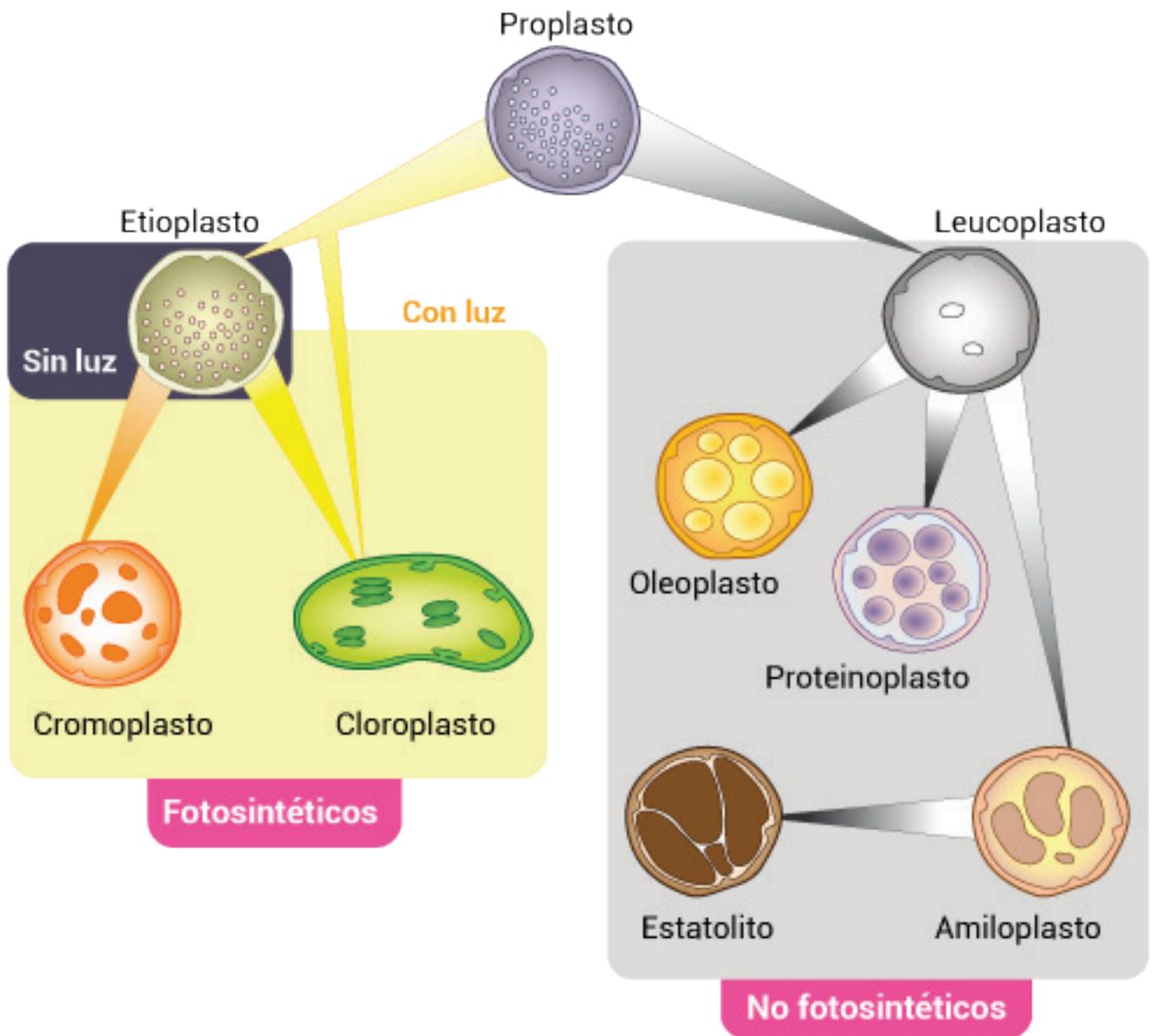


Figura 30. Desarrollo de plastidios en el parénquima fotosintético y parénquima de reserva





En el parénquima fotosintético o de reserva, los plastos experimentan un desarrollo particular (**figura 30**), por tal motivo, el proplastidio directamente, o antecediendo la etapa de etioplasto, puede formar el cloroplasto y se relaciona con el aumento en la clorofila. No obstante, al bajar la proporción de esta molécula y aumentar los beta-carotenos y otras, darán origen al cromoplasto. Por otro lado, los leucoplastos, carentes de fenómenos de fotosíntesis, y en función de la molécula que se almacene, dará origen a los amiloplastos (almidón, como en los tubérculos), oleoplasto (aceites, como en la semillas de girasol o cacay) o proteinoplastos (proteínas, en semillas de leguminosas cultivables).

El almidón es la reserva más frecuente de almacenamiento en la médula y el parénquima del córtex de semillas, frutos, tejidos conductores y en hojas de las dicotiledóneas; por su parte, en las monocotiledoneas los azúcares solubles son la principal reserva nutricional.

3.2. Colénquima

En su madurez, este tejido presenta el protoplasma vivo. El colénquima presenta pared celulósica primaria con engrosamientos distribuidos de forma desigual, lo que suministra la fuerza de tensión y resistencia al estrés mecánico.

Las células que lo constituyen son alargadas, en sentido paralelo al eje principal del órgano en el que se encuentra. Las paredes celulares no se encuentran lignificadas, por lo que presentan alta extensibilidad, sin embargo, pueden perder el grosor de la pared y reanudar la actividad meristemática. Su función principal es la de dar soporte a los órganos en crecimiento por la alta resistencia de la pared celular.





3.2.1. Localización

Las células colenquimáticas pueden presentar diversas formas, son cilíndricas cerca de la periferia del tallo, o en forma de haces en el peciolo y el tallo (**figura 31**). No están presentes en raíces, excepto cuando se exponen a la luz, ni en estructuras con crecimiento secundario y puede ser sustituida por el esclerénquima.

En dicotiledóneas constituye el primer tejido de sostén en tallos, hojas y partes florales. Las monocotiledóneas no presentan este tipo de célula.

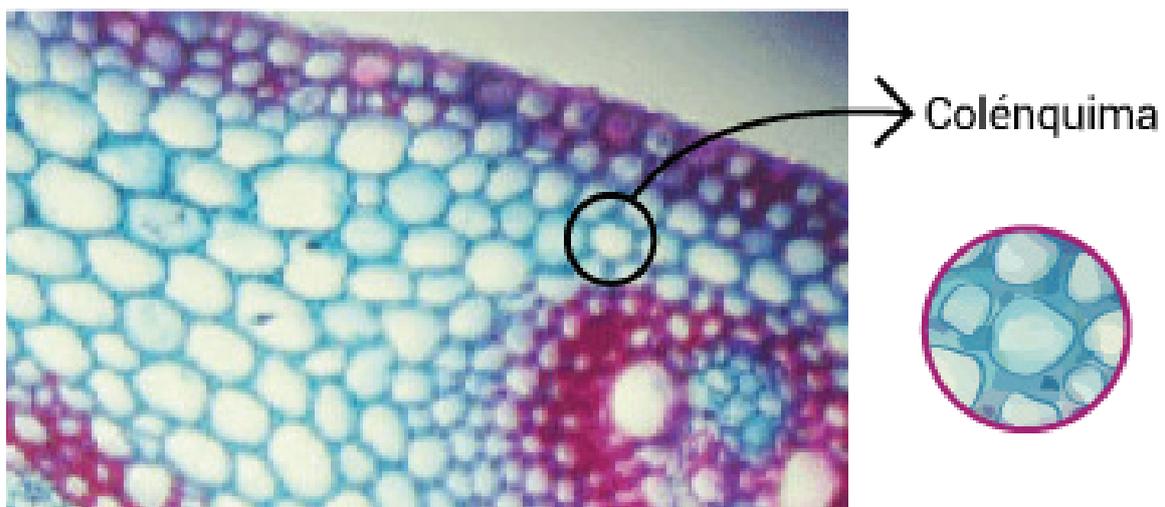


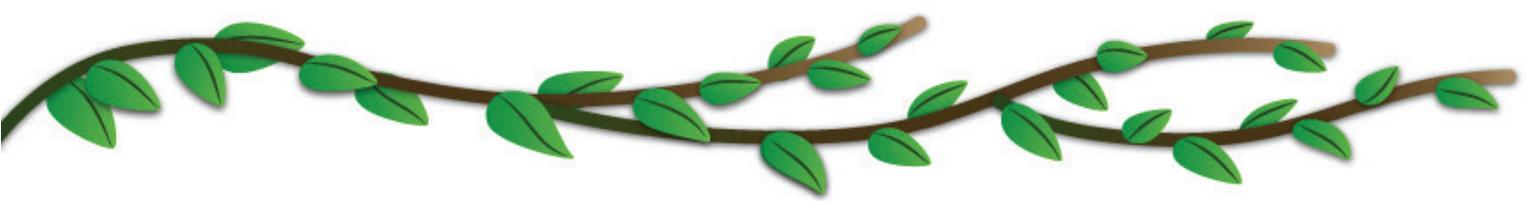
Figura 31. Colénquima del tallo. Foto: Miguel Bonilla-M.

Cuando el colénquima se presenta en posición periférica, como en tallos y hojas, puede aparecer bajo la epidermis o estar separado por capas parenquimáticas. Al estar en contacto directo con la epidermis, las paredes tangenciales pueden estar engrosadas al igual que las paredes del colénquima adyacente.

3.2.2. Estructura de la pared y tipos de colénquima

La pared celular del colénquima tiene pectina, hemicelulosa y celulosa, lo que le confiere resistencia y flexibilidad. Se distinguen





varios tipos de colénquima según el engrosamiento de la pared celular primaria, estos pueden ser: (a) colénquima angular, es el más abundante pues se encuentra en los ángulos donde confluyen las células, por lo que presenta pocos espacios intercelulares; (b) colénquima laminar, hace parte del engrosamiento de las paredes tangenciales, y es más prominente que en las paredes radiales y está ubicado bajo la epidermis; (c) colénquima lagunar, engrosamiento de las paredes alrededor de los espacios intercelulares; y (d) colénquima anular, engrosamiento uniforme alrededor de la célula (**figura 32**).



Figura 32. Colénquima de acuerdo al engrosamiento de la pared celular
Foto: Miguel Bonilla.

3.2.3. Función del colénquima

La principal función es dar resistencia mecánica a los órganos en crecimiento activo, debido a que pueden incrementar su espesor y la superficie de las paredes al mismo tiempo. Sus fibras son células extensibles, sin embargo, la extensibilidad se va perdiendo a medida que el tejido madura, pues se vuelve más duro y quebradizo.





3.3. ESCLERÉNQUIMA

Se caracteriza por sus células de pared gruesa y lignificada. Debido al crecimiento de la pared celular secundaria, en su madurez, el protoplasma es inerte, por tal motivo, sus células se consideran no vivas (**figura 33**).

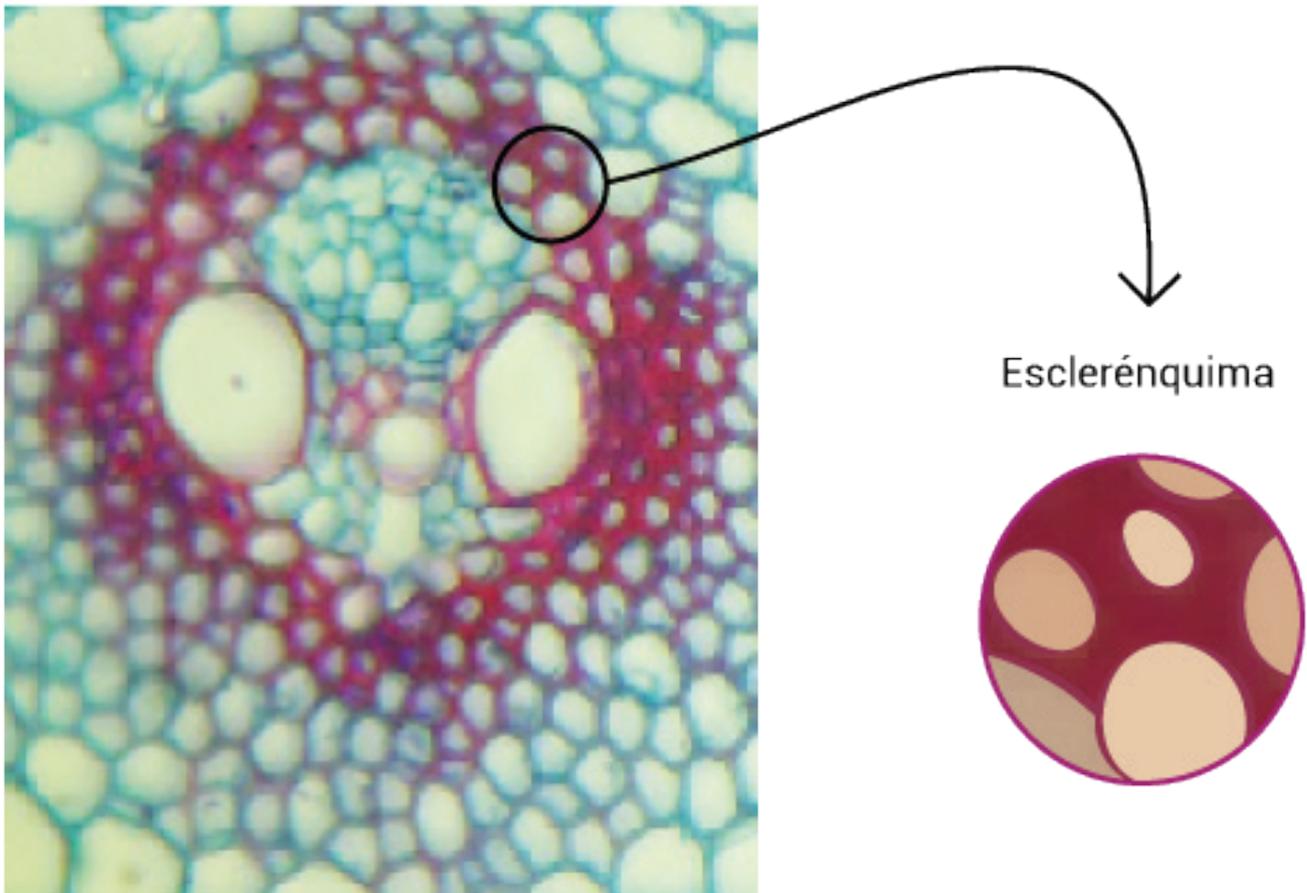
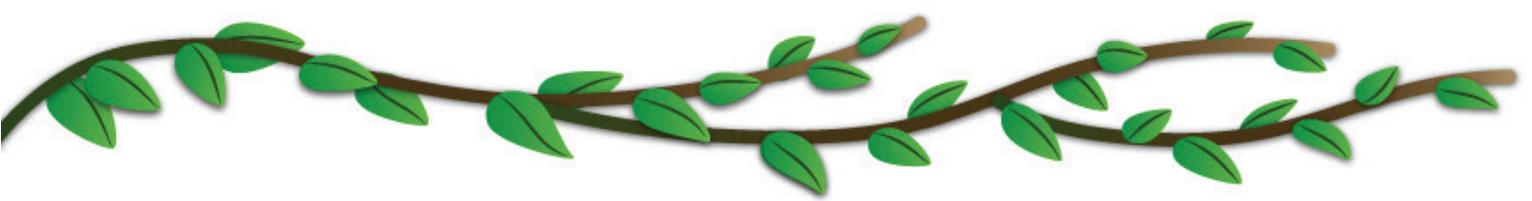


Figura 33. Esclerénquima. Foto: Miguel Bonilla-M.

3.3.1. *Función del esclerénquima*

Se encuentra en órganos que han dejado de crecer. Su principal función es proporcionar resistencia mecánica y protección a los órganos con crecimiento primario y secundario; sin embargo, es más abundante en tallos y hojas que en raíces.





3.3.2. Tipos de esclerénquima

Se distinguen dos tipos de células, las fibras y las esclereidas. Las fibras son células alargadas y fusiformes, con extremos puntiagudos (**figura 34**); suelen presentar un lumen estrecho debido al grosor de las paredes celulares secundarias, con grado de lignificación variable influenciado por las hormonas vegetales (auxinas y giberelinas) que regulan el depósito de lignina en la pared celular. Se localizan en el tallo, hojas, raíces y frutos, asociadas a los tejidos. En el xilema y floema se encuentran en forma de casquetes con los haces vasculares, en grupos o dispersas.

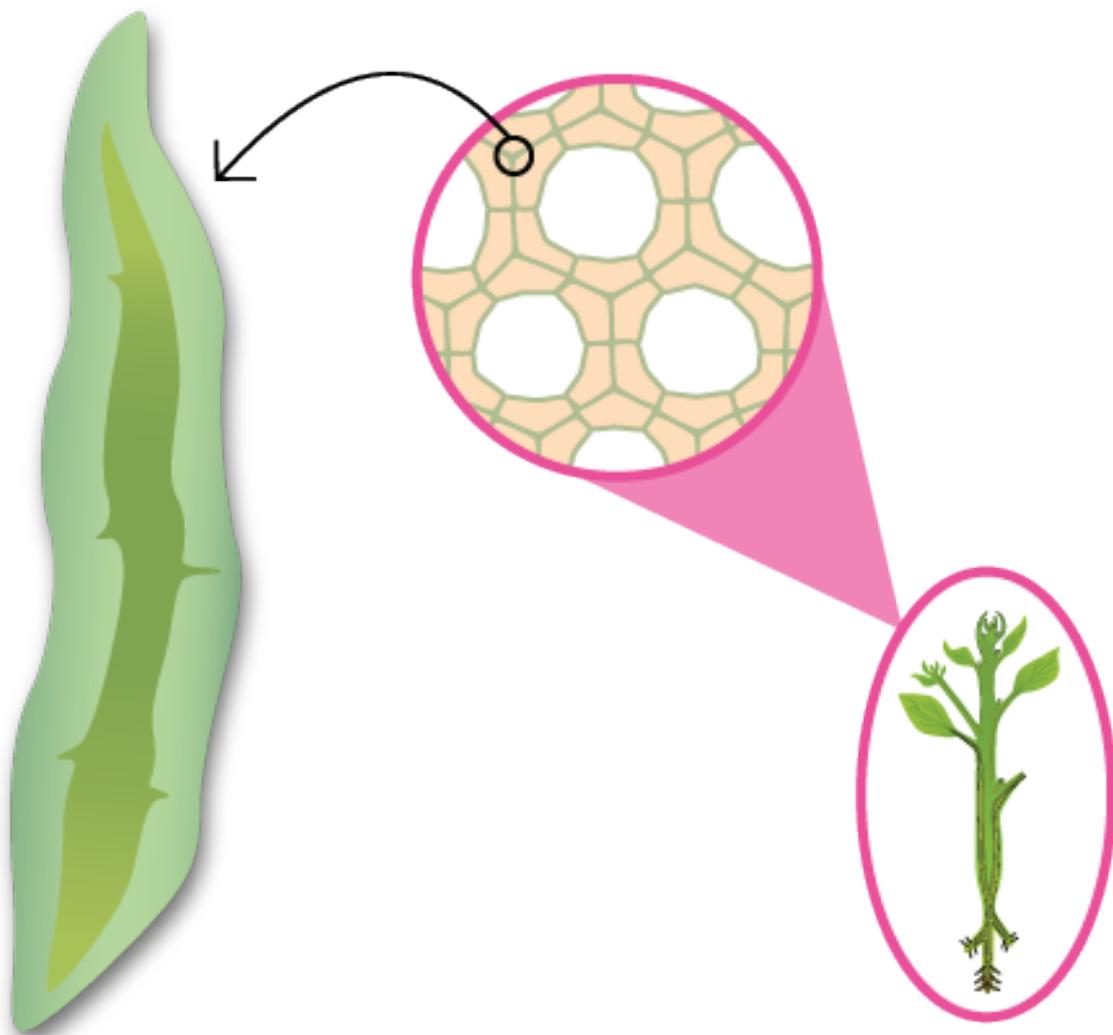


Figura 34. Fibra de esclerénquima





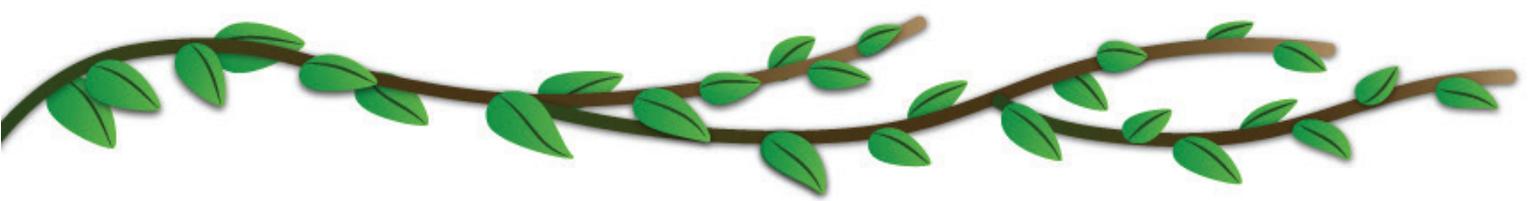
En las hojas de las monocotiledóneas las fibras se disponen no solo en forma de vaina alrededor de los haces vasculares, sino también entre los haces y la epidermis adaxial y abaxial, además están en forma cilíndrica bajo la epidermis. Por otro lado, las fibras del tallo en dicotiledóneas se hallan en la parte más externa del floema primario, en forma de cordones o placas tangenciales, o pueden presentarse como un cilindro completo de fibras, que en ocasiones van unidos a los tejidos vasculares o a tejidos distantes de ellos, en la parte interna del córtex.

Las fibras se clasifican de acuerdo a su posición en la planta. Las fibras xilemáticas, asociadas al xilema, se originan a partir de los meristemos del xilema primario y secundario. Las fibras extraxilemáticas están asociadas al floema y algunas se originan con el crecimiento del floema primario y secundario; también son llamadas fibras del floema o liberianas. Por su parte, las fibras corticales se generan a partir del córtex y, finalmente, las fibras perivasculares se localizan en la periferia del cilindro vascular, en la parte más interna del córtex.

Además de las fibras, las esclereidas son un tipo de esclerénquima que presentan paredes secundarias gruesas y lignificadas, con punteaduras isodiamétricas y más pequeñas que las fibras. También son llamadas células pétreas.

Son más abundantes en dicotiledóneas que en monocotiledóneas, y están presentes en tallos, hojas, frutos y semillas. En algunas ocasiones, se asocia al xilema o al floema, y por lo general se encuentran en el parénquima del córtex, la médula del tallo o de raíces, en el mesófilo de la hoja, la pulpa de frutos carnosos y la testa o cubierta de la semilla. Las escleridas se clasifican en:





(a) **Braquiesclereidas**, propiamente llamadas células pétreas, son isodiamétricas y se encuentran en la pulpa de algunos frutos (figura 35).

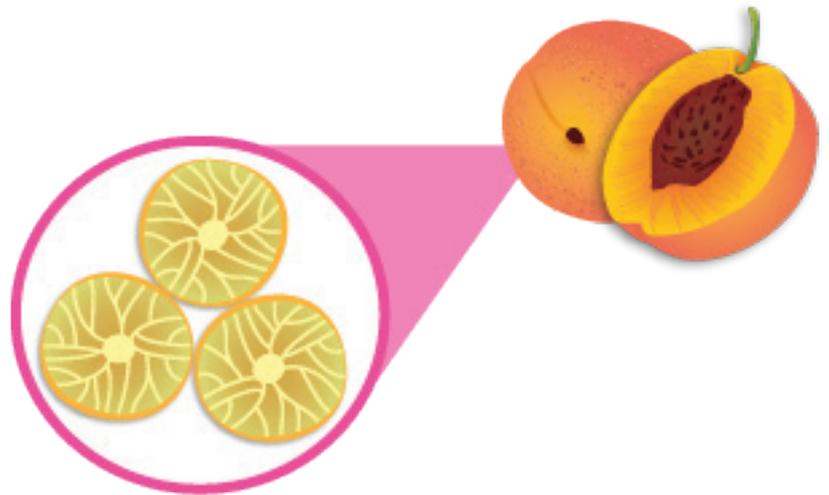


Figura 35. Braquiesclereidas

(b) **Macroesclereidas**, o células de Malpighi, son alargadas y columnares, se pueden observar en la testa de semillas, como las leguminosas (figura 36).

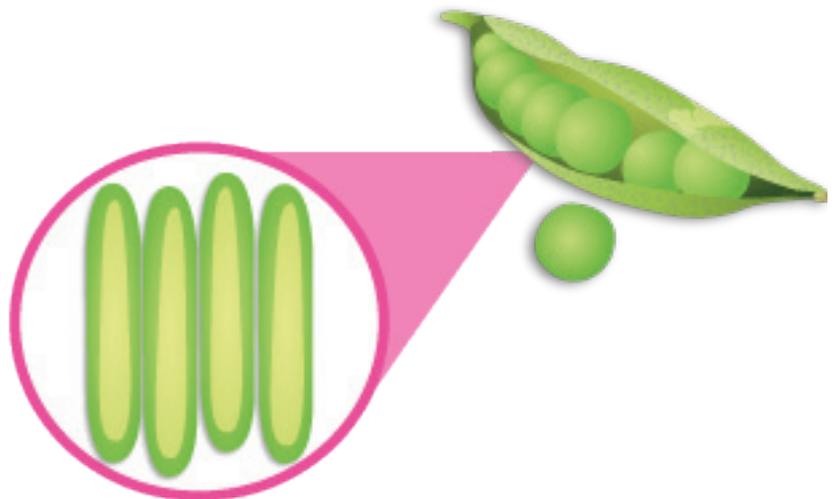


Figura 36. Macroesclereidas

(c) **Osteoesclereidas**, son alargadas y abultadas en los extremos, en forma de hueso; están presentes en la cubierta de las semillas y en algunas hojas (figura 37).

