



Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas

Cátedra de Farmacobotánica

ESTRUCTURA
DEL CUERPO DE LAS
ESPERMATÓFITAS

Responsables

Prof. Dra. Martha Ana Gattuso

Prof. Dra. Susana Julia Gattuso

INTRODUCCIÓN

Las plantas con semillas tienen un cuerpo muy evolucionado con huellas de una especialización estructural y funcional.

Esta especialización se expresa en la diferenciación de este cuerpo, externamente en órganos e internamente en varias categorías de células, tejidos y sistemas de tejidos.

Se reconocen tres órganos vegetativos: raíz, tallo y hojas. La flor se considera como un conjunto de órganos, algunos de los cuales son reproductivos (estambres y carpelos) y otros son estériles (sépalos y pétalos).

En relación con la estructura interna se destacan las características distintivas de las células y tejidos y se establecen tipos basándose en estas distinciones.

ORGANIZACIÓN INTERNA DE LA PLANTA

La planta se origina a partir de un cigoto. El desarrollo se inicia mediante diferencias en la cantidad, carácter y localización del crecimiento, que producen paulatinamente los cambios entre los diversos órganos del individuo.

Los tejidos crecen y se renuevan, a través de regiones embrionarias llamadas **meristemas**. En la organización interna se reconocen diferentes categorías de tejidos:

- a) Tejidos meristemáticos o embrionarios, son aquellos cuyas células se dividen y multiplican constantemente.
- b) Tejidos adultos, son aquellos cuyas células usualmente no se dividen ni crecen. También puede usarse el término permanentes, aunque debe ser utilizado para aquellos casos en que las células sufren una diferenciación irreversible, por ej. elementos cribosos, tráqueas, traqueidas, fibras, entre otros.

MERISTEMAS

Los meristemas son característicos y exclusivos de los vegetales superiores y están íntimamente relacionados con el crecimiento. Son formativos, ya que añaden nuevas células al cuerpo de la planta y al mismo tiempo se perpetúan así mismo como tales.

Las células derivan del cigoto pasando por el estado del embrión, que luego se transforma en una planta adulta. En los primeros días de desarrollo del embrión prácticamente todas las células se hallan dividiéndose; más tarde con el crecimiento y desarrollo posterior, las divisiones celulares y el consiguiente aumento en el número de células quedan restringidos a partes especiales de la planta, los **meristemas** (del griego, meros = dividir).

La formación de nuevas células, tejidos y órganos, a partir de la actividad de los meristemas está basada en las divisiones celulares mitóticas.

Las células de los meristemas se dividen de manera tal que, las células resultantes de dichas divisiones se constituirán en los tejidos del cuerpo de la planta y se las denominan células derivadas mientras que las otras conserva su capacidad meristemática y se denominan células iniciales.

El cambio progresivo desde un meristema estructuralmente simple, a los tejidos variables y complejos en el cuerpo vegetal adulto se conoce como **diferenciación**.

Los cambios desde el estado meristemático indiferenciado al estado adulto diferenciado abarcan la composición química de las células, como así también sus características morfológicas, anatómicas y fisiológicas, haciendo que las células se diferencien en dos sentidos:

- a) asumen características que las distinguen de sus precursores (meristemas).
- b) finalmente se distinguen entre sí según su línea de **especialización**, por ej. elementos cribosos, tráqueas, traqueidas, fibras, entre otros.

Clasificación:

La clasificación de los meristemas se hace en base a dos criterios:

- a) posición topográfica (ubicación en el cuerpo de la planta).
- b) origen.

Posición topográfica en el cuerpo de la planta (Fig.1).

- 1) *Meristemas apicales*: se ubican en las partes apicales del tallo y raíz son: meristema apical caulinar y meristema apical radical, responsables del crecimiento en longitud de la planta.
- 2) *Meristemas intercalares*: se encuentran entre los tejidos adultos por ej. en la base de los entrenudos de las cañas.
- 3) *Meristemas laterales*: se sitúan paralelamente a la circunferencia del órgano en que se encuentran, son responsables del crecimiento en grosor de tallos y raíces, ellos son el cambium y el felógeno.
- 4) *Meristemoides*: se encuentran en la epidermis, originan tricomas y estomas.