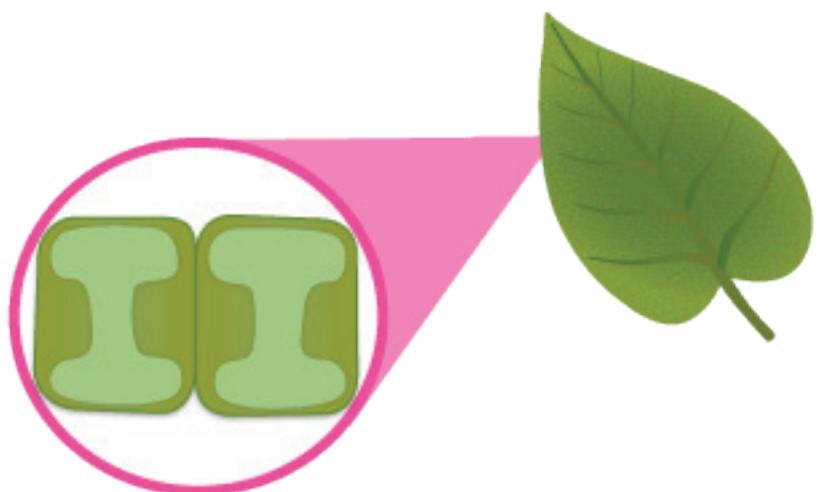


Figura 37. Osteoesclereidas





(e) Tricoesclereidas, presentan forma de pubescencia epidérmica, algunas veces con ramificaciones (**figura 38**).

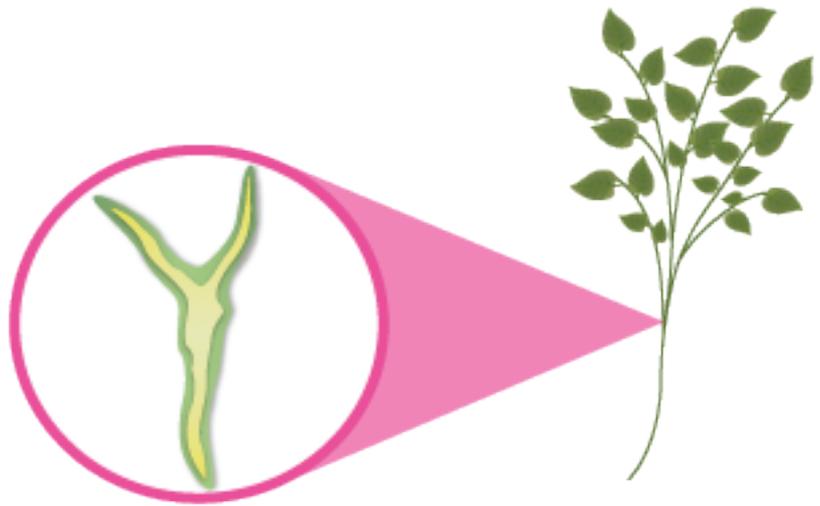


Figura 38. Tricoesclereidas

(d) Astroesclereidas, presentan forma de estrella, se encuentran en pecíolos y limbos foliares (**figura 39**).

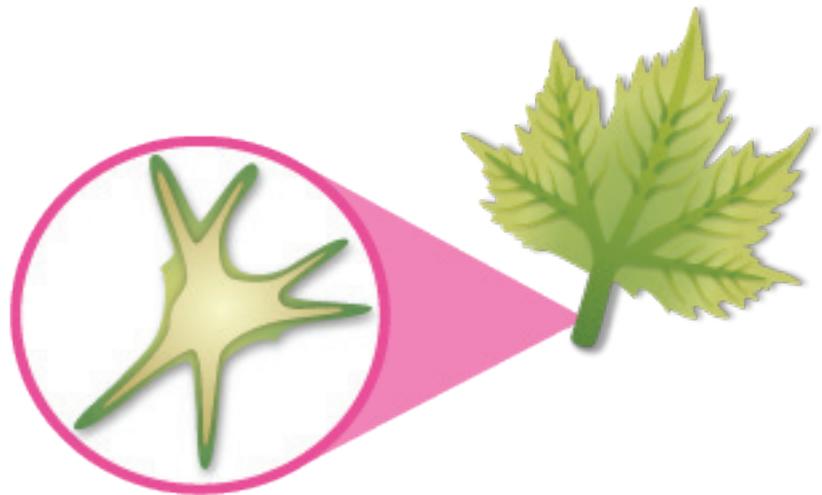
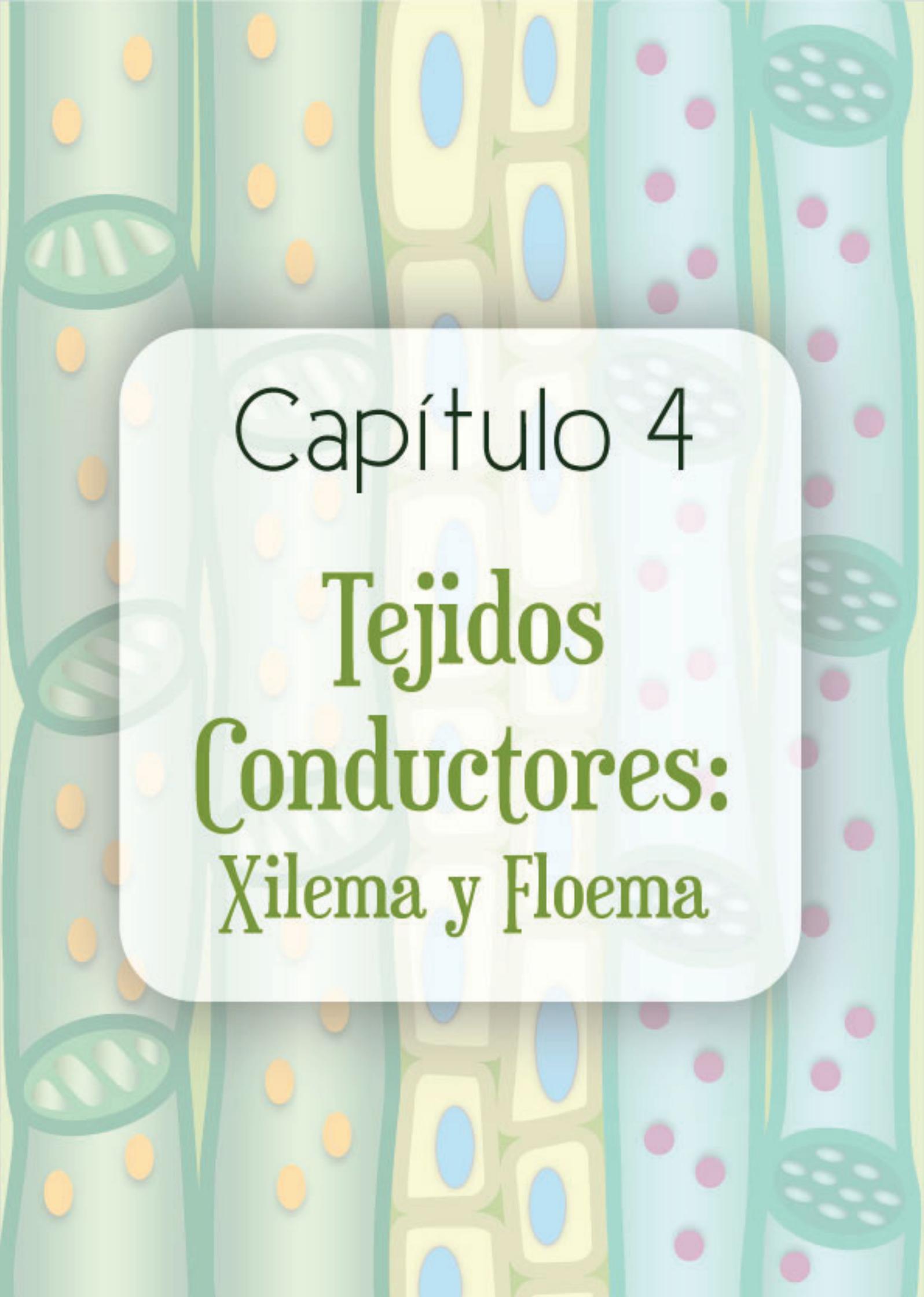


Figura 39. Astroesclereidas

Las esclereidas, distribuidas al azar, se originan a partir de las células parenquimáticas. Aquellas dispuestas en grupos, como las asociadas a los extremos capilares del mesófilo foliar, se forman a partir de los meristemas que dan lugar al procambium.



The background of the slide is a colorful, stylized illustration of plant tissues. It features vertical columns of cells. On the left, there are green cells with orange oval structures. In the center, there are yellow cells with blue oval structures. On the right, there are light blue cells with pink oval structures. At the bottom, there are green cells with white oval structures. The overall style is clean and educational.

Capítulo 4

Tejidos

Conductores:

Xilema y Floema

TEJIDOS CONDUCTORES

XILEMA Y FLOEMA

4. Tejidos conductores: xilema y floema

En la yema apical del tallo se ubica la región meristemática, la cual permite la formación de los tejidos primarios. A partir de la división mitótica de las células iniciales se desarrollan las células del meristemo llamado procambium. Estas células darán origen al sistema vascular primario: xilema y floema. En plantas con crecimiento secundario, las células iniciales darán origen al cambium vascular, y de este derivarán el xilema y floema secundario.

4.1. Xilema

La palabra xilema deriva del griego *xylon*, que significa madera, y hace referencia a un tejido lignificado cuya función principal es la conducción de agua en la planta. Generalmente, se encuentra asociado con el floema, y en conjunto constituyen el sistema vascular (**figura 40**).

El xilema está compuesto de células generalmente carentes de protoplasma, aunque algunas se consideran células vivas. Los elementos traqueales, no vivos, son las células por donde circula el agua. También se presentan las fibras, células parenquimáticas especializadas en el sostén, y, en algunos casos, están presentes los tubos laticíferos y las esclereidas..



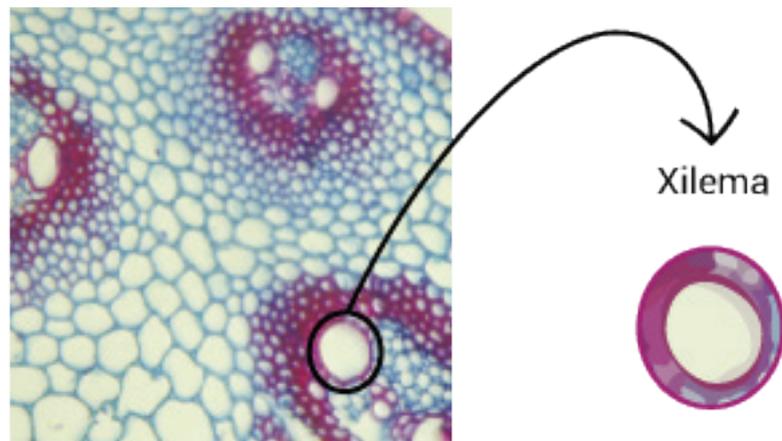
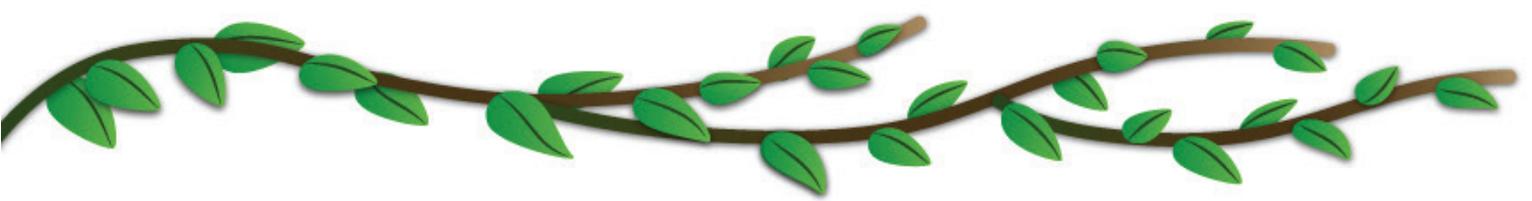


Figura 40. Xilema. Foto: Miguel Bonilla-M.

4.1.1. Elementos conductores o traqueales

Los elementos traqueales están constituidos por las traqueidas y los elementos de los vasos. Ambos son células alargadas con paredes gruesas y sin protoplasma vivo en su madurez.

Las traqueidas poseen extremos angostos que terminan en punta (**figura 41**). Presentan punteaduras por donde circula el agua, carecen de pared secundaria y se localizan en las paredes laterales. Las traqueidas cumplen funciones de sostén y conducción.

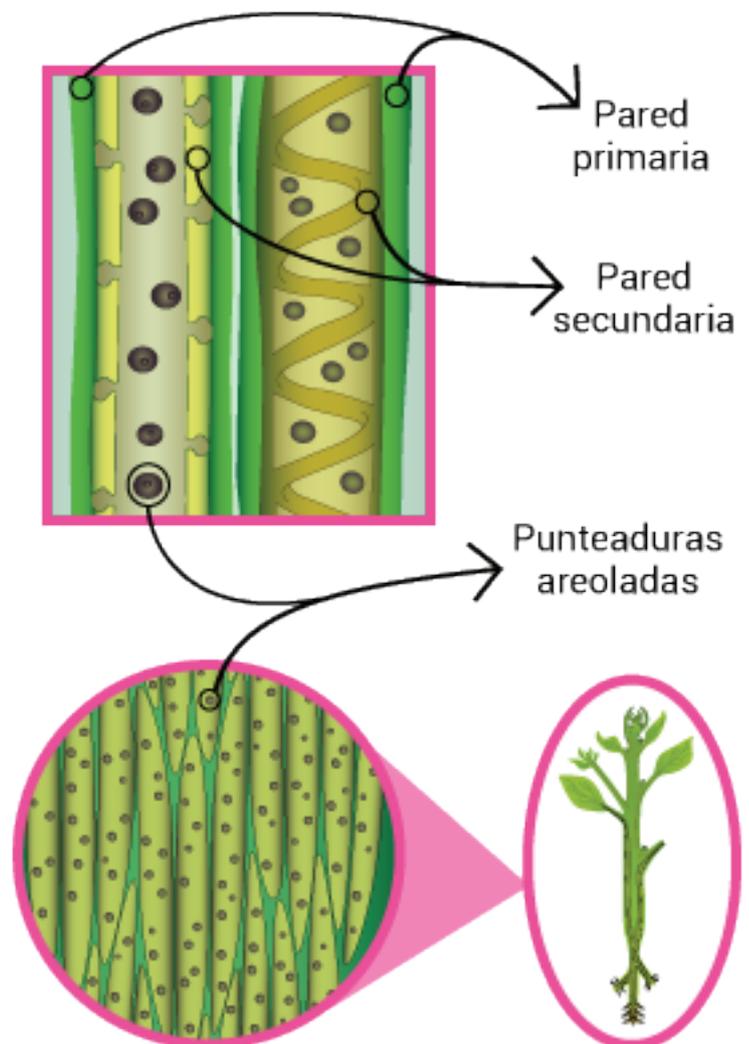


Figura 41. Traqueidas





Los elementos de los vasos se forman a partir de una fila longitudinal de células del procambium y del cambium, tanto en el xilema primario como del xilema secundario, respectivamente (**figura 42**). Estas células se encuentran unidas longitudinalmente a partir de las perforaciones que se forman. Las perforaciones suelen presentarse en los extremos de la célula o en posición subterminal, e incluso lateral, en la pared celular, donde se denominan láminas perforadas.

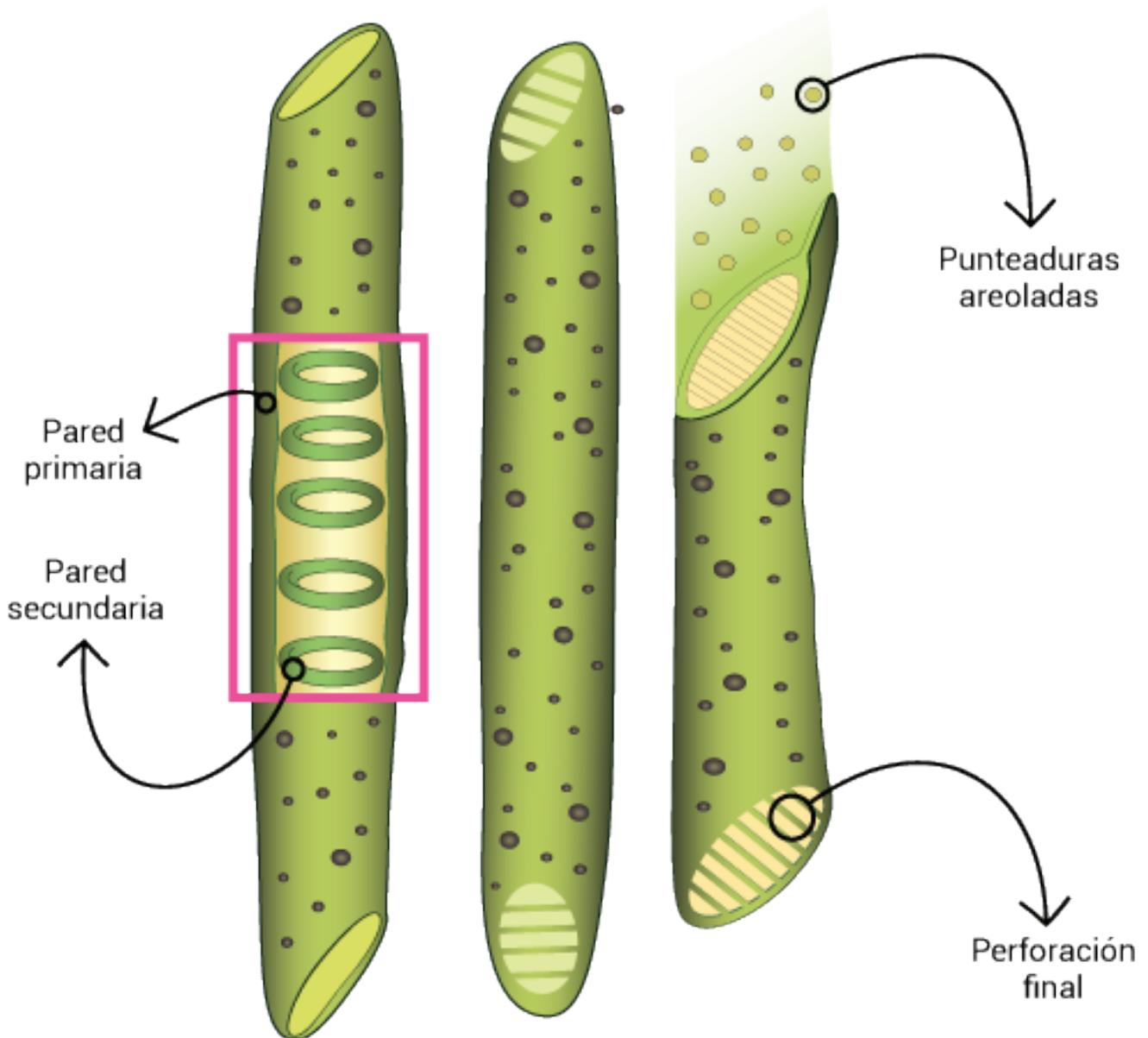
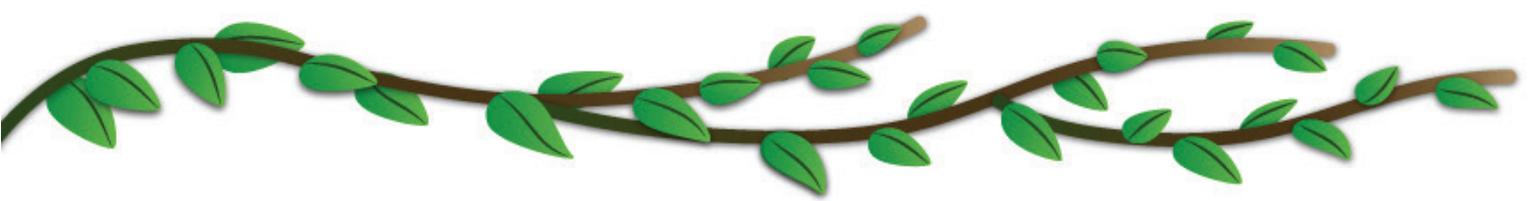


Figura 42. Elementos de los vasos





Los vasos se encuentran en casi todas las angiospermas con excepción del orden Ranales, que presenta traqueidas. Los elementos traqueales del protoxilema son extensibles, dado que presentan una pared primaria delgada donde se depositan los anillos de la pared secundaria, es decir, dichas células pueden estirarse cuando se alarga el órgano de la planta donde se encuentran, mientras que los elementos traqueales del metaxilema presentan una pared secundaria más gruesa y, por tanto, rígida.

4.1.1.1. Fibra xilemática

La fibra xilemática se origina a partir de elementos similares a los que formaron las traqueidas; sin embargo, presenta las paredes más gruesas, que sirven de sostén a los tejidos vasculares. Algunas llegan a tener protoplasto vivo, aunque de manera general está constituido de fibrotraqueidas y fibras libriformes.

4.1.1.2. Parénquima xilemática

Son células especializadas en el almacenamiento de sustancias del protoxilema y el metaxilema. En el metaxilema posee dos tipos de células parenquimáticas: horizontal o radial y vertical o axial.

4.1.2. Xilema primario: protoxilema y metaxilema.

En la formación del xilema primario se encuentra el protoxilema y el metaxilema (**figura 43**). El protoxilema aparece en la formación del tejido vascular y puede estar cerca a la médula del tallo o más alejado del centro, como en la raíz. La maduración





del protoxilema varía de acuerdo a la posición del órgano: en las hojas y el tallo madura antes de que los órganos tengan un alargamiento, al surgir del meristemo apical; en la raíz el protoxilema no maduran hasta que termine su alargamiento, si madurara antes de que el tejido se alargue, los elementos traqueales no vivos no se adaptarían al crecimiento del tejido que los rodea y podrían generar un desgarre, provocado por la tensión de los tejidos.

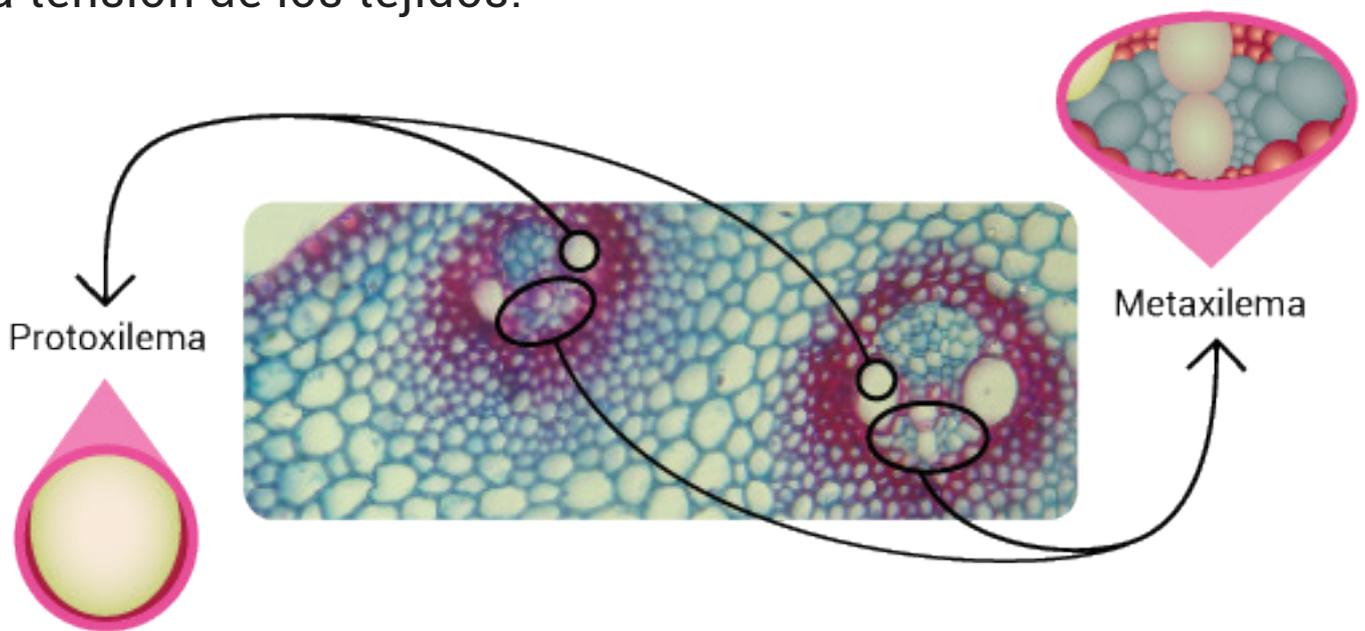


Figura 43. Xilema primario: protoxilema y metaxilema. Foto: Miguel Bonilla-M.

La diferenciación del metaxilema inicia al tiempo que el brote se alarga, y su maduración ocurre cuando termina el alargamiento. La pared secundaria de los elementos traqueales del protoxilema presenta engrosamientos anulares y helicoidales, mientras los elementos del metaxilema pueden tener una pared secundaria helicoidal, reticulada o punteada.

El protoxilema presenta pocos elementos traqueales y en su mayoría son células parenquimáticas; por su parte, el metaxilema presenta elementos traqueales de mayor diámetro. El xilema secundario y el metaxilema son más compactos que el protoxilema, debido a la lignificación de las paredes secundarias.



4.1.3. Xilema secundario

Por su parte, el xilema secundario deriva del cambium vascular, que se compone de células fusiformes (sistema vertical y axial) y de células iniciales radiales (sistema horizontal o radiomedular) (**figura 44**).

Esta característica es principalmente para las eudicotiledóneas, que presentan crecimiento secundario.

Las monocotiledóneas no suelen tener crecimiento secundario, por lo que al presentarse el cambium no hay diferenciación entre células fusiformes y radiales.

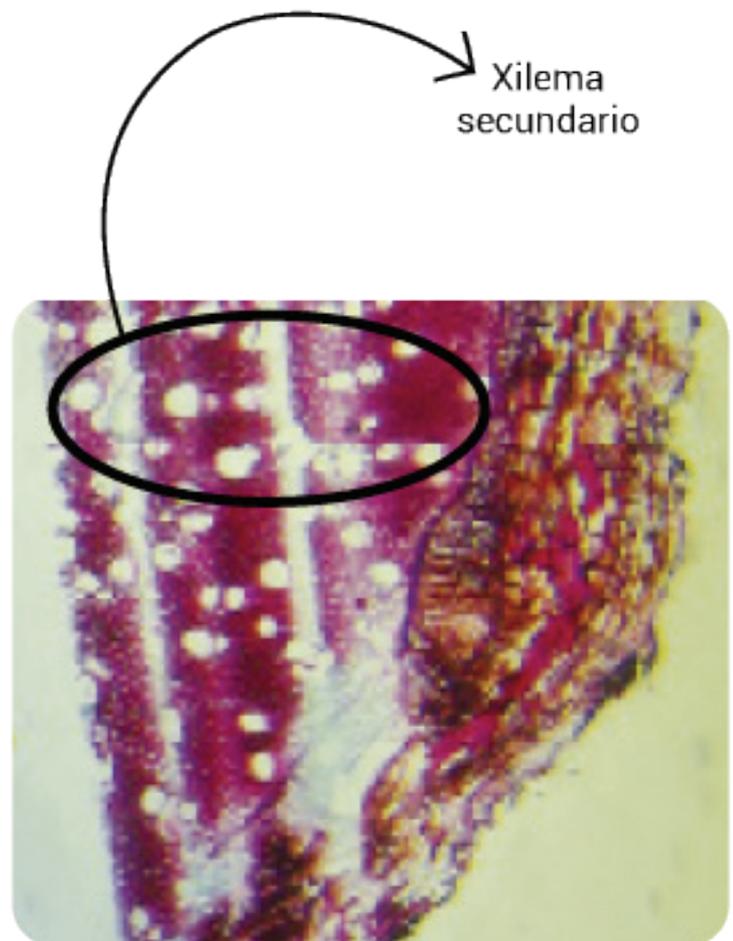


Figura 44. Xilema secundario
Foto: Miguel Bonilla-M.

En el cambium y el xilema secundario las células se encuentran ordenadas radialmente en el cuerpo secundario de la planta (**figura 45**). El cambium es una capa que produce xilema en cada uno de los periodos de crecimiento, además, en lugares con estaciones produce un anillo anual. Cuando el crecimiento queda interrumpido por factores biológicos o físicos, y luego se reanuda, al segundo anillo se le denomina anillo anual falso.



4.2. Floema

El floema es un tejido formado por varios tipos de células especializadas como los elementos cribosos, células acompañantes, parénquima, fibras y esclereidas (**figura 45**). El floema es la estructura responsable del transporte de sustancias nutritivas elaboradas. Se denomina protofloema a los primeros elementos que maduran y metafloema a los que se diferencian después.

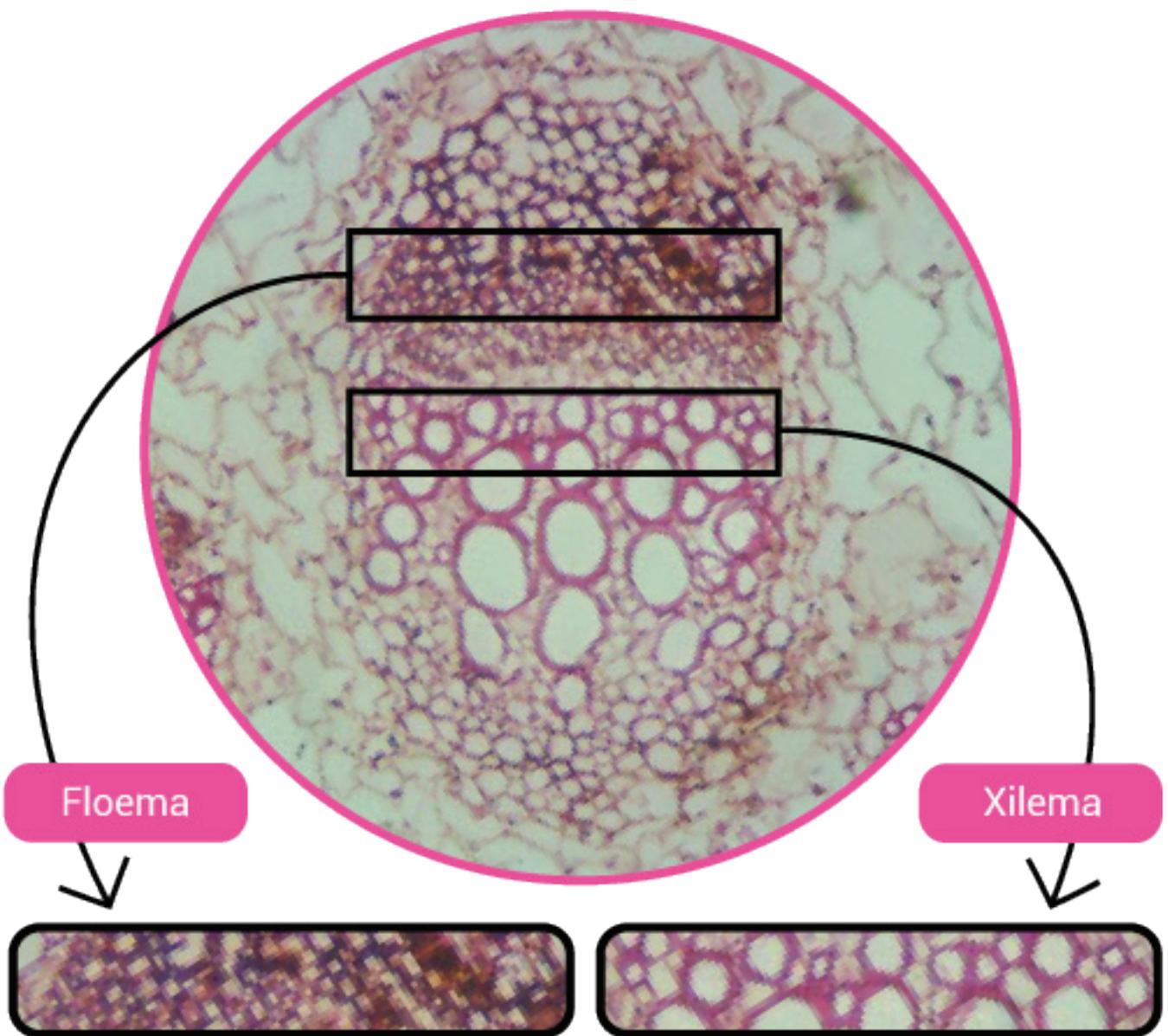
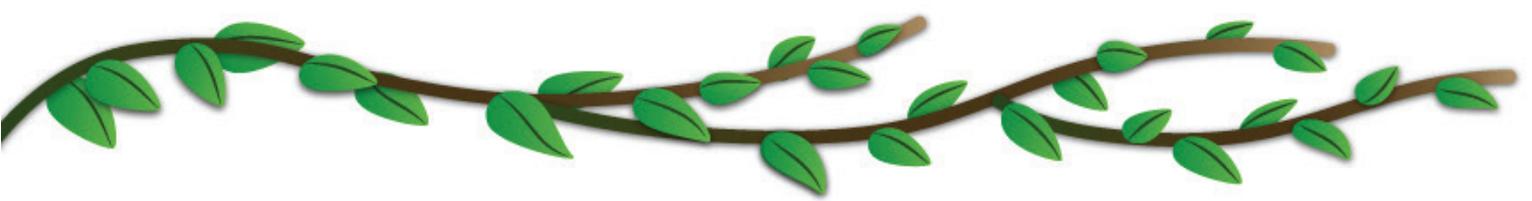


Figura 45. Xilema primario, secundario y floema. Foto: Miguel Bonilla-M.





4.2.1. Células del floema

Las células que conforman el floema, la mayoría en su madurez, presentan protoplasma vivo:

(a) **Elementos cribosos:** las gimnospermas presentan células cribosas menos especializadas y no presentan placas cribosas. Las angiospermas, por su parte, tiene tubos cribosos más especializados y constituyen placas cribosas sobre las paredes celulares terminales (figura 46). Presentan células con protoplasma vivo en la madurez y poseen áreas deprimidas en la pared, la cual tiene perforaciones llamadas áreas cribosas. Estas áreas comunican el protoplasma de los elementos cribosos por medio de prolongaciones citoplasmáticas.

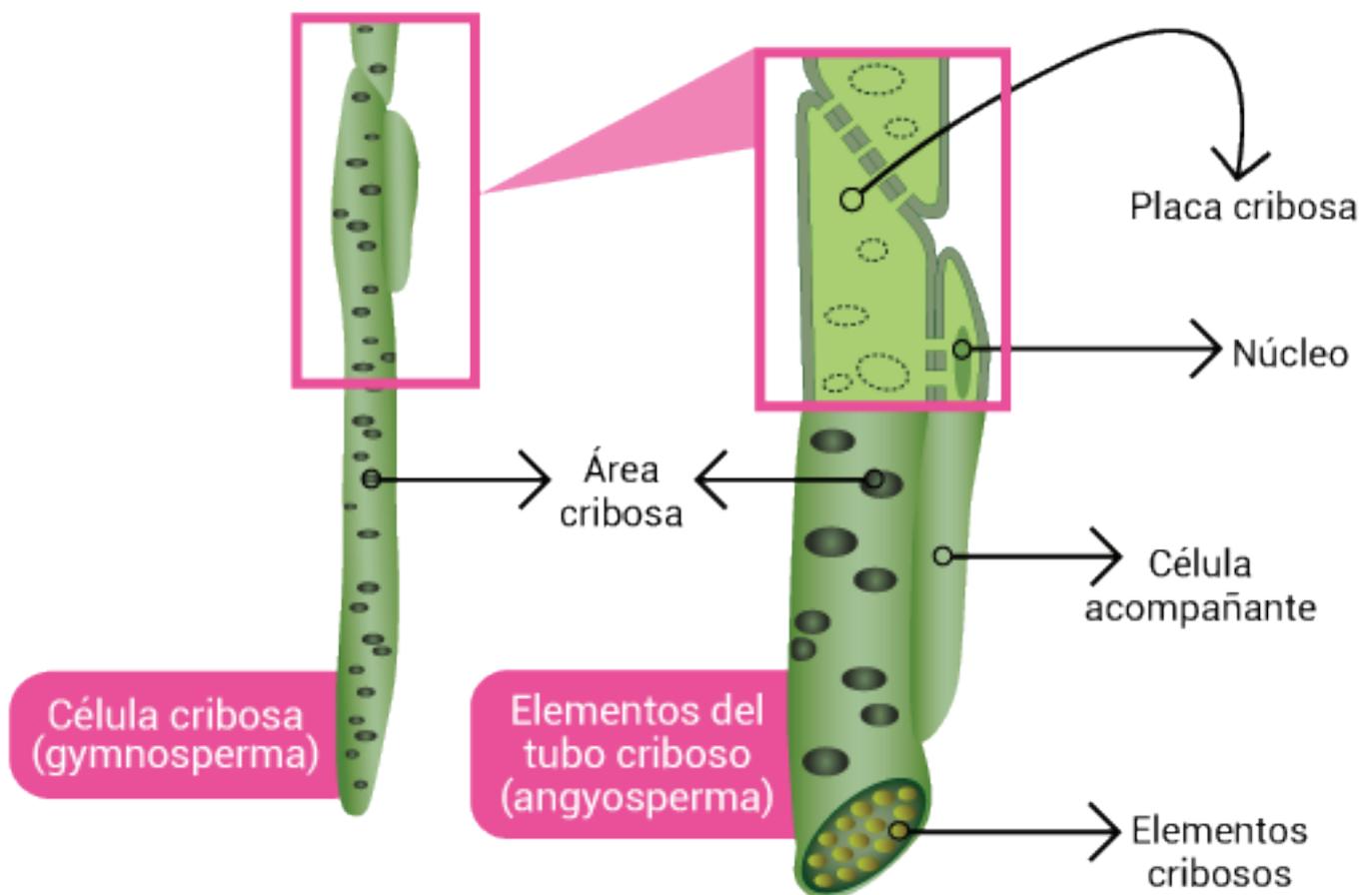


Figura 46. Elementos cribosos.





(b) Células acompañantes: son células parenquimáticas especializadas que se encuentran asociadas a los tubos cribosos; en las angiospermas, las células acompañantes pierden el núcleo. La pared celular que existe entre la célula acompañante y el elemento criboso puede presentar poros primarios con plasmodesmos y un grosor homogéneo (**figura 46**).

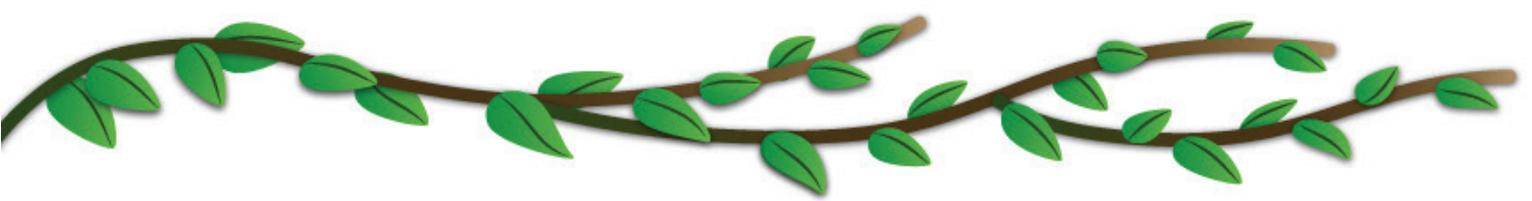
(c) Células parenquimáticas: se encargan del almacenamiento de sustancias de reserva, son menos especializadas que las células acompañantes y están relacionadas con los elementos cribosos. Las células parenquimáticas pueden morir si los elementos cribosos dejan de ser funcionales. En el floema primario se encuentran alargadas y dispuestas verticalmente, mientras que en el floema secundario aparecen en el sistema axial y radial.

(d) Las fibras: se presentan en el floema primario y el secundario, y en ambos casos presentan pared celular secundaria después de terminar su alargamiento. En el floema primario se desarrollan cuando el órgano todavía se encuentra en crecimiento longitudinal y proceden del procambium. Las fibras del floema secundario se originan a partir de las células iniciales fusiformes del cambium vascular.

4.2.2. Floema primario: protofloema y metafloema

El floema primario se origina del procambium. El protofloema constituye el tejido conductor de sustancias alimenticias, posee elementos cribosos especializados, protoplasma anuclear y áreas cribosas en las paredes (**figura 47**).





Las gimnospermas presentan células floemáticas precursoras y las angiospermas tienen elementos cribosos en el protofloema. Los elementos del tubo criboso después de la madurez pueden ser destruidos o no (transformándose en fibras) debido a las tensiones.

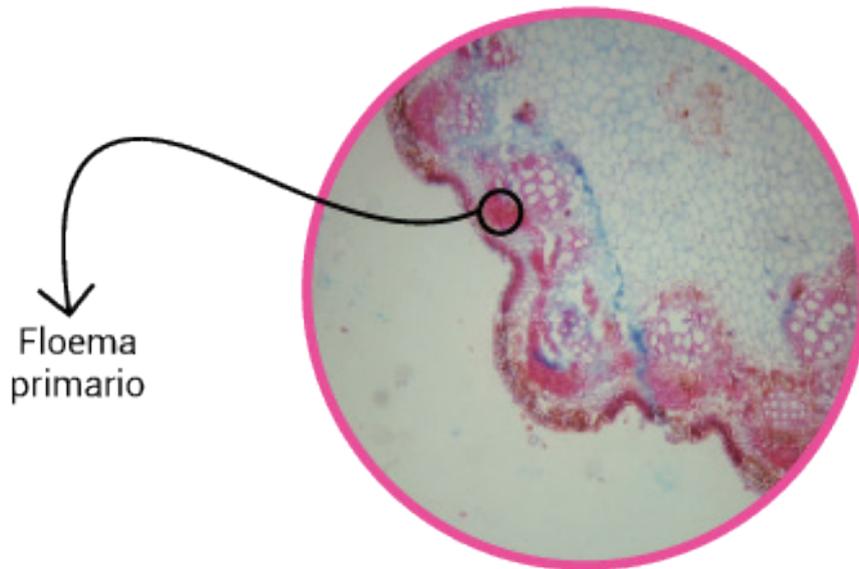


Figura 47. Floema primario. Foto: Miguel Bonilla-M.

En el metafloema, las células maduran después de que el tejido finaliza su elongación; estas se conservan sin destruirse y actúan como tejido conductor (**figura 48**). En plantas que no presentan crecimiento secundario, el metafloema es el principal tejido conductor de sustancias alimenticias, siendo funcional durante toda la vida. Contrario ocurre cuando el crecimiento secundario está presente, aquí los elementos cribosos del metafloema se inactivan después de la diferenciación de los elementos conductores secundarios.

En monocotiledóneas es posible distinguir el metafloema y el protofloema ya que en el metafloema existen células acompañantes asociadas a los tubos cribosos mientras que en el protofloema solo hay células cribosas. En plantas dicotiledóneas es más complejo distinguir estos tejidos.

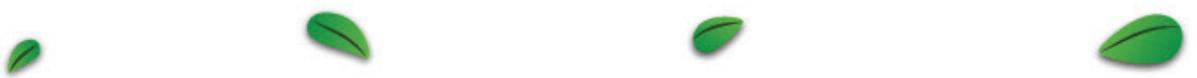




Figura 48. Floema primario: metafloema. Foto: Miguel Bonilla-M.

4.2.3. Floema secundario

El floema secundario tiene origen en el cambium (**figura 49**), posee un sistema vertical de células fusiformes (parénquima axial) o hileras de células, y un sistema horizontal con células procumbentes alargadas en dirección radial (radios del floema) y alargadas en sentido vertical, seguido del xilema secundario a través del cambium. Participa en el transporte de azúcares y almacena almidón, grasas, taninos y cristales.



Figura 49. Floema secundario
Foto: Miguel Bonilla-M.



4.2.4. Elementos esclerenquimáticos del floema

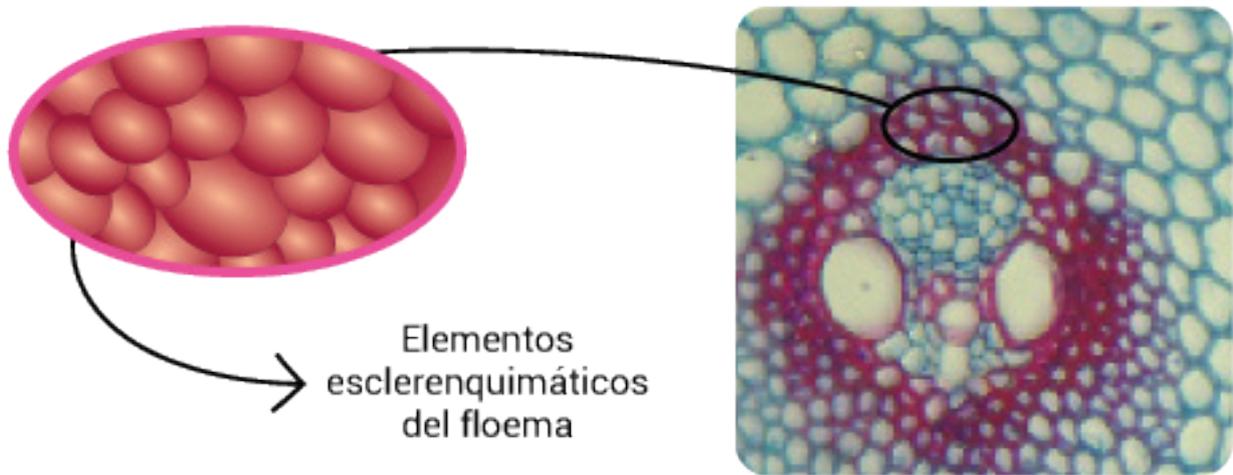


Figura 50. Elementos esclerenquimáticos del floema. Foto: Miguel Bonilla-M.

Entre los elementos esclerenquimáticos del floema se encuentran las fibras y las esclereidas (**figura 50**). En el floema secundario las fibras son cortas, lignificadas y se encuentran dispersas. La esclerificación de células parenquimáticas permite la formación de esclereidas del floema secundario.

4.2.4.1. Laticíferos

Son estructuras secretoras internas derivadas de células especializadas en la secreción de fluidos como el látex. Forman sistemas que atraviesan los tejidos de la planta, generalmente asociados al floema. El látex puede contener carbohidratos, ácidos, sales, alcaloides, lípidos, taninos, mucilagos, gomas, vitaminas, proteínas, almidón y cristales. Se conocen los laticíferos de una sola célula, laticíferos no articulados y los multicelulares, laticíferos articulados.

(a) **Laticíferos no articulados:** son unicelulares, por lo que su crecimiento es continuo hasta formar largos tubos que pueden ramificarse o no, sin unirse a tubos similares. Crecen



en los espacios intercelulares y están compuestos por paredes gruesas, excepto en los extremos (**figura 51**).

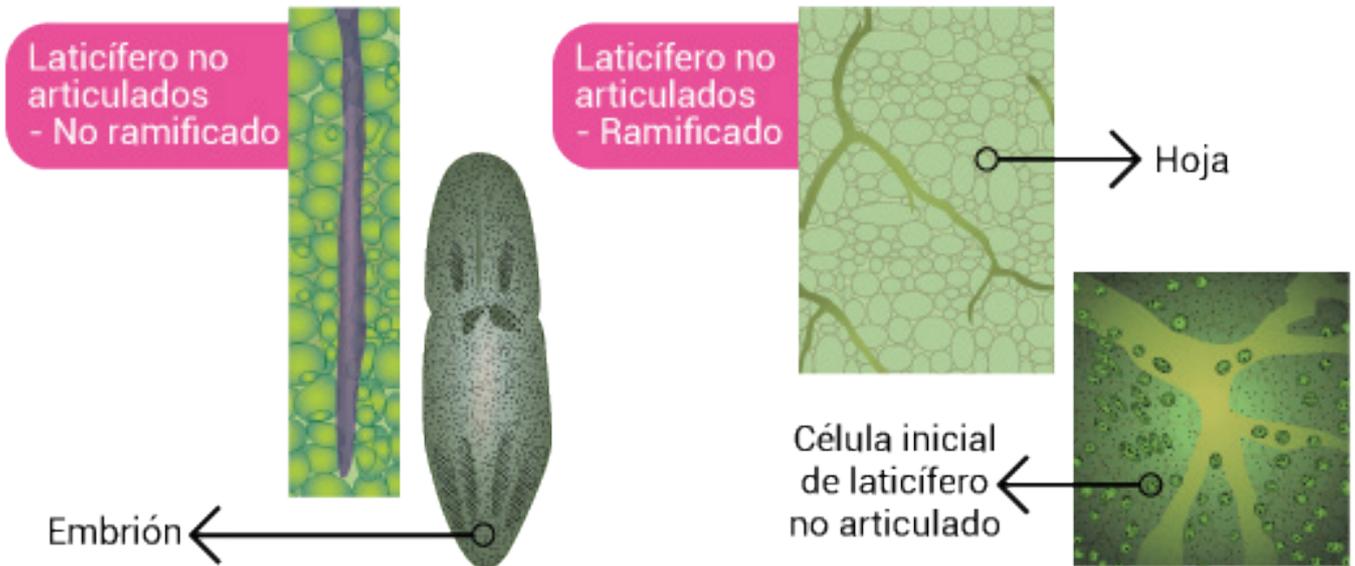


Figura 51. Laticíferos no articulados

(b) Laticíferos articulados: compuestos por filas longitudinales de células cuyas paredes terminales se rompen total o parcialmente y ponen en comunicación las células. Pueden ser no anastomosados, que no se conectan entre ellos, o anastomosados, que se mezclan o funden (**figura 52**).