Origen

- 1) *Meristemas primarios*: son aquellos cuyas células derivan del embrión, ellos son el meristema apical caulinar, el meristema apical radical, procambium, cambium fascicular, intercalar y meristemoides.
- 2) *Meristemas secundarios*: son aquellos que se originan por desdiferenciación de tejidos adultos, que vuelven a adquirir capacidad meristemática, ellos son el cambium interfascicular y el felógeno.

MERISTEMAS PRIMARIOS

En los meristemas primarios pueden distinguirse distintas regiones con diferentes grados de diferenciación. En los apicales se diferencia un **promeristema** y por debajo un grupo de células que han sufrido cierta diferenciación. El promeristema consta de las células iniciales y sus derivadas inmediatas. La zona meristemática que ha sufrido cierta diferenciación consta de los tres meristema siguientes:

Protodermis de la cual se originará la epidermis.

Procambium del cual se originarán los tejidos vasculares primarios, xilema y floema primario.

Meristema fundamental del cual se originarán el parénquima, y los tejidos de sostén, esclerénquima de la corteza y la médula y colénquima.

Características citológicas de una célula meristemática.

Las células de los meristemas apicales son relativamente pequeñas y de forma más o menos isodiamétrica, con paredes primarias delgadas, pobres en celulosa y ricas en protopectina. Tienen abundante citoplasma denso y núcleo relativamente grande, las vacuolas son pequeñas; poseen proplastidios, escaso RE y abundantes ribosomas, carecen de cristales y material de reserva (Fig.2, A).

En el cambium fascicular existen dos tipos de células, las iniciales fusiformes (If) y las iniciales radiales (Ir). Las primeras son alargadas, estrechas con paredes terminales cuneiformes, las paredes tangenciales son más anchas que las radiales por lo que presentan forma rectangular en sección transversal, con vacuolas grandes y núcleo pequeño, las iniciales radiales son poco alargadas, casi isodiamétricas, relativamente pequeñas, y menos numerosas (Fig. 2, B).

División celular y tabicación.

Si tenemos en cuenta la posición de la laminilla media y pared primaria, que se originaron de una división celular, con respecto a una *superficie*, se pueden distinguir tres tipos de divisiones: **anticlinal**, cuando la pared primaria se forma perpendicular a la superficie considerada, lo que produce un aumento en superficie; **periclinal** cuando la pared primaria se forma de manera paralela a la superficie de referencia, originando un crecimiento en grosor y **oblicua**, que es aquella en que la pared se forma de manera oblicua a la superficie y agrega células al cuerpo de la planta (Fig.2, C).

En las partes cilíndricas de la planta (tallos, raíces) se emplean los términos **división longitudinal tangencial**, cuando el plano de división es paralelo a la superficie del órgano, en reemplazo de división periclinal y en lugar de división anticlinal se utiliza **división longitudinal radial**, cuando el plano de división corresponde a un radio del cilindro (Fig. 2, D).

MERISTEMAS APICALES

Los meristemas apicales se hallan en los extremos, ápices, de tallos, ramas y raíces y son responsables del crecimiento en longitud de estos órganos, constituyendo el **cuerpo primario** de la planta.

Ápice caulinar: todos los tejidos primarios del tallo derivan de él, así mismo forma los primordios foliares y primordios de yemas laterales. Derivan del mismo las flores o inflorescencias, cuando pasan del estado vegetativo al reproductivo, luego de sufrir profundos cambios fisiológicos.

Ápice radical: el crecimiento y diferenciación de la raíz es controlado por la actividad del meristema apical, una región de tejido meristemático que ya dijimos es subapical y se halla protegido por la caliptra. Este meristema está constituido por un grupo de células que no forman órganos laterales y su crecimiento es por lo tanto muy regular. Origina además de los tejidos del cuerpo primario de la raíz, la caliptra hacia el exterior.