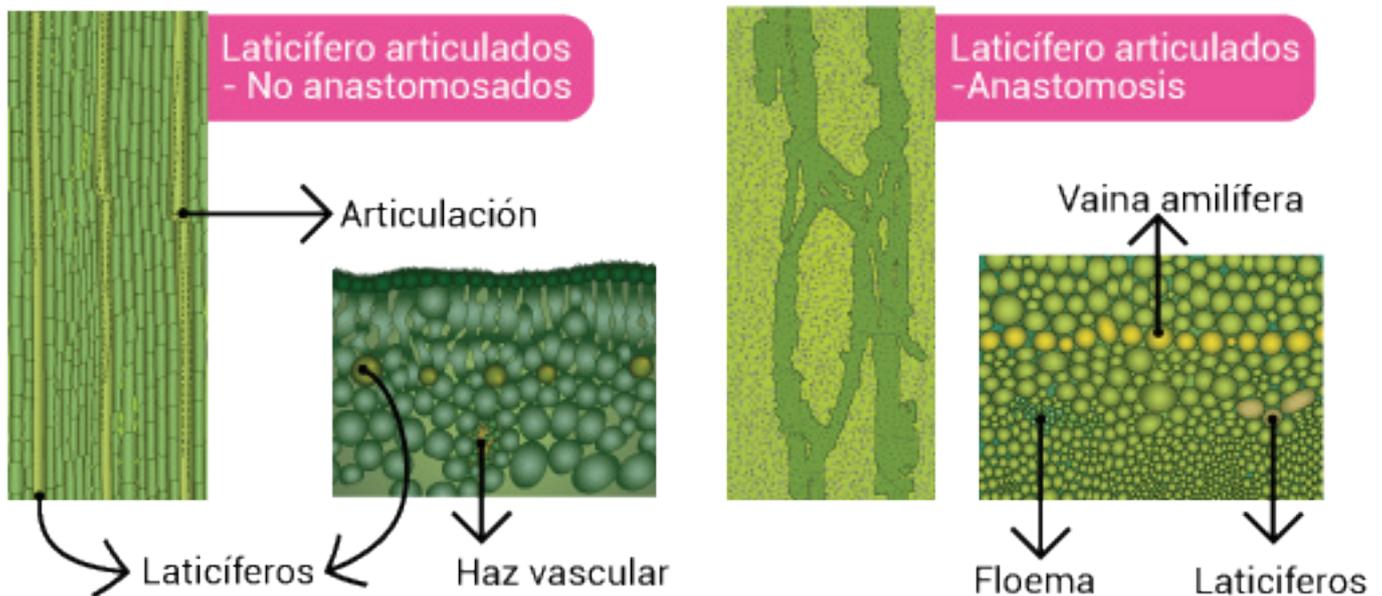


Figura 52. Laticíferos articulados





Capítulo 5

Tejido
Epidérmico

TEJIDO EPIDÉRMICO

5. Tejido epidérmico

La dermis (gr. piel) constituye la capa más externa que se encarga de cubrir los órganos de la planta: raíz, tallo, hoja, flor, fruto y semilla (**figura 54**). El tejido externo de la célula generalmente está cubierto por la cutícula, compuesta de cutina, cuya función es proteger los órganos de la radiación y limitar el intercambio gaseoso. La epidermis de las plantas que presentan crecimiento secundario es sustituida por la peridermis.

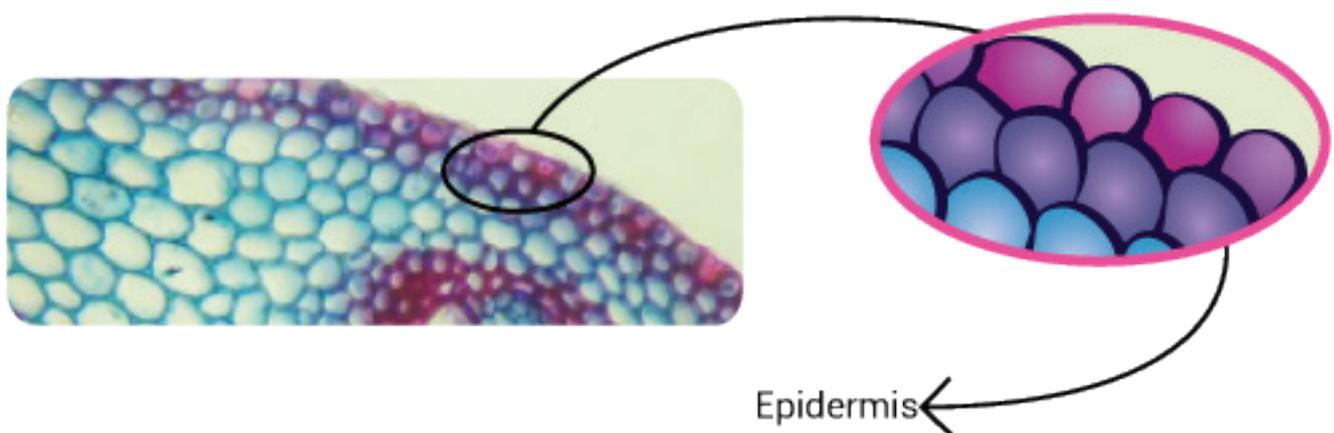


Figura 54. Epidermis. Foto: Miguel Bonilla-M.

5.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS

La formación inicia en los meristemos primarios. En el tallo, desde el meristemo apical del tallo en la túnica o L1 y, la raíz,





del meristemo apical de la raíz en las capas que rodean el centro quiescente (**figura 26** y **figura 27**). La epidermis está constituida por una capa de células vivas, en forma tabular. En algunas especies la duplicación de estas células puede dar lugar a una epidermis múltiple o pluriestratificada. Estos tejidos son característicos de raíces aéreas denominadas velamen (**figura 55**). Las células pueden variar de acuerdo a la funcionalidad.

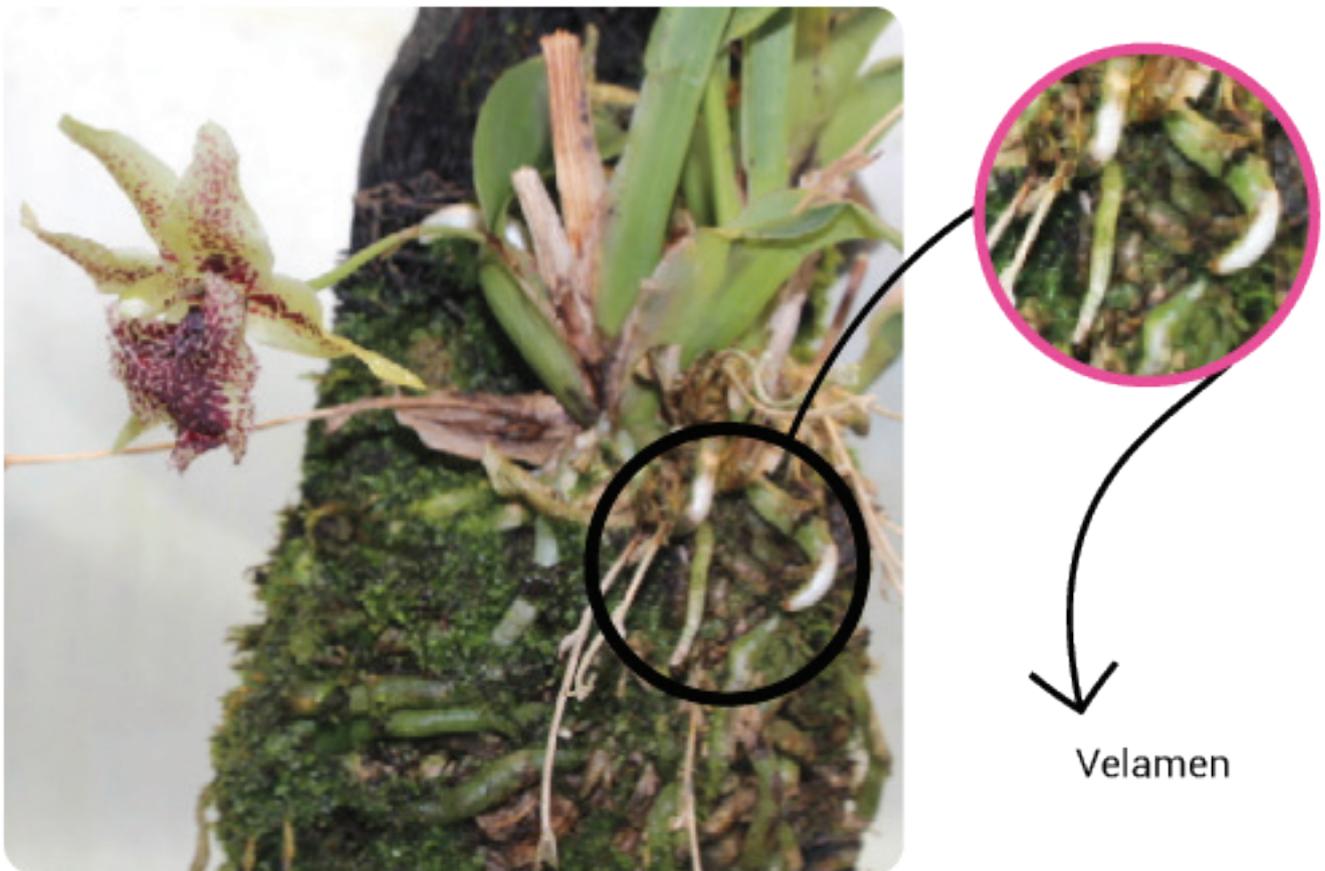


Figura 55. Velamen de las raíces de orquídeas
Foto: Miguel Bonilla-M

Algunas se observan isodimétricas o alargadas, y las paredes perpendiculares a la superficie pueden ser rectas u onduladas que forman tejidos compactos sin espacios intercelulares. Las células epidérmicas se comunican mediante plasmodesmos y ectodesmos.





5.2. CÉLULAS EPIDÉRMICAS: ESTOMAS Y TRICOMAS

Las células epidérmicas constituyen los estomas y tricomas, considerados ambos los tejidos más complejos de la epidermis.

5.2.1. Estomas

Los estomas son estructuras que se encuentran en la epidermis de las hojas a manera de abertura u ostiolo, células oclusivas y células anexas, cuya principal función es permitir la apertura o cierre estomático (**figura 56**), lo que regula el intercambio gaseoso e hídrico.

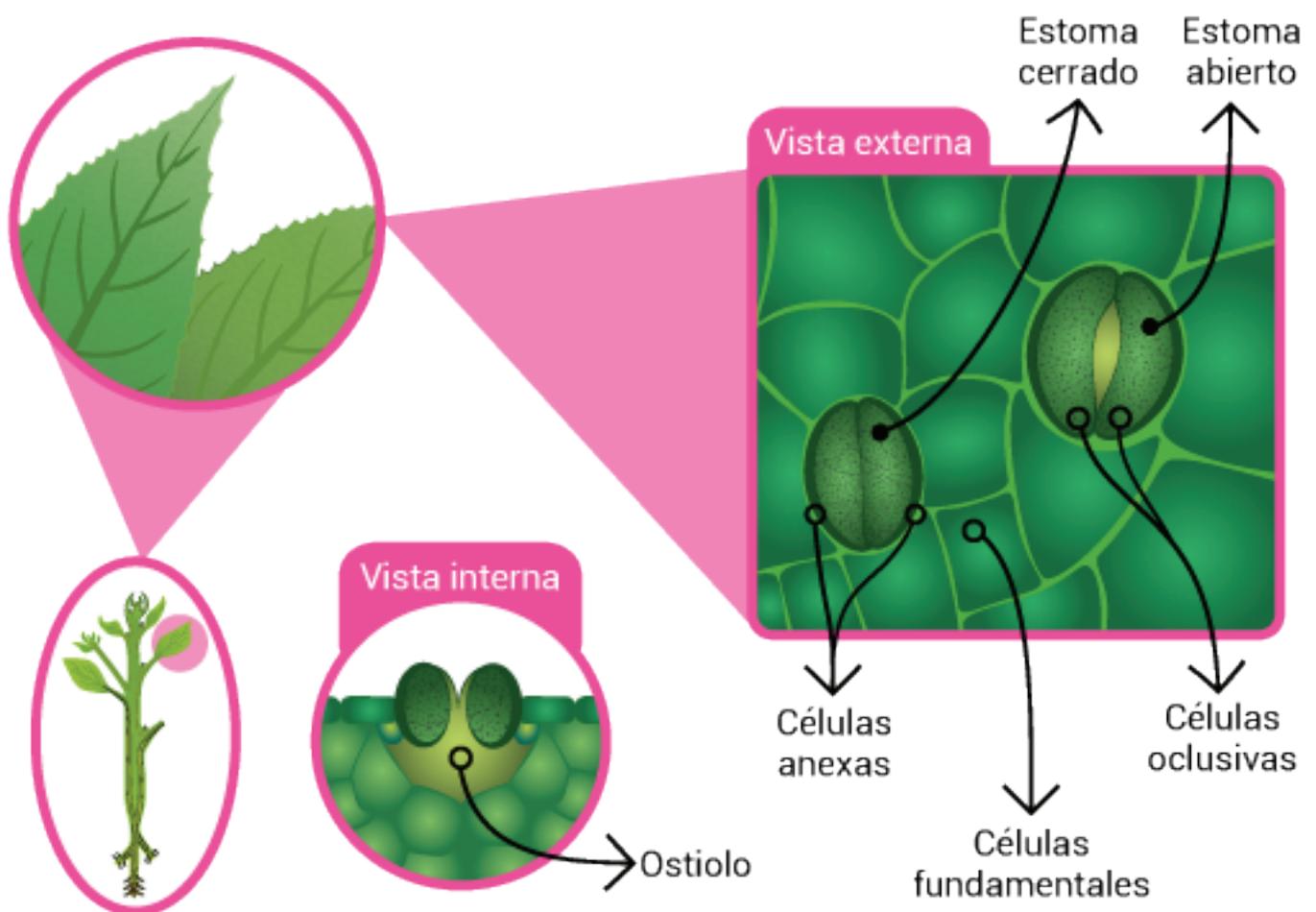
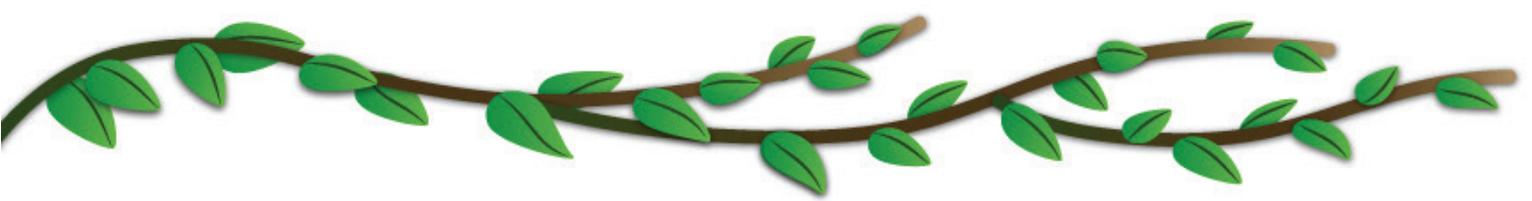


Figura 56. Estomas





Los estomas se clasifican:

Anomocítico o ranunculáceo: las células anexas son idénticas a las demás células epidérmicas, de tal manera que se presentan en un número indeterminado (**figura 57**). Por lo general, las más frecuentes están en las dicotiledóneas

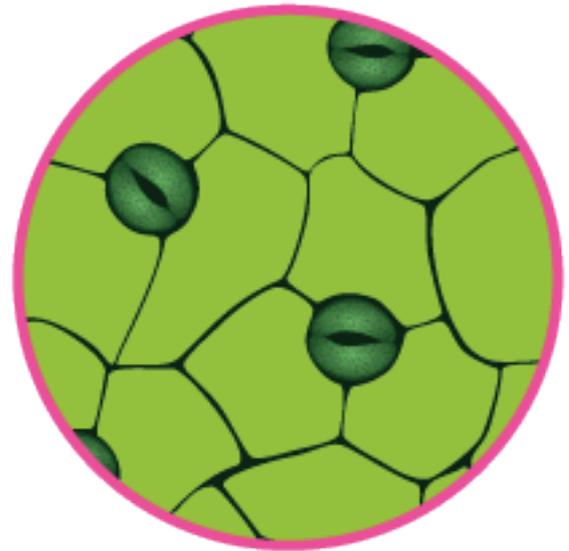


Figura 57. Estomas anomocítico

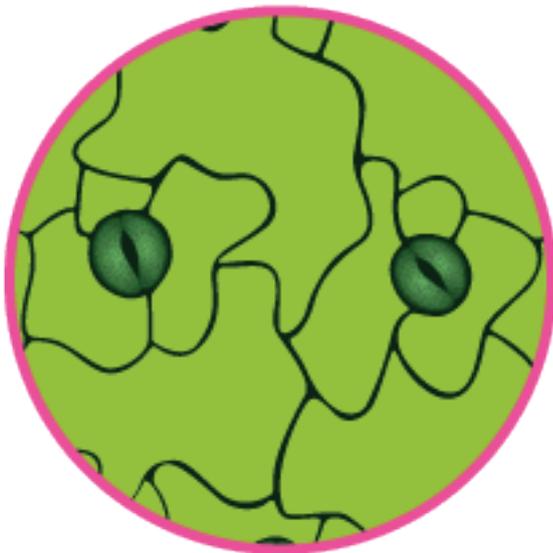


Figura 58. Estomas anisocítico

Anisocítico o crucífero: cuando presentan tres células anexas en las que una puede ser de menor o mayor tamaño (**figura 58**).

Diacítico o cariofiláceo: las células anexas se disponen de manera horizontal sobre la disposición vertical de las oclusivas (**figura 59**).

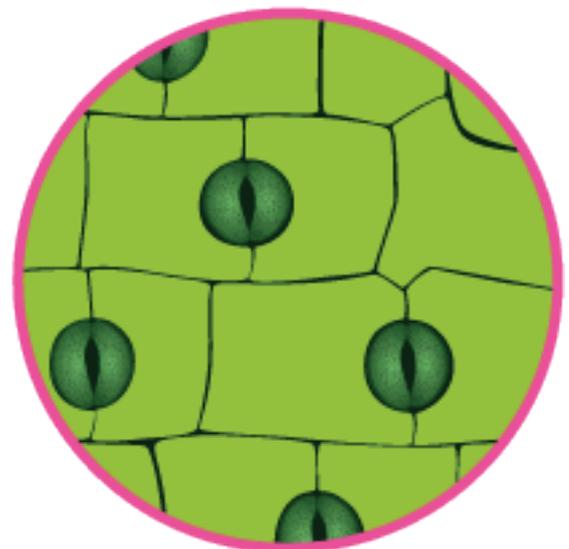
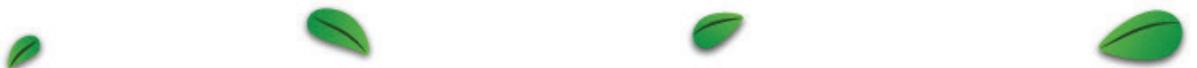


Figura 59. Estomas diacítico





Paracítico o rubiáceo: las células anexas se dispone de manera vertical, igual que las células oclusivas (**figura 60**).

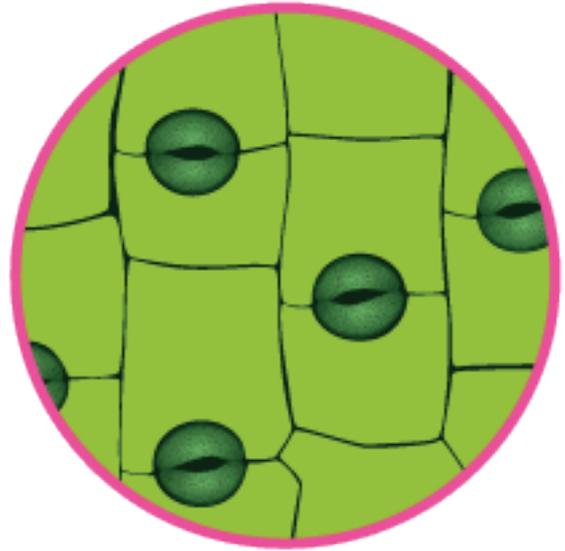


Figura 60. Estomas paracítico.

5.2.2. Tricomas

Algunas plantas desarrollan pelos o tricomas, que son apéndices epidérmicos con singularidad de formas, estructuras, consistencia y funciones (**figura 61**). Estos son importantes en la protección, y cuya variabilidad se presenta en pelos glandulares, papilas, escamas y pelos radicales. Algunas especies carecen de tricomas, por lo tanto, su epidermis es glabra.



Figura 61. Tricomas. Foto: Miguel Bonilla-M.





De acuerdo al número de células, los tricomas pueden ser unicelulares o pluricelulares, conformados por células vivas o muertas. Cuando las células están muertas generan cámaras con espacio para almacenar aire, con función aislante. El tricoma unicelular está compuesto por una célula que determina su tamaño pequeño (**figura 62**).

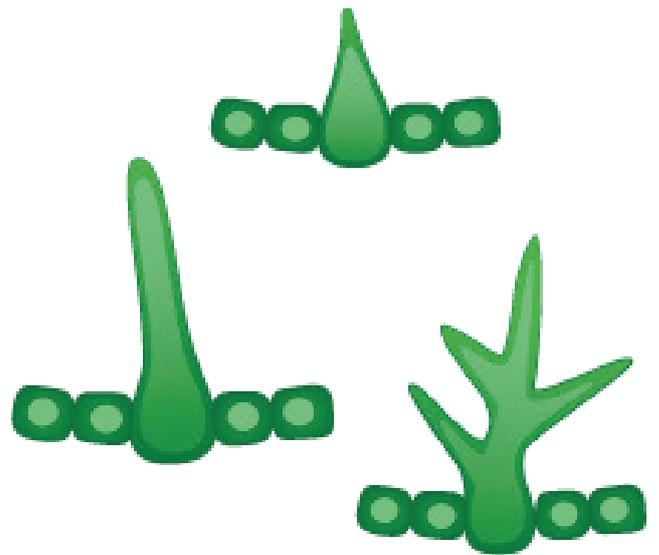


Figura 62. Tricomas unicelulares

Los tricomas multicelulares: de acuerdo a su estructura organizacional pueden ser tricomas uniseriados, que forman una fila de células verticales, o tricomas multiseriados, que se componen de varias filas de células verticales (**figura 63**).

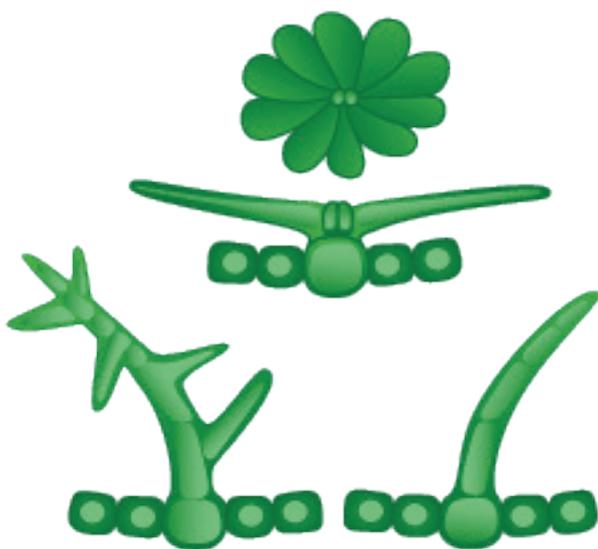


Figura 63. Tricomas multicelulares

Además, los tricomas pueden tener formas características entre las que se encuentran Malpighi, o dos brazos, como su nombre indica simulan dos brazos extendidos que nacen a partir de una base.

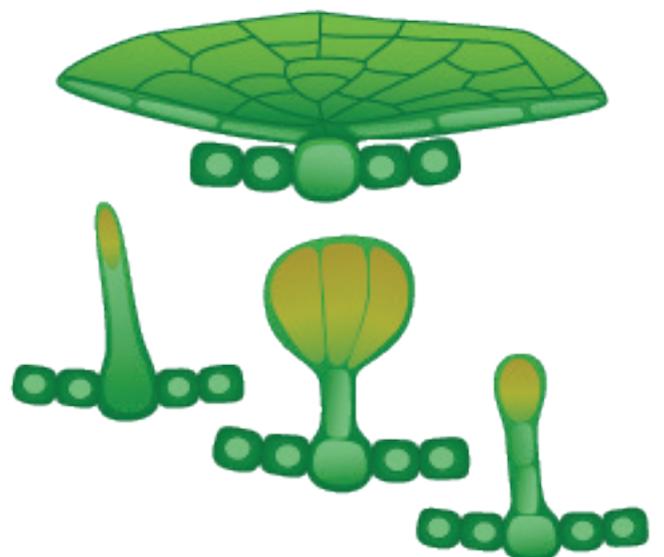


Figura 64. Tricoma Malpighi y glandulares





Por su parte, los tricomas glandulares poseen glándulas secretoras de sustancias en la célula apical, y pueden ser (a) pilada glandular: célula glandular que se encuentra en el ápice de un tallo alargado; (b) capitado glandular: célula glandular que se encuentra en el ápice de un tallo corto o sésil; (c) estrellado: tricoma con forma de estrella con varios brazos que surgen de una base, también puede surgir del ápice de un talluelo o ser sésil; (d) dendrítico: con forma de árbol con ramificaciones múltiples; (e) peltado: ápice circular en forma de disco con un tallo insertado en el centro.

La clasificación o formas de los tricomas se conocen, en general, de la siguiente manera:

a. Glabra: cuando no presenta tricomas.

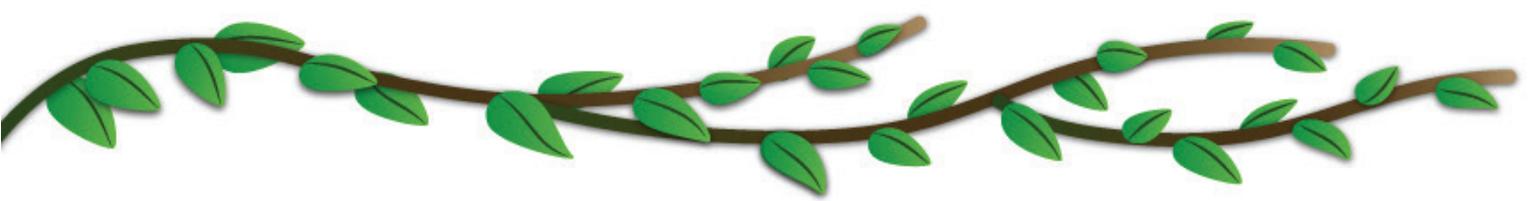
b. Subglabra: presencia de pocos tricomas que se dispersan en el limbo.

c. Glabrada: va perdiendo los tricomas con el tiempo, de tal manera que puede ser similar a la anterior, ya que cada vez presenta menos tricomas.

d. Barbada: un conjunto de tricomas agrupados a manera de penacho (mechón de barba) en la superficie, como en el perianto.

e. Comoso: un conjunto de tricomas agrupados a manera de penacho (mechón de barba) surge en la parte apical, como sucede en algunas semillas.





f. Penicilados: cuando los tricomas salen en forma de mechones cortos, es decir toman la forma de los pelos de pincel.

g. Ciliado: con tricomas en el margen, de tal manera que se observa como si fueran cilios.

h. Ciliolada: igual que la anterior pero con los tricomas pequeños.

i. Pubescente: son tricomas finos, es decir, pequeños, suaves y dispersos.

j. Puberulento: tricomas más cortos que los pubescentes y dispersos.

k. Grisáceo o incanosa: presenta pequeños tricomas blancos que cubren la superficie.

l. Tomentoso: presenta tricomas largos que se enredan o entrelazan dando una apariencia densa.

m. Tomentuloso: igual que tomentoso pero los tricomas son más cortos.

n. Velloso o lanado: son tricomas largos y cortos que se tuercen, de carácter suave.

ñ. Pilosa: son tricomas largos de apariencia peluda y suave.

o. Aracnoides: cuando los tricomas se entrelazan formando una serie de masas densas. Se puede confundir con los vellosos.

p. Escabrosa: presenta tricomas pequeños y duros que al deslizar la mano sobre la superficie se siente áspero como el papel lija.

q. Escaberulosa: es minuciosamente escabrosa.

r. Hirsutas: con la presencia de tricomas alargado y rígidos pero que no lastima al tacto.





s. Hispidas: son tricomas más largos y más rígidos que los anteriores, de tal manera que pueden hacer daño al tacto.

t. Urent: son tricomas urticantes como en el caso de la ortiga.

u. Estrigosa: tricomas gruesos doblados y aplanados, su base es gruesa o bulbosa.

v. Flocosa: tricomas agrupados en diferentes parches o mechones densos.

w. Lepidoto: tricomas que presentan una forma escamosa.

x. Sedoso: Tricomas largos con apariencia sedosa o brillante.

5.3. PELOS RADICULARES

Los pelos radiculares son prolongaciones de las células epidérmicas de las raíces, y en algunas ocasiones se han observado multicelulares (**figura 65**). Estos crecen al extremo de la raíz y, a medida que se aleja del ápice, la probabilidad de que las células se dividan es más escasa.

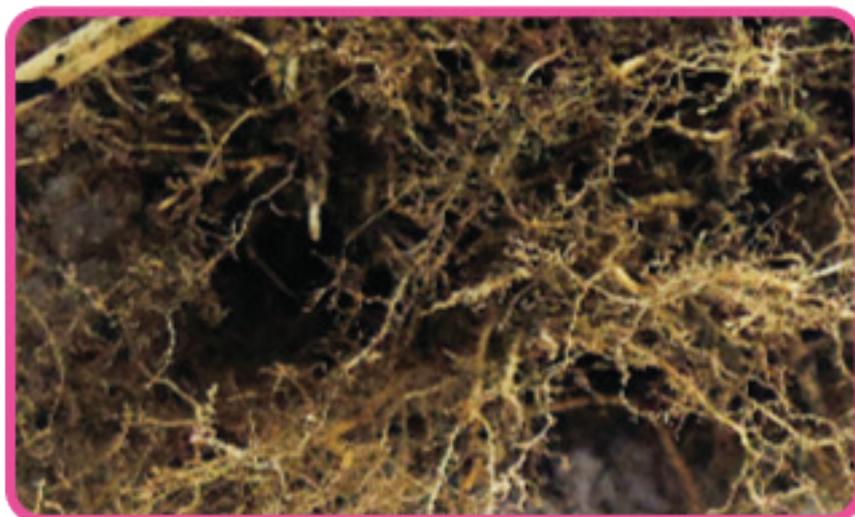


Figura 65. Raíz y pelos radiculares. Foto: Miguel Bonilla-M.



The background of the slide features a close-up, slightly blurred photograph of a tree trunk and its branches. The tree trunk is a dark, textured brown, while the branches are a lighter, olive-green color. A white rounded rectangle is centered on the slide, containing the chapter title.

Capítulo 6

Raíz

RAÍZ

6. Raíz

Órgano principal subterráneo, encargado de la absorción de agua y de otras sustancias disueltas en ella. Además, permite el anclaje de la planta, y en algunas ocasiones actúa como órganos de almacenamiento. También puede ser aéreo, pero con funciones menos especializadas. Las talófitas poseen un órgano similar llamado rizoides.

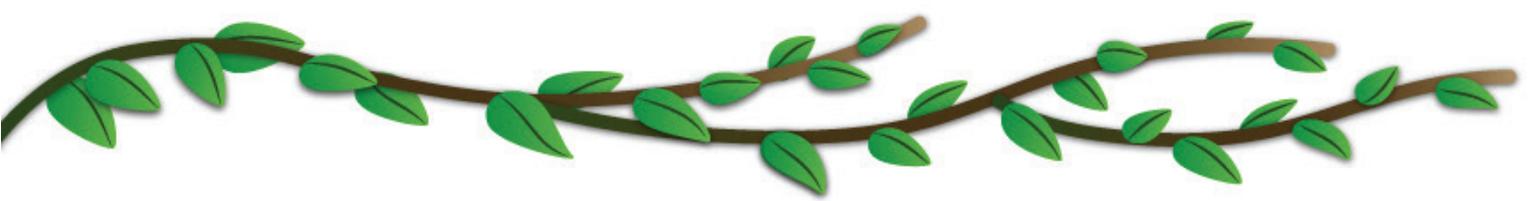
La raíz y el tallo comparten una analogía entre sus estructuras, debido a la continuidad que presentan. Sin embargo, existen diferencias en cuanto al desarrollo y disposición de los tejidos primarios. En el tallo, el xilema y el floema se disponen formando los haces vasculares; en la raíz, por su parte, el xilema y el floema van dispuestos alternadamente sobre los radios del cilindro vascular.

Además, la raíz no presenta apéndices comparable a las hojas del tallo, y sus ramificaciones no se originan de un meristemo apical, sino del periciclo. El meristemo apical de la raíz es subterminal y se encuentra cubierto por la caliptra.

6.1. ORIGEN

En las últimas etapas de desarrollo del embrión, las células situadas en el polo radicular constituyen el meristemo apical de la raíz primaria. Estas son relativamente indiferenciadas, presentan





un protoplasma denso y un núcleo grande, son llamadas células iniciales y dan origen a los tejidos de la raíz primaria (**figura 66**).

Las células iniciales o nicho de células troncales están alrededor del centro quiescente (CQ), conformado por una o cuatro capas celulares (**figura 27**). Este centro, tiene una forma esférica y está rodeado por células meristemáticas.

Las células del centro quiescente, tienen una baja concentración de ADN, ARN, y proteínas, así mismo, su núcleo y nucléolo son más pequeños, contienen pocas mitocondrias y poco retículo endoplásmico, a diferencia de las demás células del ápice radical.

Las raíces laterales se originan a partir del tejido en diferenciación que rodea al cilindro vascular (periciclo), mientras que las adventicias se forman a partir de otras partes de la planta como yemas.



Figura 66. Plántula con raíz primario o radícula

6.2. TEJIDOS PRIMARIOS

Al igual que la estructura primaria del tallo, se pueden considerar tres sistemas de tejidos: dérmico, fundamental y vascular (**figura 67**). También se encuentra la llamada caliptra o cofia.



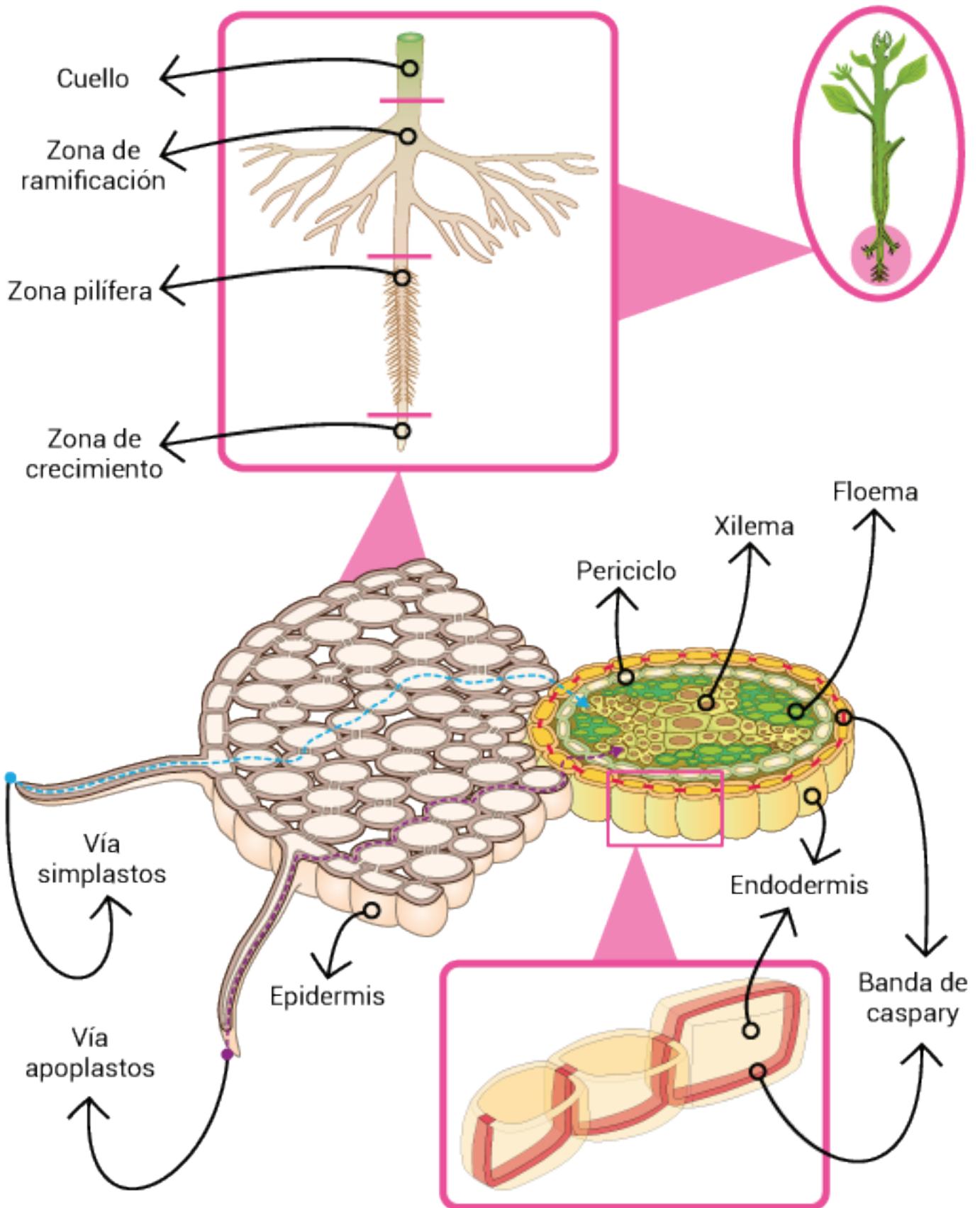
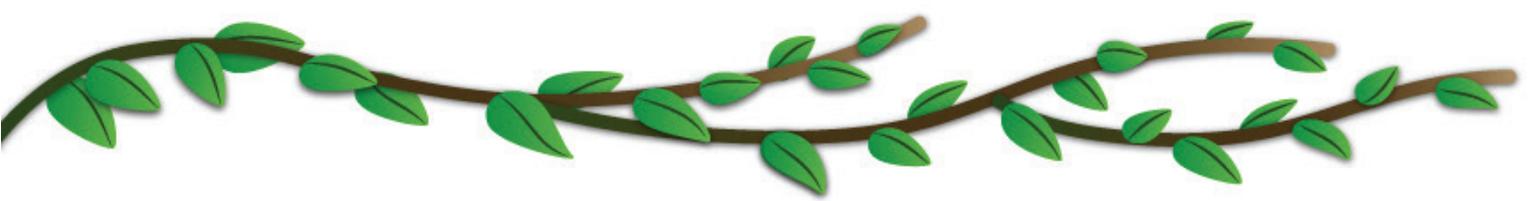


Figura 67. Tejidos de la raíz





6.2.1. Caliptra

Formada por células parenquimáticas en varias fases de diferenciación. Se considera como una estructura de protección al meristemo apical que facilita la penetración al suelo (**figura 68**).

Las células más externas de la caliptra se mantienen en renovación constante, cuando mueren se separan y desintegran, y son reemplazada por células del meristemo apical. La caliptra no se presenta en las plantas parasitas ni en las micorrizas; en las plantas acuáticas esta se desarrolla, mas no permanece, pues sufre un proceso de degeneración.



Figura 68. Caliptra. Foto: Miguel Bonilla-M.

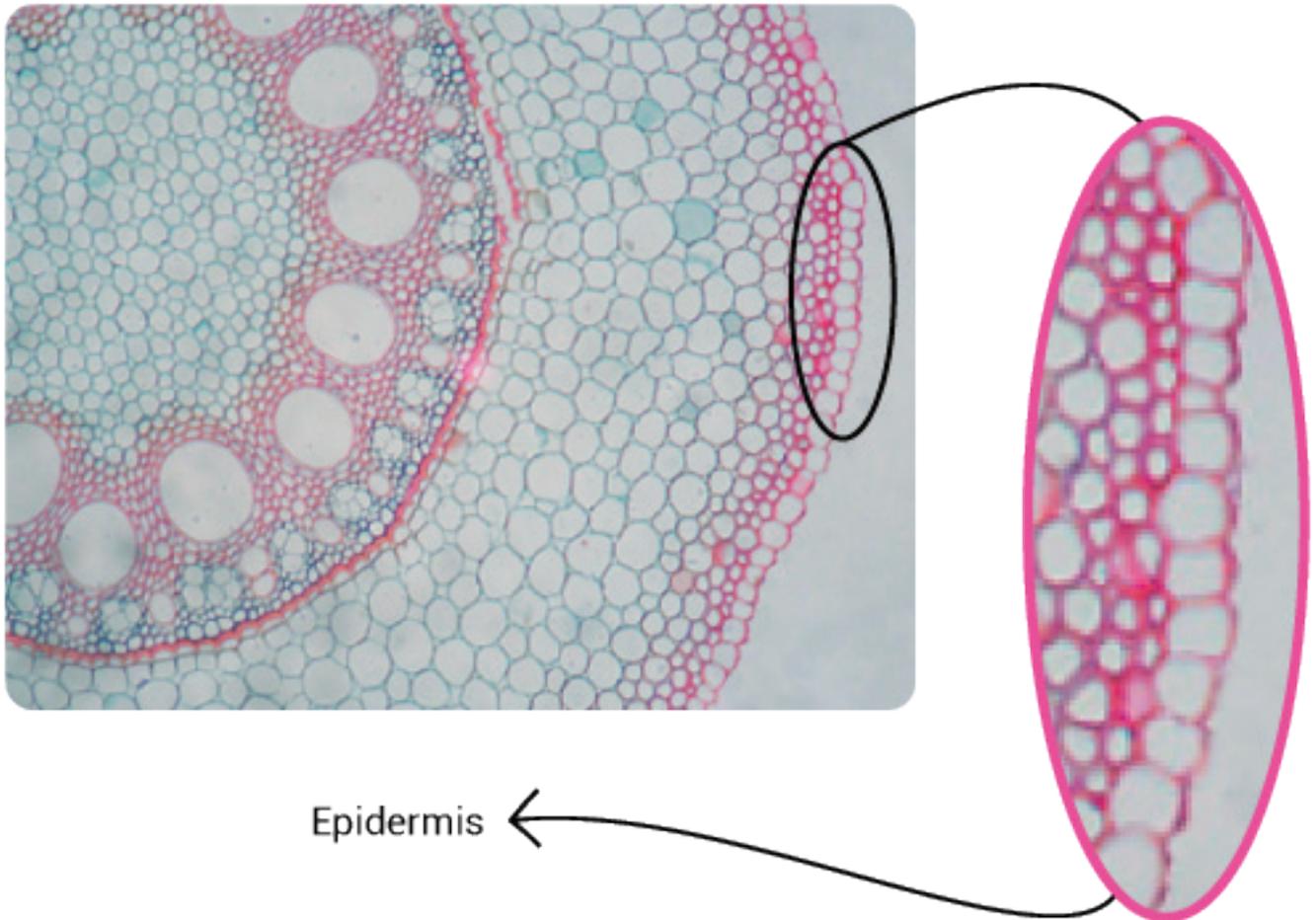
6.2.2. Epidermis

La epidermis no presenta cutícula, aunque a veces, las paredes más externas y los pelos radicales presentan cutinización (**figura 69**). Generalmente las plantas cuentan con una epidermis radicular monoestratificada. En las raíces aéreas, se presenta





una raíz pluriestratificada denominada velamen. Estas son generalmente células muertas con paredes lignificadas.



Epidermis ←

Figura 69. Epidermis
Foto: Diego Izquierdo

6.2.3. *Córtex*

Constituye el tejido de reserva y está formado por células parenquimáticas (**figura 70**). En plantas acuáticas, las células parenquimáticas se disponen dejando espacios intercelulares radialmente y en círculos concéntricos que forman un tipo de aerénquima. En monocotiledóneas, a diferencia de las gimnospermas y dicotiledóneas, además del parénquima, también se desarrolla el esclerénquima en el córtex de la raíz.



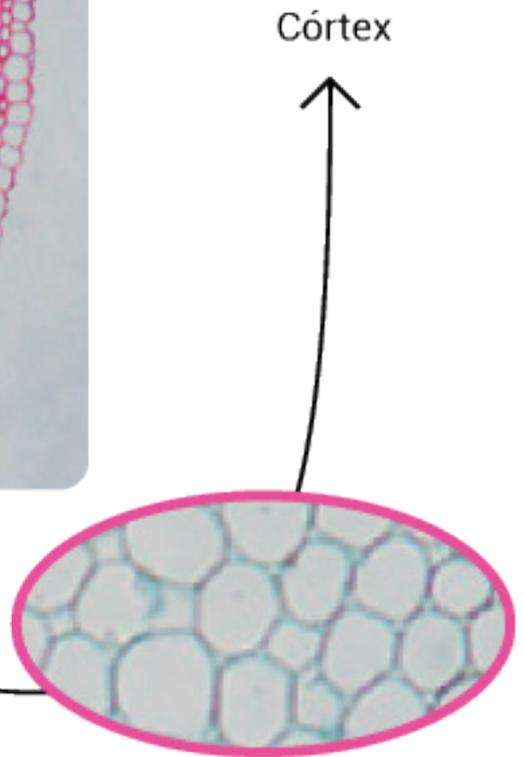
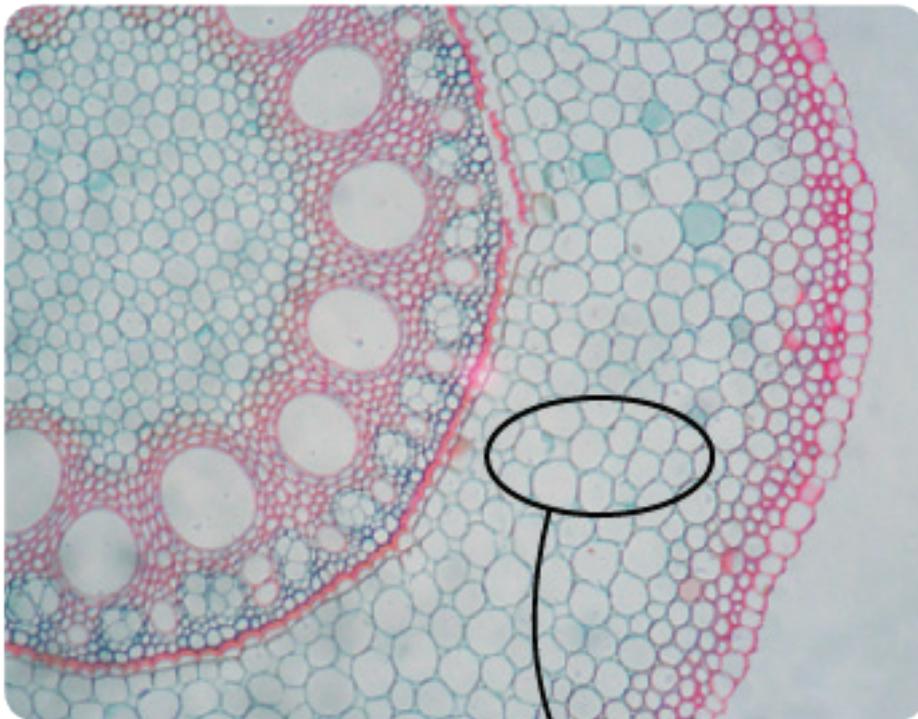
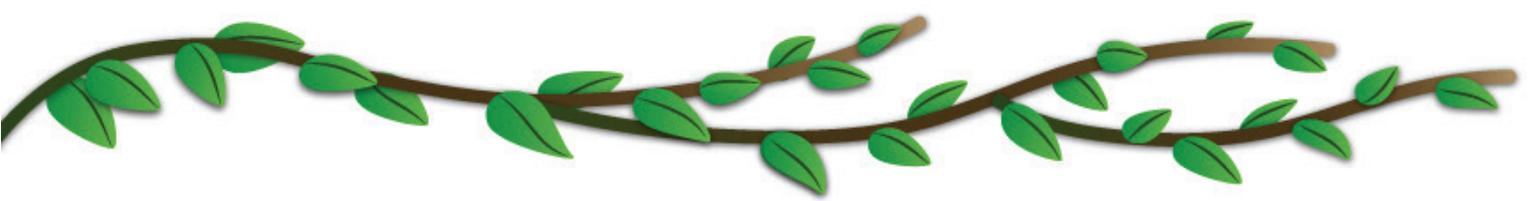


Figura 70. Córte
Foto: Diego Izquierdo.

En el córtex radicular se desarrolla una capa celular interna que forma la endodermis. En las células jóvenes de la endodermis se observa en las paredes radiales y transversales la banda de caspary, compuesta de lignina y suberina (**figura 71**).

Durante el desarrollo primario de la raíz, las células de la endodermis tienen capacidad para crecer longitudinalmente y duplicarse, incluso en el crecimiento secundario anticlinal en algunas raíces, durante las primeras etapas. También se deposita sobre la pared interna de la pared primaria, una lámina de suberina, lignina y, en algunos casos, se observa la banda de caspary.