MERISTEMAS INTERCALARES

Son zonas meristemáticas aisladas del meristema apical, los podemos encontrar en la base de los nudos de las cañas, en los pedúnculos de las inflorescencias, en las hojas de muchas Poáceas, en el ginóforo del maní y en otros lugares.

MERISTEMAS LATERALES

Cambium vascular: es un meristema lateral que durante el proceso de crecimiento secundario forma un cilindro angosto de células que circunda al xilema primario en el tallo y en algunas raíces. Es por el que el árbol aumenta en diámetro anualmente al agregar capas sucesivas de xilema y floema secundarios.

Las células iniciales del cambium se dividen periclinalmente, una continúa siendo meristemática y la otra se convierte en la célula madre del xilema o del floema.

Se origina de los remanentes procambiales que quedaron en los haces vasculares (cambium fascicular) y del parénquima interfascicular (radios primarios).

Felógeno (cambium del súber o corcho): es un meristema lateral que origina la peridermis, que es el tejido protector que reemplaza a los tejidos externos de tallos y raíces durante el crecimiento secundario.

Se puede originar de la epidermis, de capas subepidérmicas, del periciclo, y del parénquima floemático.

MERISTEMOIDES

Son de origen epidérmico y dan lugar a la formación de estomas y tricomas. La célula epidérmica sufre una polaridad lo que hace que la célula se divida asimétricamente dando origen a células hijas de diferentes tamaños. La más pequeña es el meristemoide que dará origen, luego, a los estomas y tricomas.

MERISTEMAS SECUNDARIOS

Son aquellos meristemas que se originan a partir de tejidos adultos que se desdiferencian y adquieren nuevamente capacidad divisional, ellos son:

- a) Cambium interfascicular, se origina de células parenquimáticas de los radios primarios.
- b) Felógeno (cambium del suber o corcho), se origina a partir de los tejidos vivos de la corteza en un tallo o del periciclo en la raíz.