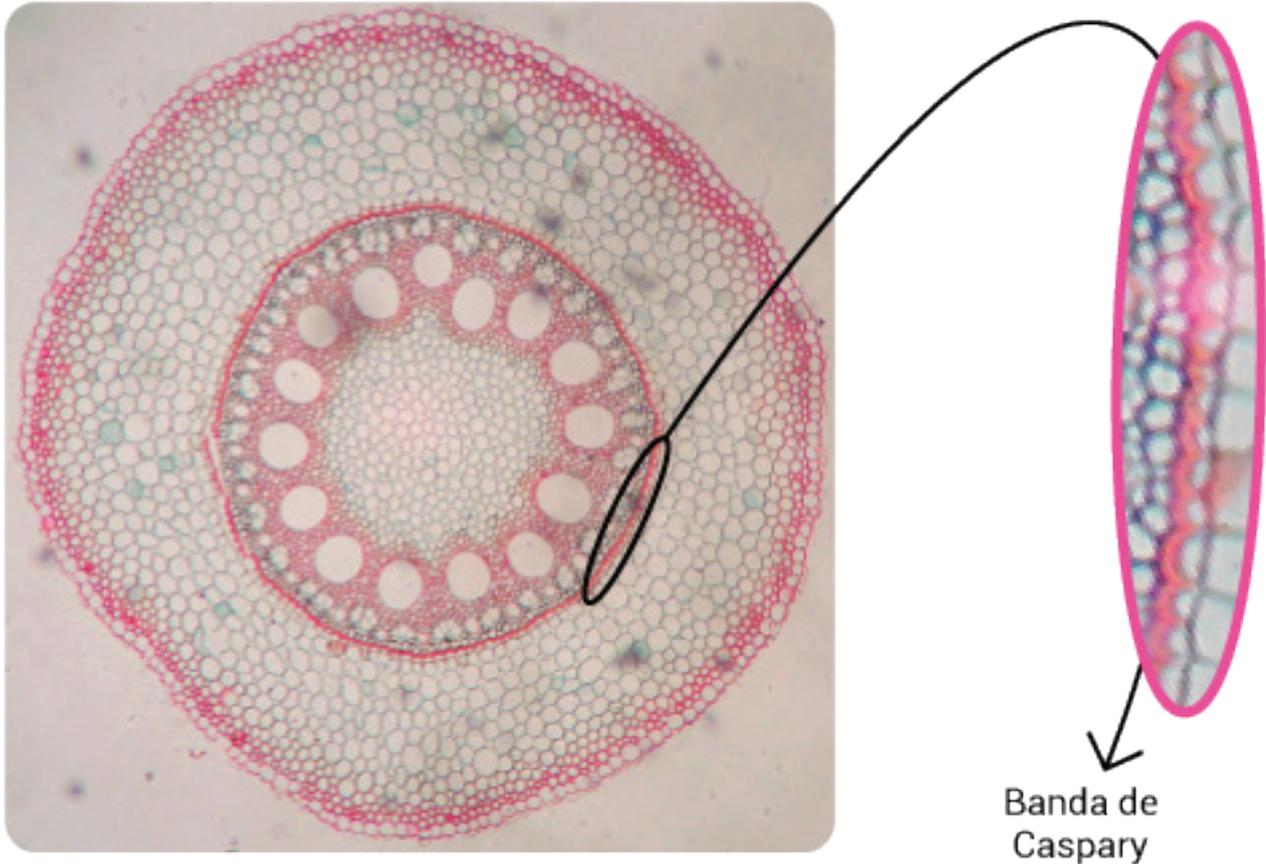


Figura 71. Banda de Caspary
Foto: Diego Izquierdo

6.2.4. Periciclo

Entre la endodermis y los haces vasculares, cuando la raíz es joven, se presentan generalmente una o varias capas de células parenquimáticas con paredes delgadas, que forman el periciclo (**figura 72**). Generalmente tiende a ser pluriestratificado.

Puede estar ausente en plantas acuáticas y parasitas. En angiospermas y gimnospermas, el periciclo presenta actividad meristemática que da origen al cambium vascular, el felógeno y las raíces laterales. En las monocotiledoneas, cuando no hay un crecimiento secundario, todo o parte del periciclo se esclerifica.



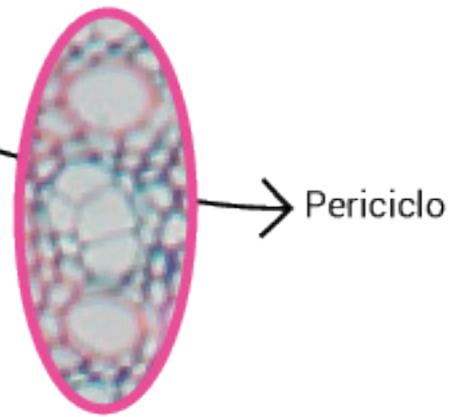
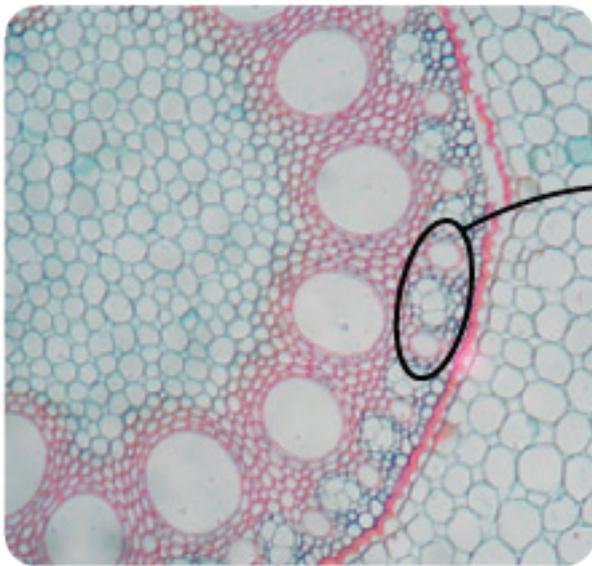


Figura 72. Periciclo
Foto: Diego Izquierdo.

6.2.5. Tejidos vasculares

La delimitación entre el cilindro vascular y el córtex es más evidente en la raíz que en el tallo (**figura 73**). Esto se debe a que el periciclo y la endodermis son bien diferenciados y a que rodean a los tejidos vasculares primarios.

El floema se dispone en forma de cordones bajo el periciclo, cerca de la periferia del cilindro vascular, y con diferenciación centrípeta. El xilema no se encuentra dispuesto sobre el mismo radio que el floema, como en el tallo, sino que forma un cuerpo central o se dispone en cordones que alternan con los haces floemáticos. Según el número de cordones xilemáticos, se distinguen raíces monarcas, diarcas, triarcas, tetrarcas y poliarcas.

La raíz presenta un protoxilema exarco, que madura en la parte externa del cilindro vascular, por ello se localiza en la periferia, mientras que el metaxilema se localiza en el interior. Los elementos traqueales del xilema se encuentran comunicados por anastomosis laterales. Y las raíces que poseen médula presentan conexiones laterales en el floema (**figura 74**).

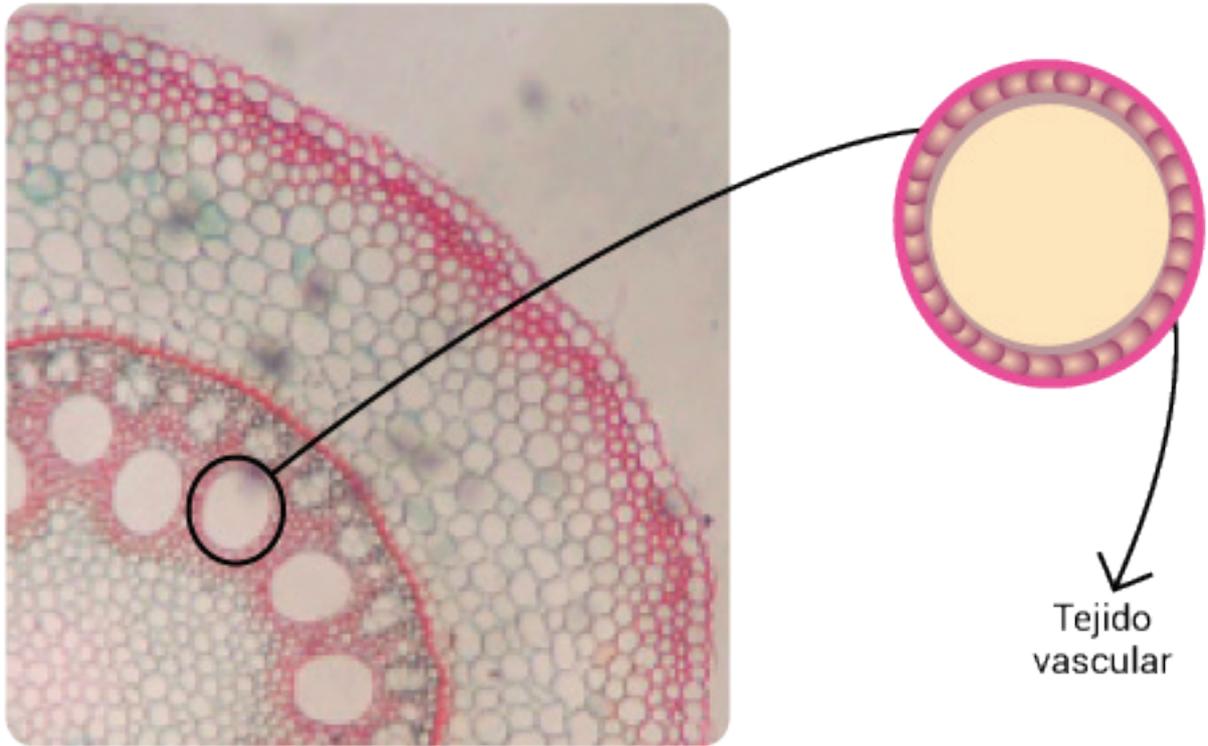


Figura 73. Tejidos vasculares de la raíz
Foto: Diego Izquierdo.

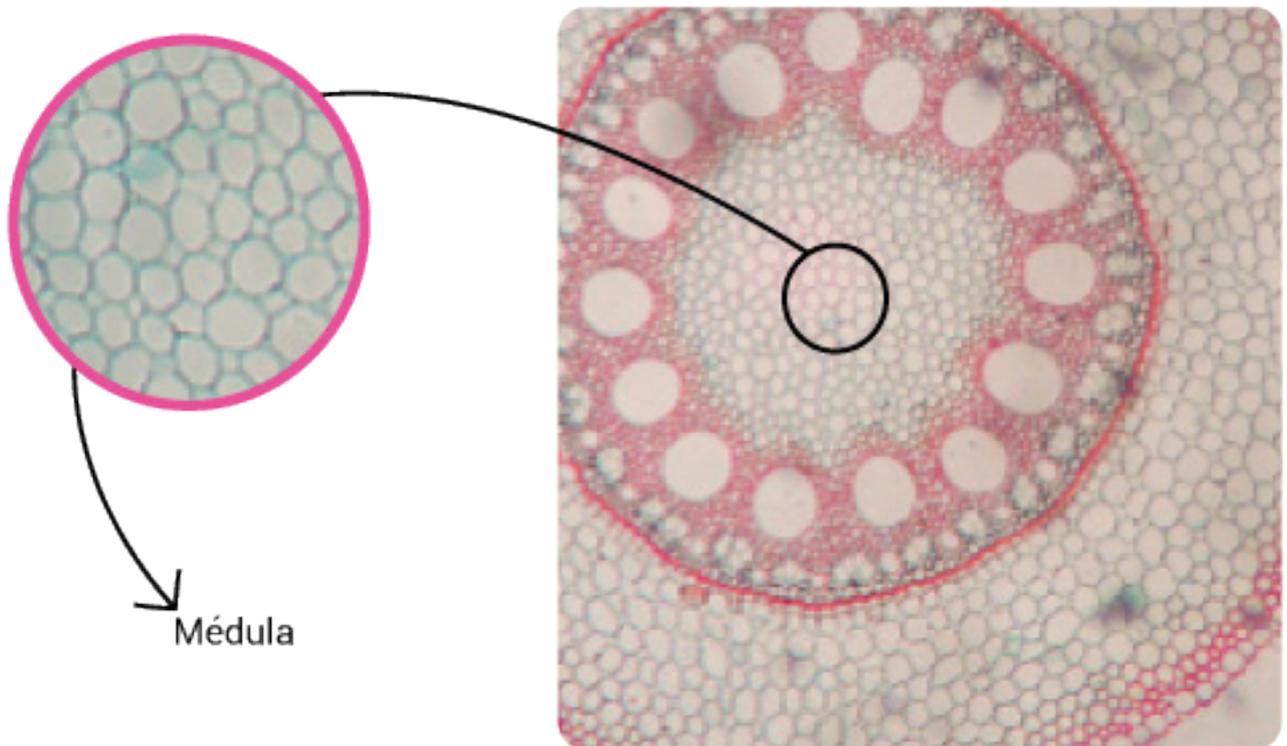
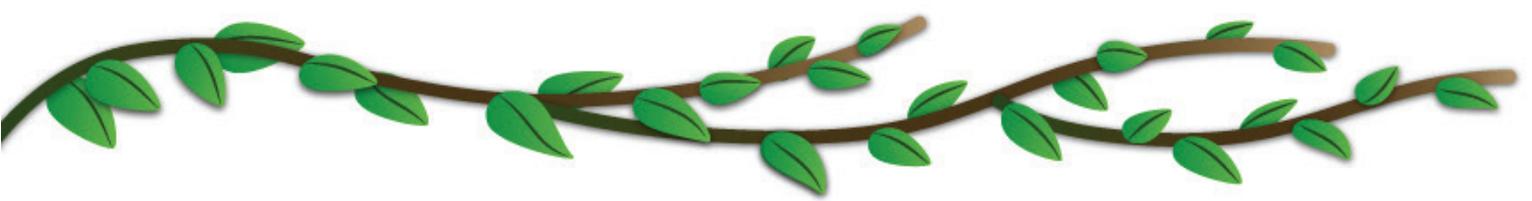


Figura 74 . Médula de la raíz, relación de tejidos vasculares
Foto: Diego Izquierdo.





Las células del parénquima se encuentran asociadas a los elementos conductores del xilema y del floema. En las raíces que no experimentan un crecimiento secundario, el parénquima está asociado al tejido primario que tiende a esclerificarse.

6.3. DESARROLLO DE LAS RAÍCES LATERALES

En angiospermas y gimnospermas, las raíces laterales se originan a partir del periciclo (**figura 75**) y en las criptógamas vasculares a partir de la endodermis. Los sistemas vasculares de la raíz principal y lateral son independientes, pero se relacionan por medio de células intermedias derivadas del periciclo y que dan lugar a las traqueidas y elementos cribosos.

6.4. CRECIMIENTO SECUNDARIO

Las raíces de las gimnospermas y de la mayoría de las dicotiledóneas experimentan un crecimiento secundario que se origina a partir de la raíz primaria. Este crecimiento origina el cambium vascular y el felógeno. En las criptógamas vasculares y la mayoría de las monocotiledóneas no presentan crecimiento secundario.

Al igual que en el tallo, el cambium vascular de la raíz forma cilindros continuos de xilema y floema secundarios. La formación de la peridermis tiene lugar después de iniciar la producción de los tejidos vasculares secundarios.



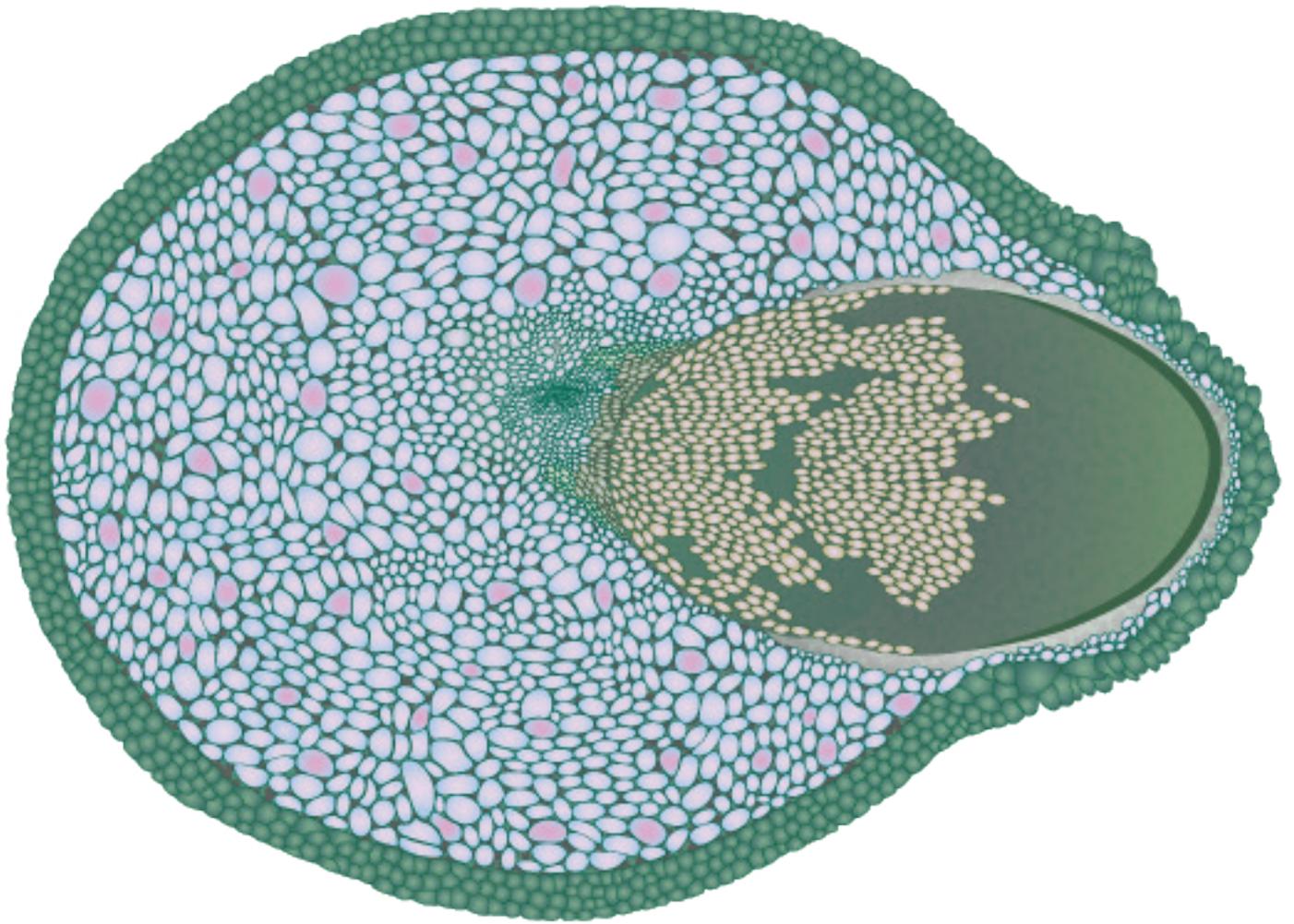


Figura 75 . Raíz lateral de angiosperma



Capítulo 7

Tallo

TALLO

7. Tallo

Órgano de la planta que soporta las ramas, hojas, flores y frutos. Tiene la función de conducir el agua y minerales absorbidos por la raíz, como los fotoasimilados, a los diferentes órganos que la constituyen.

7.1. CRECIMIENTO PRIMARIO DEL TALLO

El tallo tiene su origen en el epicótilo del embrión después de la germinación de la semilla; por lo tanto, su desarrollo y crecimiento permite la formación de hojas verdaderas y meristemas apicales, que continúan con la prolongación del tallo y el origen de nuevos órganos. De tal manera, el crecimiento y desarrollo primario del tallo está dado por los meristemas apicales y laterales.

Está constituido principalmente de epidermis, corteza, tejido vascular y médula (**figura 76**). Adicional, incluye las trazas foliares, donde los haces vasculares del tallo se extienden para ingresar a la hoja en cada nudo del tallo. La laguna foliar se presenta cuando el sistema vascular está en los entrenudos en forma de cilindro no continuo.



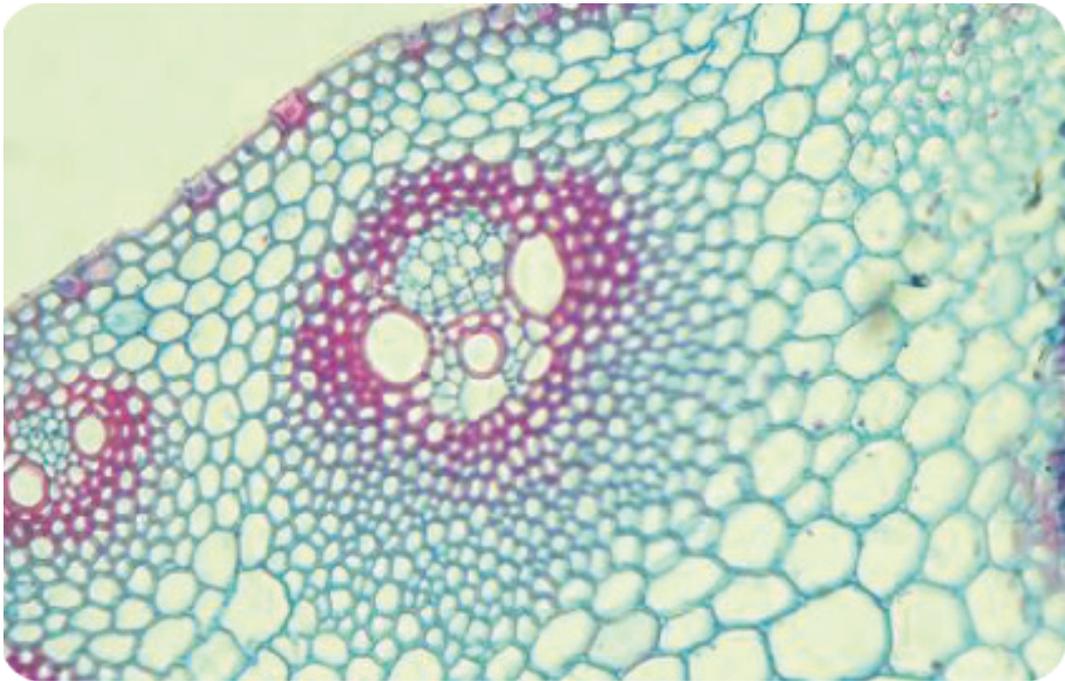


Figura 76 . Tejidos del tallo
Foto: Miguel Bonilla-Morales.

7.1.1. Epidermis

Generalmente se encuentra constituida por una capa continua de células (**figura 77**). Estas células contienen cutina o cera en sus paredes celulares que permiten regular el intercambio gaseoso.

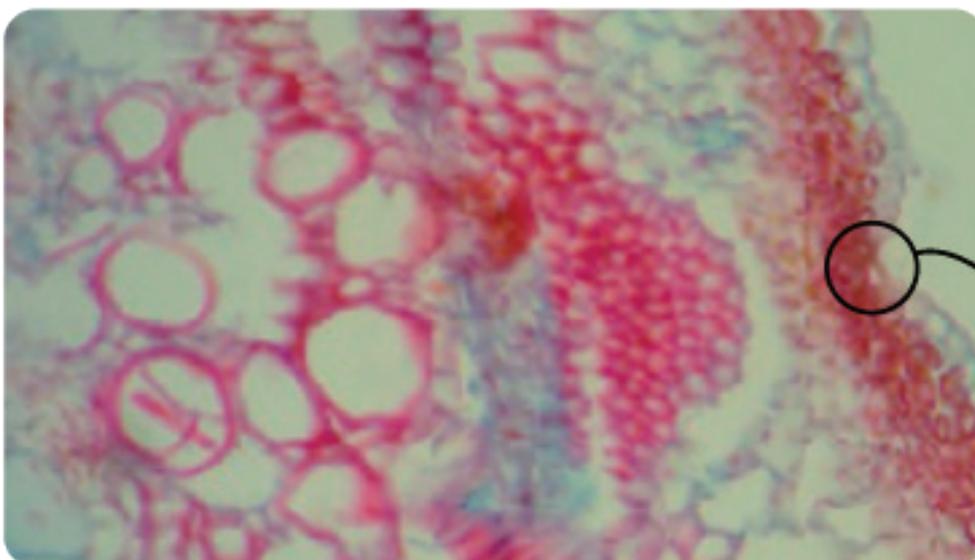


Figura 77 . Epidermis del tallo. Foto: Miguel Bonilla-Morales.





Algunos tallos presentan tricomas, estomas o espinas (**figura 78**). Estas estructuras hacen más eficiente los procesos de transpiración o protegen a la planta de agentes herbívoros.



Figura 78. Espinas en tallo. Foto: Miguel Bonilla-Morales.

7.1.2. Corteza

Las células de la corteza se encuentran distribuidas entre la epidermis y el tejido vascular (**figura 79**). Está constituida principalmente de tejido fundamental de tipo parenquimático fotosintético o de reserva. Adicionalmente, la parte más externa puede presentar esclerénquima o colénquima que colinda con la epidermis. En algunos grupos de plantas presentan vasos laticíferos.





Figura 79. Corteza del tallo. Foto: Natalia Briceño Pinto

7.1.4. Tejido vascular

El xilema y el floema son los tejidos responsables del transporte de agua y nutrientes (**figura 80**). Generalmente, las eudicotiledóneas y las gimnospermas presentan los haces en círculo, donde queda un parénquima interfascicular, en monocotiledóneas se encuentran dispersos en el parénquima.