MERISTEMAS

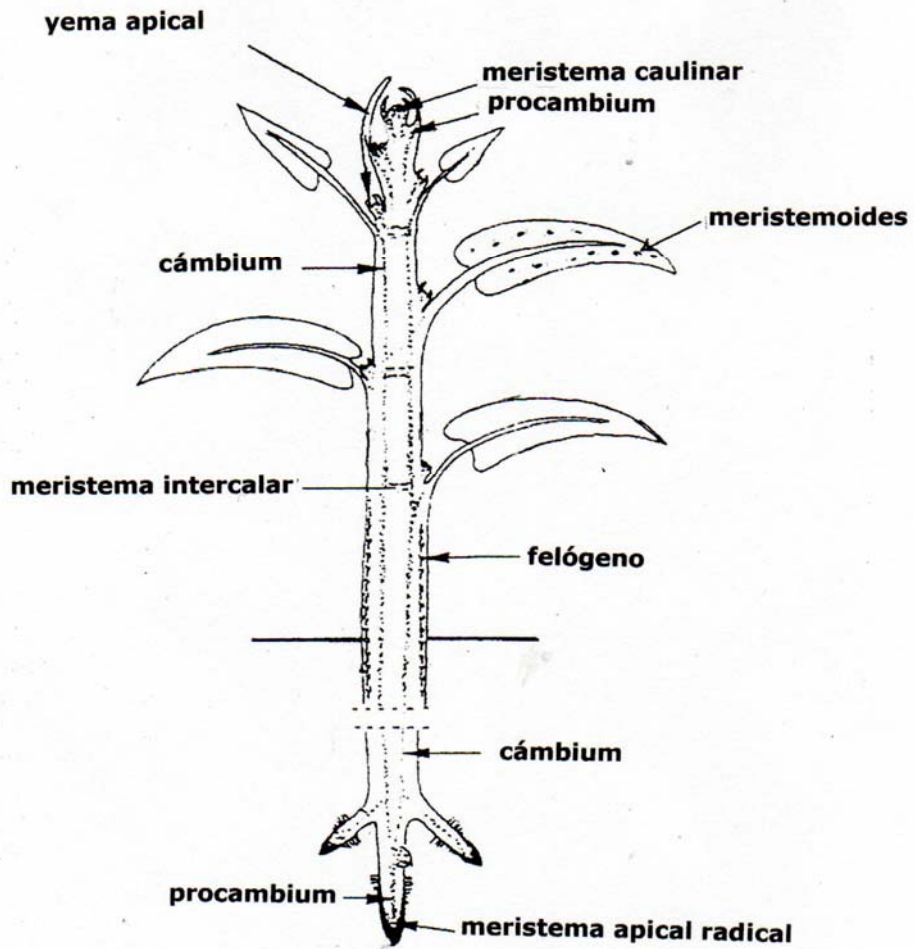
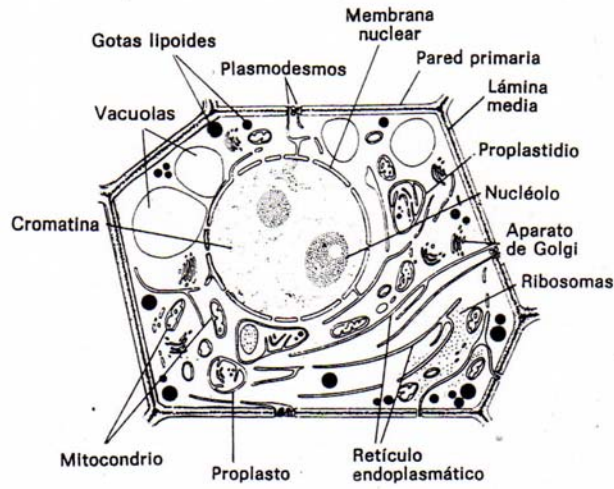
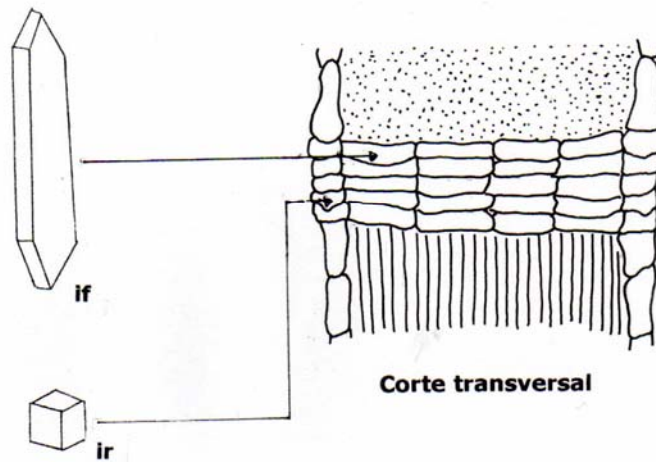


Figura 1

MERISTEMAS

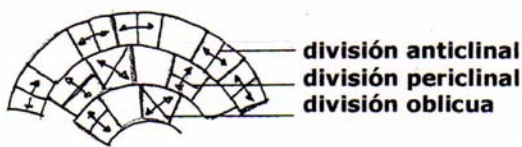


A- Célula meristemática apical

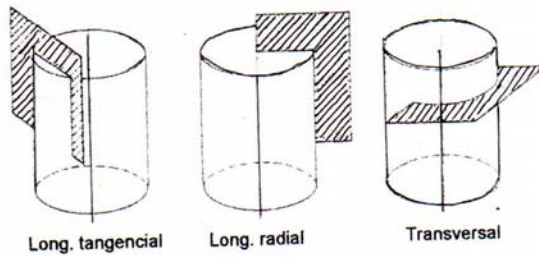


B- Células meristemáticas del cambium fascicular

if: iniciales fusiformes, ir: iniciales radiales



C- Tipo de divisiones con respecto a una superficie plana



D- Tipos de tabicación con respecto a órganos cilíndricos de la planta

Figura 2

PARÉNQUIMA

El parénquima es el tejido simple más común, más primitivo y el tipo básico de célula diferenciada.