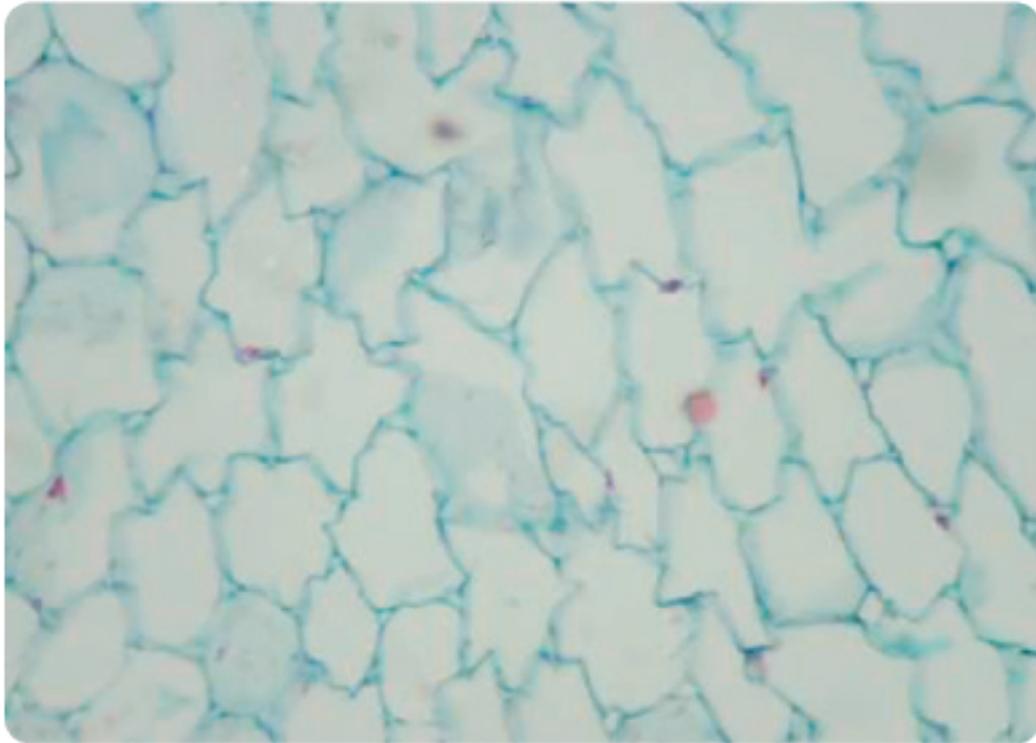


Figura 80. Tejido vascular del tallo. Foto: Diego Izquierdo.

7.1.5. Médula

La zona central de la región interna del tallo se encuentra constituida por tejido hueco o parenquimático que, principalmente, rodea al tejido vascular (**figura 81**).

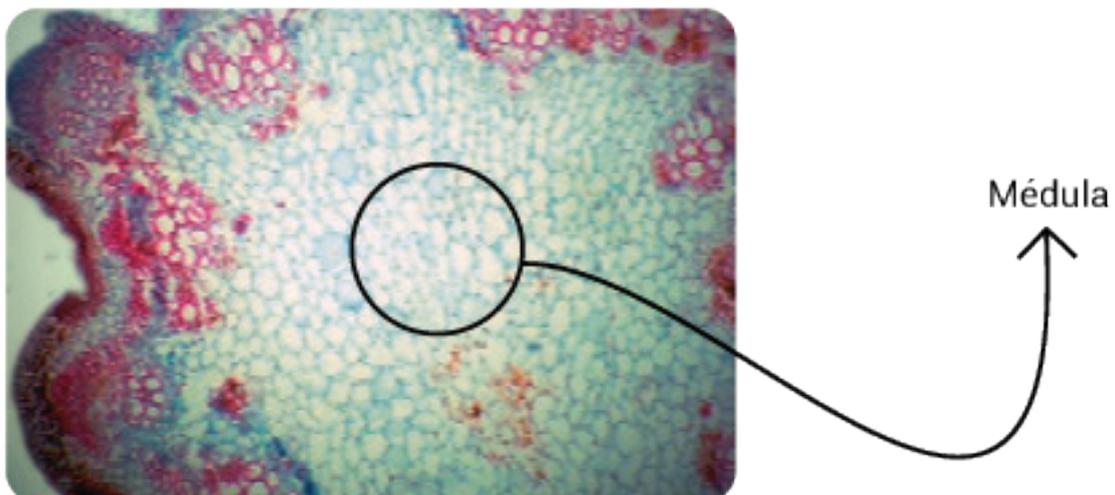
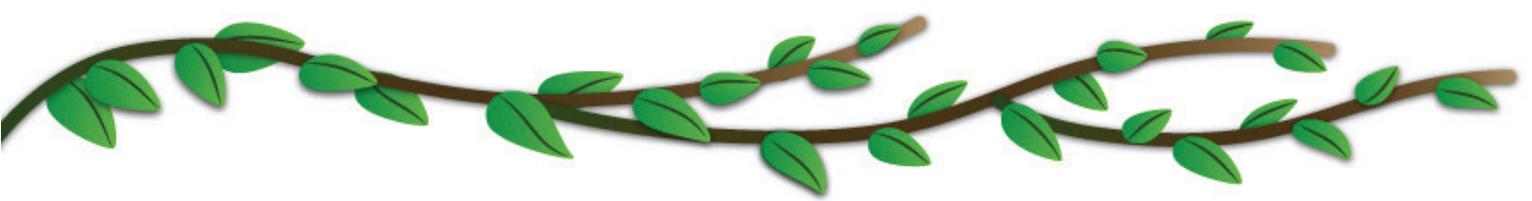


Figura 81. Médula del tallo. Foto: Miguel Bonilla-Morales.





7.2. CRECIMIENTO SECUNDARIO DEL TALLO

El crecimiento secundario es propio del cambium vascular, por lo que da origen al xilema y floema secundario y, el cambium suberoso que posee tejido suberoso y felodermis, denominado también felógeno (**figura 82**). El cambium vascular está constituido por células iniciales fusiformes y radiales. Las fusiformes se diferencian como xilema hacia el interior y corresponden al sistema vertical. Las radiales constituyen el parénquima y pertenecen a un sistema horizontal. El cambium está situado entre el xilema y el floema primario, por lo tanto, produce, al interior del eje, xilema secundario, y al exterior, floema secundario.

La peridermis, *peri* (gr. alrededor) y *derma* (gr. piel), es un tejido secundario que reemplaza la dermis, cuando el tallo experimenta engrosamiento secundario (**figura 82**). No obstante, la peridermis es formada por meristemas secundarios laterales, cambium suberoso o felógeno. Por consiguiente, el cambium suberoso posee un solo tipo de células y el cambium vascular se constituye de células radiales y fusiformes (**figura 82**).

El felógeno es el encargado de la formación o producción de la peridermis. Este genera divisiones periclinales que dan lugar a filas celulares con disposición radial. El súber es producido por el felógeno, y su crecimiento se da principalmente hacia el exterior.

La felodermis (córTEX secundario) está formado por células del felógeno, y su crecimiento se da al interior del tallo. El felógeno se origina muy cerca a la superficie de los tallos en la capa subepidérmica, y en algunos casos puede originarse de células epidérmicas.



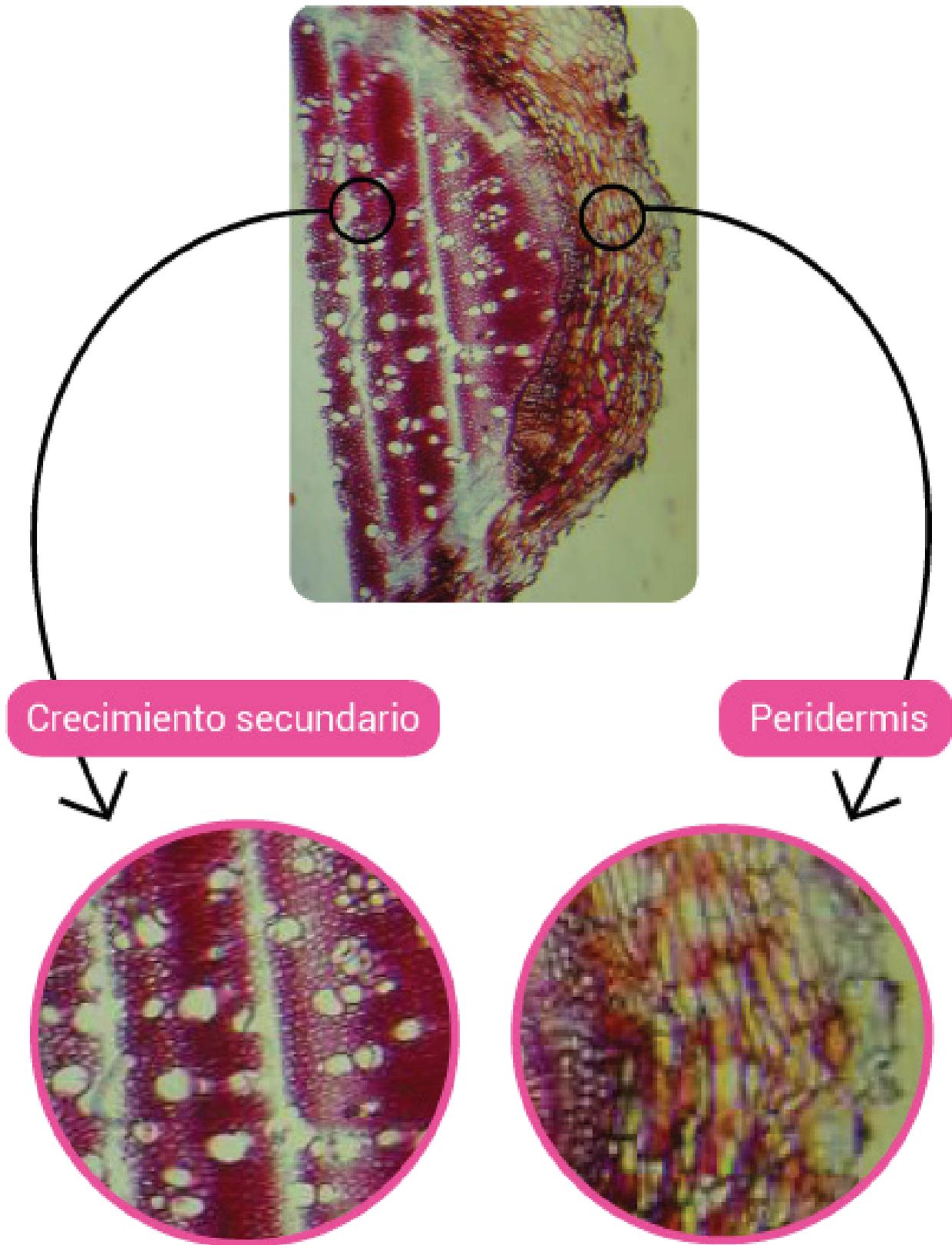


Figura 82 . Crecimiento secundario del tallo y Peridermis del tallo

Foto: Miguel Bonilla-Morales.





Capítulo 8

Hoja

HOJA

8. Hoja

Las hojas son órganos de funciones especializadas como la fotosíntesis y la respiración. El crecimiento apical de las hojas es limitado y la disposición de tejidos es diferente, mientras el tallo facilita la conducción vertical de sustancias, el soporte de partes aéreas y el almacenamiento. Las hojas pueden ser microfilos o macrofilos según su origen. Los microfilos son pequeños y laterales del tallo. Los macrofilos o megafilos son derivados de ramas con crecimientos limitados y se transforman en hojas.

8.1. MORFOLOGÍA DE LA HOJA

En las angiospermas, el limbo de la hoja es laminar y sésil (no hay presencia del peciolo), algunas presentan vaina como en monocotiledóneas o peciolo como en las eudicotiledóneas (**figura 83**). Las hojas se clasifican en simples y compuestas (pinnadas), con apéndices basales pequeños en el rudimento foliar, como las estipulas que protegen la yema axilar, o son fotosintéticas. En hojas compuestas se conocen como estípelas. Los meristemas son los responsables del crecimiento y el desarrollo de la hoja.



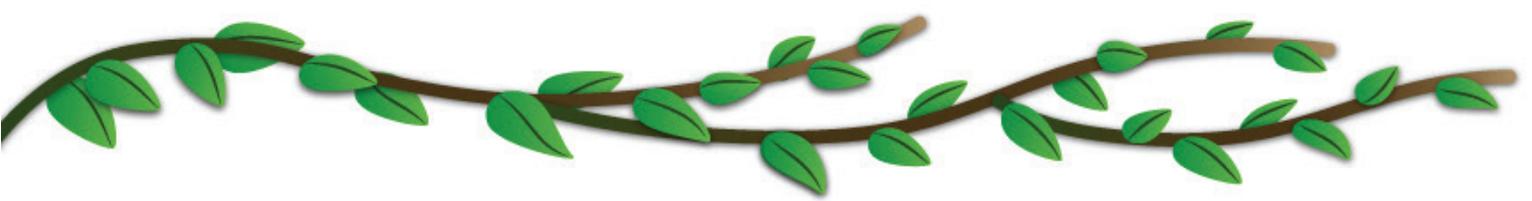


Figura 83. Hoja. Foto: Natalia Briceño Pinto

8.2. HISTOLOGÍA DE LA HOJA

La hoja se encuentra constituida de pecíolo y lámina foliar. En este último componente se encuentran el tejido epidérmico (epidermis adaxial y abaxial), tejido fundamental (parénquima de empalizada y esponjoso) y vascular (xilema y floema) (**figura 84**).



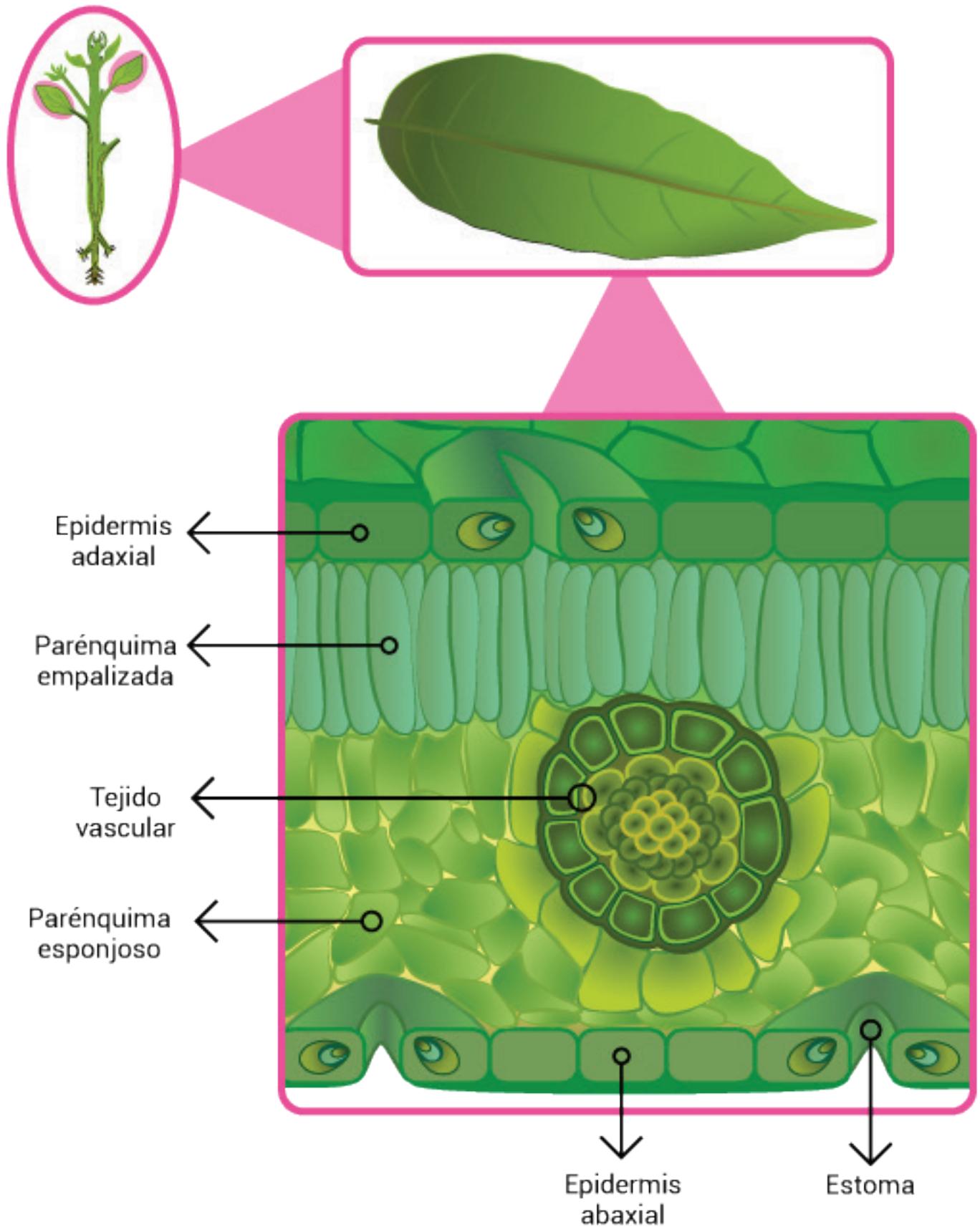
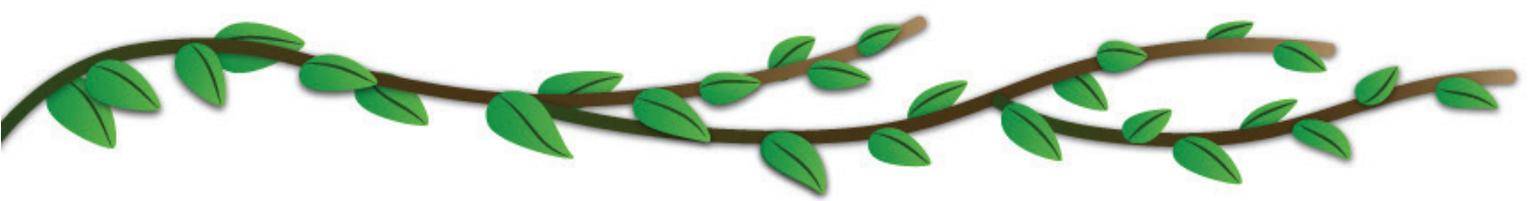


Figura 84. Componentes histológicos de la hoja





8.2.1. La epidermis

La lámina foliar posee dos epidermis, una es superior o adaxial y otra inferior o abaxial. La epidermis está constituida por células uniestratificadas o múltiples (**figura 85**). Posee células oclusivas que son células anexas fundamentales en la regulación estomática y transpiración. Adicionalmente, algunas presentan tricomas.



Figura 85. Epidermis de la hoja. Foto: Miguel Bonilla-Morales.

8.2.2. Mesófilo

El mesófilo, *meso* (medio) y *phyllos* (hoja), hace referencias al tejido que se encuentra entre la haz y el envés, en el medio de la hoja. Constituye el tejido fotosintético, y presenta dos tejidos: parénquima empalizado y esponjoso (**figura 86**).

El parénquima empalizado se genera a partir de las células alargadas y se localiza en la haz de la lámina foliar. Presenta cloroplastos muy especializados en la fotosíntesis.

En zonas muy húmedas, las hojas solo presentan parénquima empalizado en la cara adaxial. El parénquima esponjoso tiene espacios intercelulares conspicuos o expansiones laterales que facilitan el intercambio gaseoso.



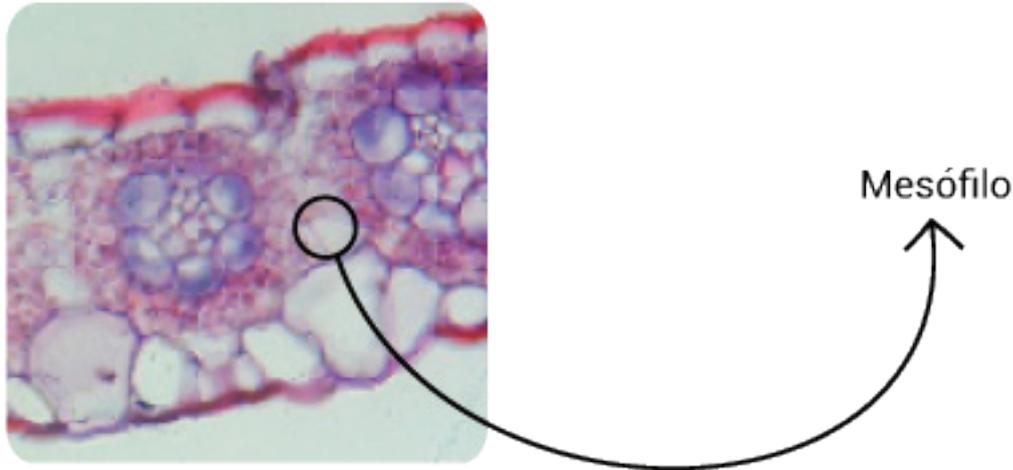


Figura 86. Mesófilo de la hoja. Foto: Miguel Bonilla-Morales.

8.3. SISTEMA VASCULAR

Las diferencias del primordio foliar en crecimiento son notables en el eje del procambium y nervio medio. El procambium va en desarrollo a la dirección de la hoja (acrópeto). El crecimiento del limbo con algunas estructuras es sincrónico e intercalado. La lámina foliar se desarrolla con los nervios laterales principales y seguidamente la neriación secundaria (figura 87).

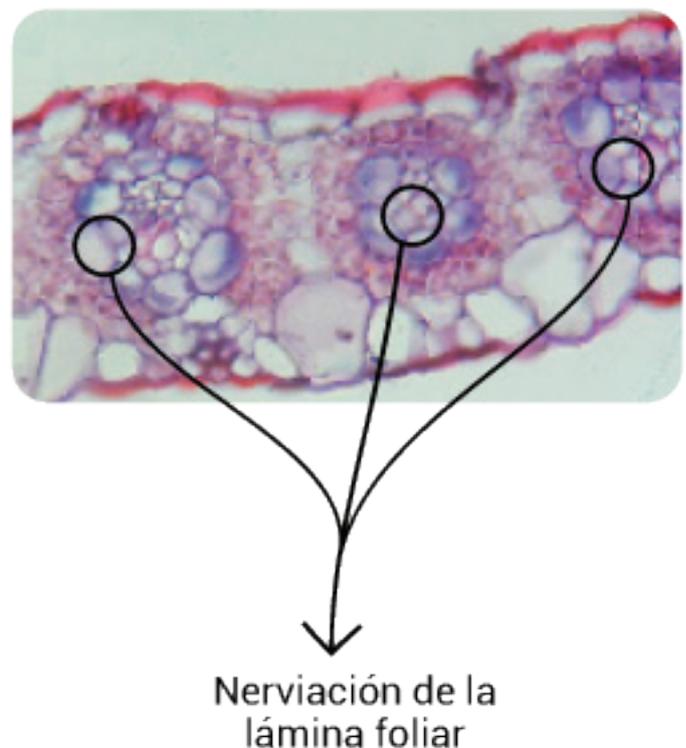


Figura 87 . Nerviación de la lámina foliar
Foto: Miguel Bonilla-Morales.





El tejido vascular que madura primero en las hojas es el floema con crecimiento acrópeta en dirección al protoxilema y el protofloema durante el desarrollo longitudinal de la hoja (**figura 88**). Cuando termina, el metaxilema y metafloema son diferenciados por el crecimiento basípeta.

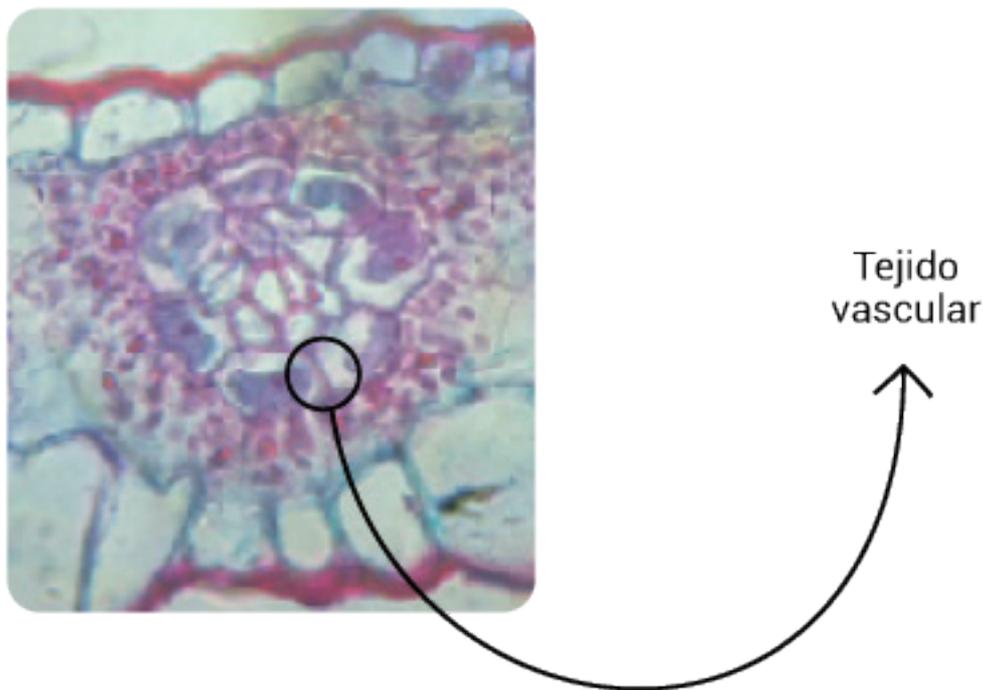


Figura 88. Sistema vascular de la hoja. Foto: Miguel Bonilla-Morales.