Se encuentra en la médula y la corteza de tallos y raíces, el mesofilo de las hojas, antófilos, nucela, arquesporio, placenta, frutos y en el endosperma en las semillas. También está asociado a los haces conductores, e interviene en la cicatrización de las heridas y la regeneración de los tejidos.

Las células parenquimáticas tienen muchas funciones que se relacionan con su posición en la planta y participación en las funciones de otros tipos celulares.

Origen: a partir de los meristemas apicales o de los laterales.

Características citológicas: las células parenquimáticas son de apariencia y estructura variable según la función celular. La plasticidad que exhiben durante su desarrollo es consecuencia del bajo nivel de diferenciación.

Una célula parenquimática típica es de forma isodiamétrica, de 14 lados, no siempre las células alcanzan esta forma y más bien muestran formas variables, debido a sus relaciones espaciales con células vecinas, a la presión y fuerzas de tensión superficial, a su posición en la planta y el tejido, a la formación de espacios intercelulares lisígenos o esquizógenos y a la función que desempeñan. (Fig.3, A). Posee un protoplasto activo, con una pared primaria comúnmente delgada que tiene una estructura fibrilar que varía mucho dentro de la misma célula. Algunas especies poseen paredes gruesas, con numerosos plasmodesmos, en las cuales almacenan hemicelulosa como sustancia de reserva (Fig.3, B), ej en el endosperma de la semilla de café, caki; a veces las paredes pueden llegar a lignificarse.

Las células parenquimáticas especializadas en el transporte de solutos a corta distancia que se denominan células de transferencia, tienen la pared celular con invaginaciones o protuberancias (Fig.3, C).

El contenido citoplasmático usualmente se relaciona con su función, puede incluir cristales, taninos, aceites, almidón, aleuronas, pigmentos, etc. La vacuola puede tener agua, azúcares, carbohidratos solubles, amidas, enzimas, proteínas y antocianinas.

Los idioblastos pueden contener gran cantidad de sustancias como mirosina (Brassicáceas, Capparidáceas), taninos (Bombacáceas, Polygonáceas), aceites esenciales (Lauráceas), mucílagos (Cactáceas, Malváceas) y resinas (Rutáceas, Meliáceas), por lo tanto los parénquimas constituyen la base estructural y están asociados a todas las actividades vitales de la planta como son: fotosíntesis, respiración, crecimiento, conducción, cicatrización, almacenamiento de sustancias de reserva, entre otras.

Según la actividad en la cual se encuentran especializadas las células parenquimáticas, se distinguen varios tipos de parénquima:

1) **Parénquima clorofiliano o clorénquima**, son ricos en cloroplastos, se lo encuentra en hojas, tallos verdes, sépalos, frutos inmaduros y semillas. El mesofilo en empalizada de la hoja es bastante compacto y está formado por células alargadas (Fig.3, D), mientras que en el esponjoso la forma oscila de redondeada a lobulada y hay frecuentes espacios intercelulares.

2) **Parénquima de reserva o de almacenamiento**, en tallos y raíces, se observan numerosos espacios intercelulares de pequeño tamaño, sin embargo en cotiledones, endospermo, tubérculos y algunos rizomas su ordenamiento es compacto con escasos o nulos espacios intercelulares. Puede almacenar diferentes sustancias. El mismo protoplasma puede almacenar simultáneamente más de un tipo de sustancia, pudiendo éstas hallarse en forma sólida o fluída, aunque lo más normal es que se encuentren disueltas en la vacuola. Las sustancias sólidas pueden ser: granos de almidón, gránulos o cristales de proteínas y lípidos.