8.4. PECIOLO

El peciolo es parte de la hoja. Cuando no está presente, la hoja se encuentra insertada al tallo y los tejidos tienen similitud (**figura 89**). La epidermis del tallo procede del peciolo, por lo tanto, la presencia de cloroplastos disminuye en el tejido parenquimático. La acacia es una especie que presenta modificación de peciolo al remplazar la lámina foliar. El parénquima se asemeja más al córtex que al mesofilo. En algunos casos, el peciolo puede tener solo tejido esclerenquimático o, inclusive, se combina con el colenquimático.





Peciolo



Figura 89. Peciolo de la hoja. Foto: Miguel Bonilla-Morales.





Capítulo 9

Flor y Fruto

FLOR Y FRUTO

9. Flor y fruto

En la flor tiene lugar la macrosporogénesis y microsporogénesis para la formación de gametos femeninos y masculinos, que interactúan en la fecundación. Seguido, el rudimento seminal se convierte en semilla y las paredes del ovario se transforman para dar origen al fruto. Este contiene la semilla hasta la madurez, que proporciona protección, suministro de nutrientes y dispersión.

9.1. ORIGEN DE LA FLOR

La floración tiene lugar cuando un meristemo vegetativo recibe una determinada señal que altera su desarrollo y se modifica a un meristemo floral (**figura 90**). Las partes florales aparecen en el eje, de tal manera que se encierran unas entre otras, esto debido a que la flor no presenta crecimiento de entrenudos. Las partes florales pueden aparecer en orden acrópeto (sépalos, pétalos, estambres y carpelos) o aparecer en disposición cíclica. En cuanto a la histogénesis, los sépalos y pétalos se derivan de las divisiones periclinales en una o más capas celulares próximas a la superficie del ápice floral.



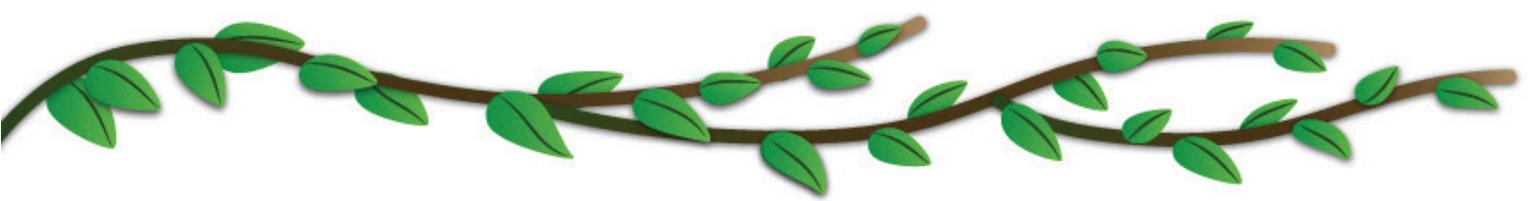


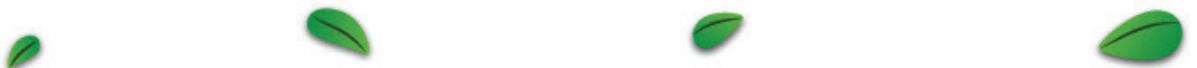
Figura 90. Flor. Foto: Miguel Bonilla-Morales.

9.1.1. Desarrollo de la flor

Generalmente las flores se unen al tallo a través del pedúnculo (flores) y pedicelo (inflorescencias) (**figura 91**). Estas estructuras forman al final un receptáculo (torus) donde nacen los verticilos florales (sépalos, pétalos, androceo y gineceo). El perianto, los sépalos y los pétalos son muy similares a la hoja. Generalmente son estructuras protectoras de la flor.



Figura 91. Estructuras florales. Foto: Miguel Bonilla-Morales.



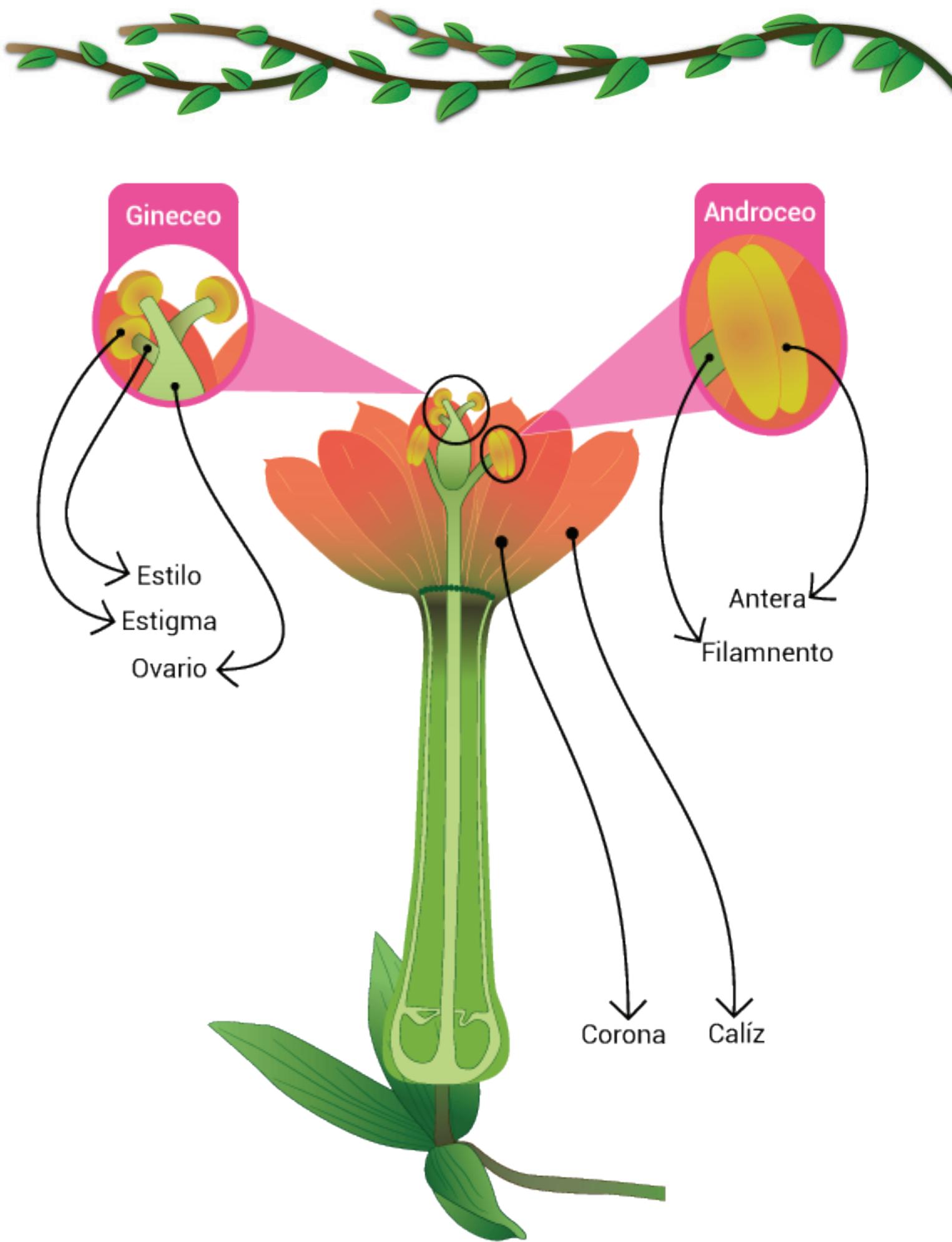
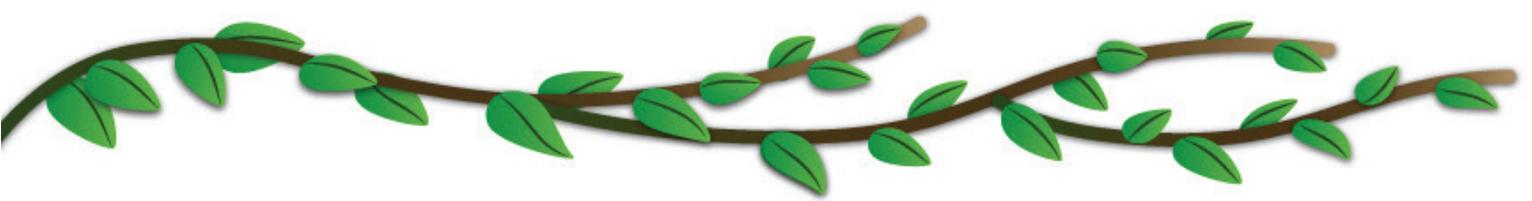


Figura 92. Estructuras florales



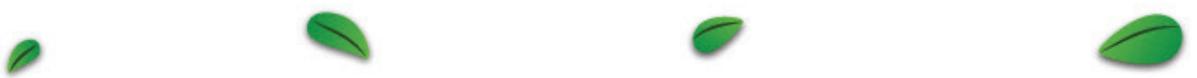
El androceo está constituido por el filamento y la antera (**figura 92**). Esta última estructura está dividida en tecas y sacos polínicos, donde ocurre el proceso de la microsporogénesis para la producción de polen (microsporas). El gineceo se conforma de estigma, estilo y carpelo. La megasporogénesis, permite la formación de la megaspora o saco embrionario.

9.2. EL FRUTO

El desarrollo del fruto es resultado de la fecundación del gineceo, en el cual intervienen otras partes como el receptáculo y perianto. El fruto partenocarpico se forma sin la fecundación y es característico de algunas variedades, y los primordios y óvulos no se transforman en semillas.



Figura 93. Fruto. Foto: Miguel Bonilla-Morales.





Los frutos están divididos en carnosos y secos. Según la constitución del pericarpio pueden ser dehiscentes o indehiscente. Dehiscente cuando se abren en cualquier momento y dejan libres las semillas, indehiscentes cuando el pericarpio está unido a la semilla hasta que se descompone para dejarlas libres.

El pericarpio está constituido por varias capas. La parte más externa es denominada exocarpo o epicarpo, la intermedia mesocarpo y la más interna endocarpo. El endocarpo y el exocarpo se encuentran constituidos por tejido epidérmico en la mayoría de los casos y el mesocarpo suele estar constituido por células de carácter parenquimatoso, principalmente de reserva (**figura 93**).





BIBLIOGRAFÍA

Ausderick, T., Ausderick, G., Byers, B. (2003). *Biología 1: unidad en la diversidad*. Nueva Jersey: Prentice Hall.

Azcón-Bieto, J., Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. México: McGraw-Hill.

Cárdenas, R., Caballero, M., Cañedo, I., Castro, C., Cuapio, P., et al. (1997). *La biología celular y molecular del aparato de Golgi. Notas para el curso de Biología Celular Avanzada I*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Clark, S., Running, M., Meyerowitz, E. (1995). CLAVATA3 is a specific regulator of shoot and meristem development affecting the same processes as CLAVATA1. *Development*, (121), 2057-2067.

Cortez, F. (1980). *Manual de histología vegetal básica*. Madrid: Hermann Blume.

García, G. (2009). Los peroxisomas y su importancia biomédica: un tema mal entendido y muy mistificado. *Revista Médica Sanitas*, 12(2), 30-40.

Geydan, T., Melgarejo, L. (2006). Plasmodesmos: estructura y función. *Acta Biológica Colombiana*, 11, 91-96.

Grob-Hardt, R., Laux, T. (2003). Stem cell regulation in the shoot meristem. *Journal of cell science*, (116), 1659-1666.



Heisler, M., Jönsson, H. (2007). Modelling meristem development in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(1), 92-97.

Karp, G. (2006). *Biología celular y molecular: conceptos y experimentos*. México: Mcgraw-Hill - Interamericana de México.

Lynn, M., Jackson, D. (2004). Plasmodesmata form and function. *Current Opinion in Cell Biology*. 16(5), 500-506.

Mejía, M. (2010). *Conceptos sobre fisiología de absorción y funciones de los minerales en la nutrición*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

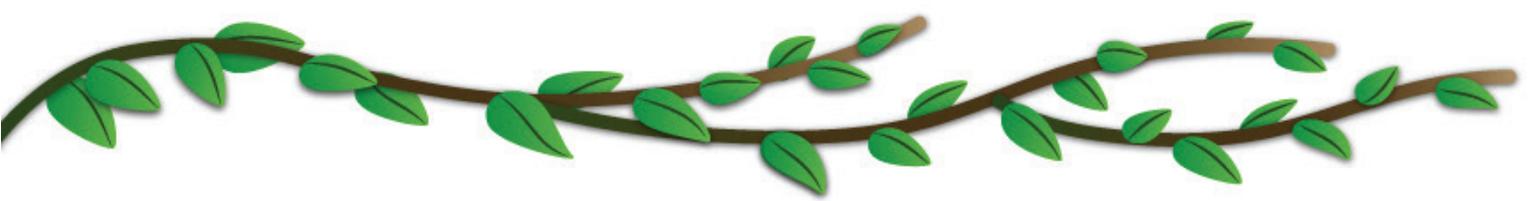
Molist, P., Pombal, M., Megías, M. (2007). *Atlas de histología vegetal y animal*. Vigo, España: Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud – Facultad de Biología – Universidad de Vigo. Recuperado de <https://mmegias.webs.uvigo.es/inicio.html>

Universidad Nacional del Nordeste – Facultad de Ciencias Agrarias. (1998-2015). *Morfología de plantas vasculares. Anatomía de raíz*. Corrientes, Argentina: Recuperado de www.biologia.edu.ar/botanica/print/tema20.pdf

Nyklas, K. (1997). *The evolutionary biology of plants*. Chicago: The University of Chicago Press.

Ramírez, H., Guevara, M., Escobar, R. (2012). *Cultivo de tejidos vegetales, concepto y prácticas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira - Editorial Feriva S.A.





Sampedro, J. (2002). *Deconstruyendo a Darwin: Los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética*. Barcelona: Crítica.

Espinel, C. 2005. *Biología molecular de la célula eucariota animal*. Bogotá: Biogénesis – Editorial Marín Vieco Ltda.

Shimizu, R., Jiabing, J., Kelsey, E., Kazuhiro, O., Schnable, S., Scanlon, J. (2009). Tissue specificity and evolution of meristematic WOX 3 Function. *Plant Physiology*. 149(2), 841-850.

Vallejo, C., Espitia, M., Estrada, E., Ramírez, H. (2010). *Genética vegetal*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.







DATOS DE AUTORES

Adriana Carolina Aguirre Morales

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas, magíster en Ciencias biológicas de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en el estudio de los recursos fitogenéticos de especies nativas y endémicas de la flora colombiana a través de la biotecnología, la taxonomía, la fitogeografía y actualmente la educación ambiental. Ha tenido experiencia como docente e investigadora universitaria en las áreas de cultivo de tejidos vegetales y propagación vegetal. En los últimos años, y en pro de la conservación, fue cofundadora de CorpOrquídea, entidad dedicada al estudio, conservación y uso sostenible de las orquídeas a través de la educación. Dentro de las líneas de trabajo de CorpOrquídea estableció la "Red de Escenarios Pedagógicos en Orquídeas - REPO", la cual se ha instaurado en cerca de 30 instituciones educativas del departamento del Meta, un espacio de formación para profesores y estudiantes.

CvIac:

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvIac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001566730

Orcid:

<https://orcid.org/0000-0002-5908-0362>

Google Académico:

<https://scholar.google.es/citations?user=uD2w02QAAAAJ&hl=es&oi=sra>



Miguel Macgayver Bonilla Morales

Licenciado en producción agropecuaria de la Universidad de los Llanos, magíster en Ciencias biológicas de la Universidad Nacional de Colombia. Durante la última década ha ejercido como profesor e investigador universitario en pregrado y posgrado en el área de biología, botánica, biodiversidad, propagación vegetal y biotecnología. Actualmente es director científico de Corporquídea, cuyo objetivo ha sido la investigación y la educación en orquídeas como en biodiversidad. Desde el cargo de director de la Asociación Orquideológica de la Orinoquía se ha enfocado en el apoyo de la REPO (Red de Escenarios Pedagógicos en Orquídeas). Dentro de las líneas de investigación del grupo que lidera, EduCiTec, están orquídeas y biodiversidad, inventarios florísticos, taxonomía, sistemas de información geográfico y estrategias de conservación, donde se producen diferentes trabajos que son publicados en revistas indexadas a nivel nacional como internacional, que involucran nuevos registros y nuevas especies para Colombia, estudios de diversidad e inventarios de municipios y departamentos, además de análisis espacial de la biodiversidad, y línea de educación y tecnología donde se ha generado diversos productos digitales para la enseñanza.

Cvlab:

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlab/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000003422

Orcid:

<https://orcid.org/0000-0002-2054-6815>

Google Académico:

https://scholar.google.com.co/citations?user=_2p5DuAAAAAJ&hl=es





Oscar Manuel Agudelo Valera

Ingeniero de Sistemas egresado de la Universidad Francisco José de Caldas, con estudios de especialización en Desarrollo de software para redes, maestría en Ciencias de la Información y las comunicaciones, además de varios cursos técnicos en el área de Ingeniería de Sistemas. Vinculado a la Universidad de los Llanos desde el año 2000 a la facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Adicionalmente se ha desempeñado como director del Instituto de Informática, Centro de Proyección Social, representante de los profesores ante el Consejo de F.C.B.I. y Consejo Académico, director del grupo de investigación Horizonte Mediático de la Universidad de los Llanos. Director de diversos proyectos de investigación y proyección social.

Cvlac:

https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000972487

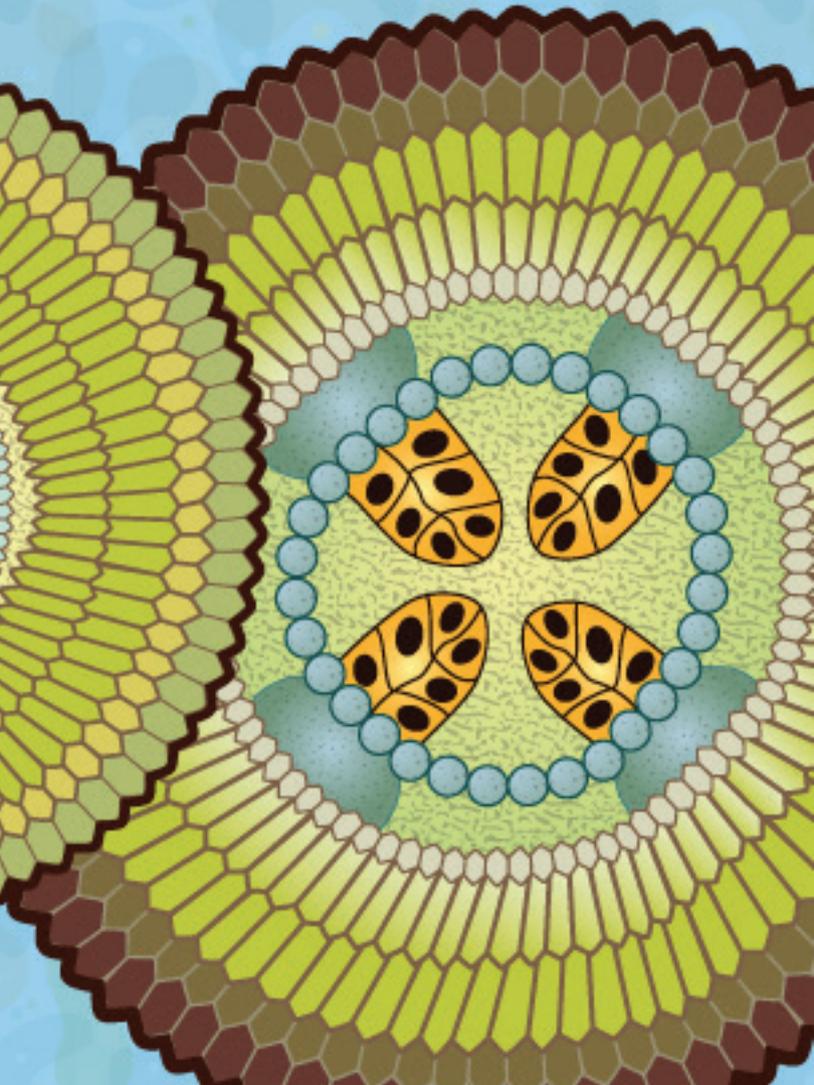
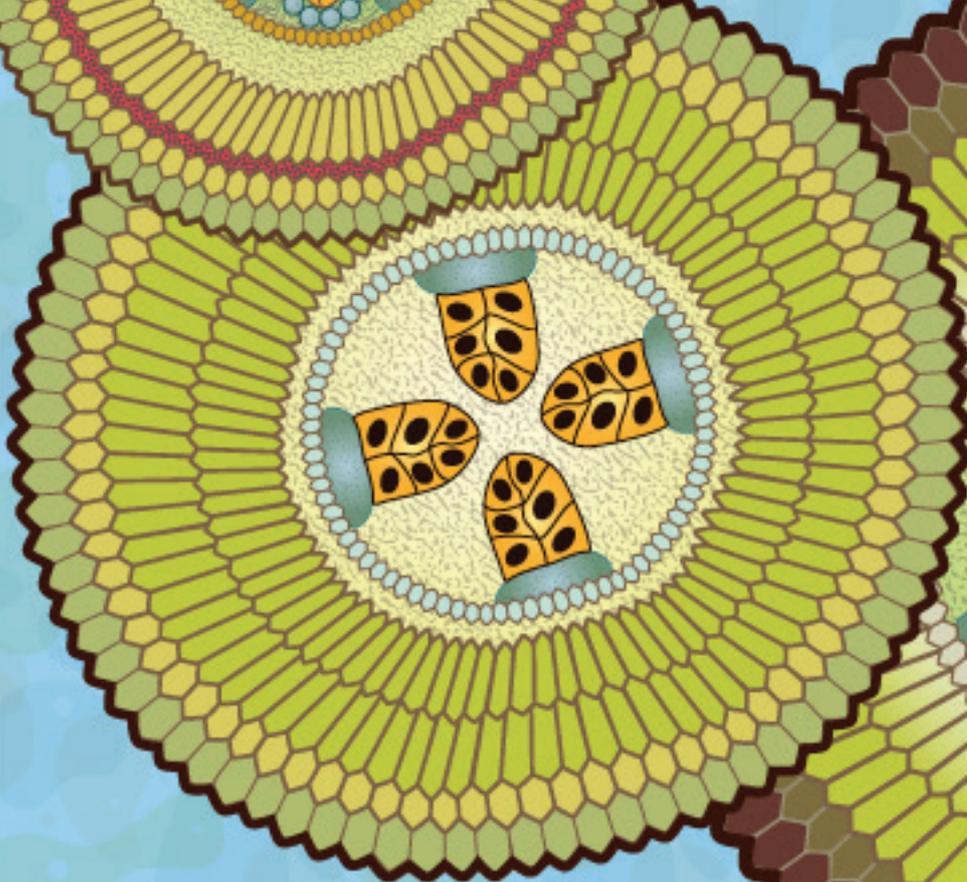
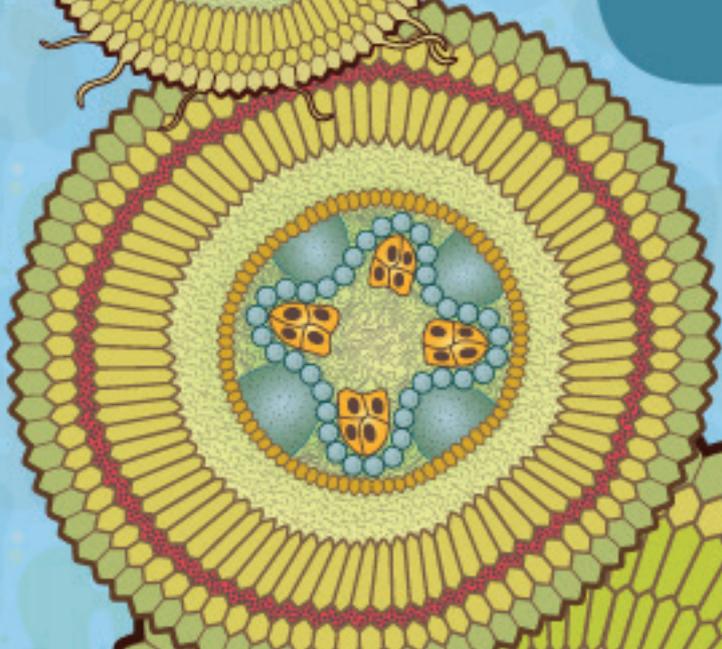
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1725-0490>

Google Académico:

<https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=y-kxCjcAAAAJ>



1. CÉLULA VEGETAL
2. MERISTEMO
3. TEJIDOS FUNDAMENTALES:
PARÉNQUIMA, COLÉNQUIMA Y
ESCLERENQUIMA
4. TEJIDOS CONDUCTORES: XILEMA
Y FLOEMA
5. TEJIDO EPIDÉRMICO
6. RAÍZ
7. TALLO
8. HOJA
9. FLOR Y FRUTO



Universidad
de los Llanos / Editorial
Unillanos