El parénquima que almacena almidón se denomina a) **parénquima amilífero** (Fig.3, E), se lo encuentra en la corteza y médula de tallos y raíces, tubérculos, bulbos, rizomas, cotiledon/es y endosperma de semillas y en menor cantidad en los tejidos vasculares. Cuando almacena proteínas se lo denomina b) **parénquima aleuronífero** (Fig. 3, F), se lo halla en el endosperma de la semillas, en el cariopse de las Poaceas; el c) **parénquima oleífero** (Fig.3, G) es el que almacena aceites y grasas y está presente en los cotiledones de las semillas. El agua es abundante en las células vacuoladas de parénquima, por lo que juega un papel importante como reserva de agua y constituyen los d) **parénquimas acuíferos** presente por ej. en las plantas xerófitas como las Cactáceas. Estos parénquimas son ricos en mucílagos.

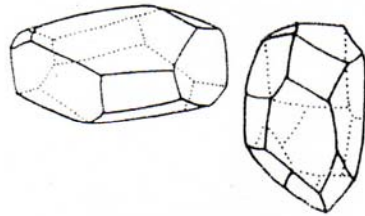
En las plantas hidrófitas los espacios intercelulares son amplios, alcanzan su máximo desarrollo, a este tipo de parénquima que almacena aire se lo denomina e) **aerénquima** (Fig.3,

H). Cuando la sustancia que almacenan son cristales de oxalato de calcio se denominan f) **parénquimas cristalíferos** (Fig.3, I).

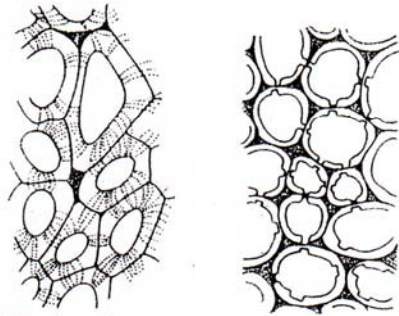
Origen de los espacios intercelulares. Pueden tener dos orígenes:

- 1) **Espacios esquizógenos:** son los que se originan por separación de las paredes por disolución de la lámina media (Fig. 3, J).
- 2) **Espacios lisígenos:** los que se originan por lisis o ruptura de las células (Fig. 3, K).

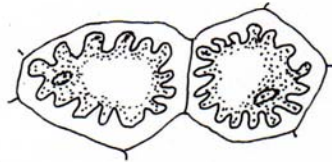
PARÉNQUIMA



A. Células parenquimáticas



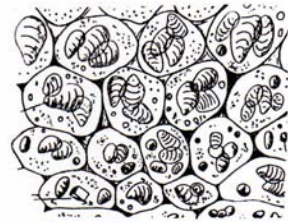
B. Parénquima con paredes reservantes



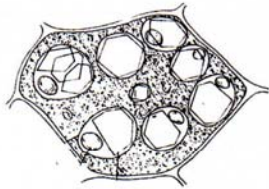
C. Parénquima de transfusión



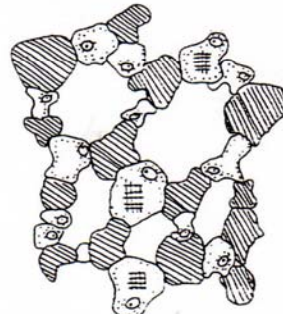
D. Clorénquima



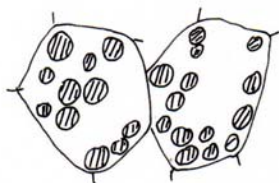
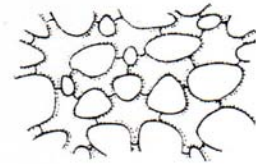
E. Parénquima amilífero



F. Célula de parénquima aleuronífero



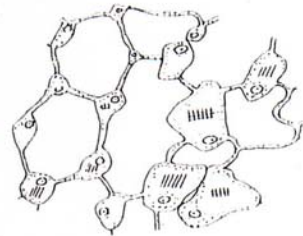
H. Aerénquima



G. Parénquima oleífero

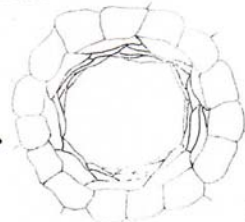


I. Parénquima cristalífero



J esquizógeno

← Espacios →



K lisígeno

Figura 3

COLÉNQUIMA

Es un tejido constituido por células con protoplasto vivo y activo. Es un tejido de sostén de órganos en crecimiento primario o de órganos adultos herbáceos. Su posición es fundamentalmente subepidérmica. En los tallos se localiza formando un anillo, rellenando costillas o formando haces (Fig.4, A); en las hojas se encuentra en el pecíolo y por ambos lados del nervio principal de la lámina; en las flores se lo observa reforzando los pedúnculos y pedicelos. Cuando se desdiferencia en meristema, previamente remueve los engrosamientos de la pared.

Origen: se origina a partir de células más o menos isodiamétricas pertenecientes al meristema fundamental.

Características citológicas:

La forma es variada y va de células cortas, prismáticas a largas y de extremos punteagudos; ambas son poligonales en sección transversal; se comunican a través de plasmodesmos.

Las paredes celulares son primarias, celulósicas, flexibles y brillantes; muestran varios tipos de lamelación con alternancia de microfibrillas orientadas transversal y longitudinalmente. Están constituidas por poca celulosa y una mayor proporción de hemicelulosa y pectinas (lo que las hace plásticas) y agua en gran cantidad, debido a ello se observan brillantes en las preparaciones histológicas. Estos constituyentes hacen que se combinen las fuerzas de tensión con la flexibilidad y la plasticidad; como éste tejido se encuentra en órganos en diferenciación, deben ser plásticos, es decir han de ser capaces de mantenerse extendidos permanentemente durante el crecimiento del órgano donde se encuentren. La plasticidad es muy importante para el ajuste interno de los tejidos en desarrollo. En etapas tardías de desarrollo las paredes pueden lignificarse en un proceso de lamelación centrípeto y centrífugo que impregna de lignina las paredes celulósicas. Presentan citoplasma parietal y son vacuoladas, los cloroplastos son abundantes en las células menos especializadas y están ausentes en las netamente especializadas en el sostén (Fig.4, B).

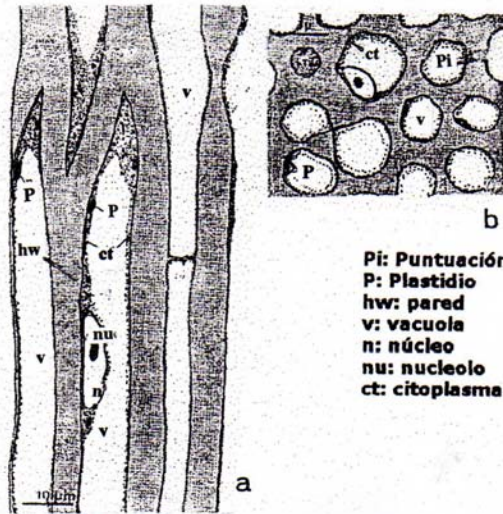
Según la forma y el grado de espesamiento de las paredes se pueden distinguir varios tipos de colénquima:

- 1) **Colénquima laminar o tangencial:** el espesamiento es masivo en toda la pared y la cavidad es de forma más o menos circular (Fig.4, C).
- 2) **Colénquima angular:** el espesamiento predomina en los ángulos (Fig.4, D).
- 3) **Colénquima lagunar:** las células dejan espacios intercelulares entre sí y las paredes están engrosadas más o menos uniformemente acentuándose el espesamiento en las zonas adyacentes a los espacios libres (Fig.4, E).

COLÉNQUIMA



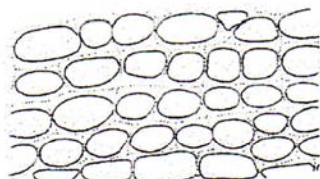
A. Localización en el cuerpo de la planta



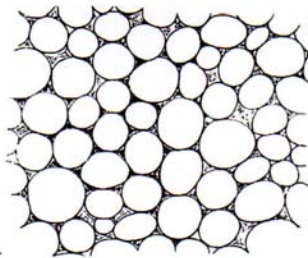
a) sección longitudinal

b) sección transversal

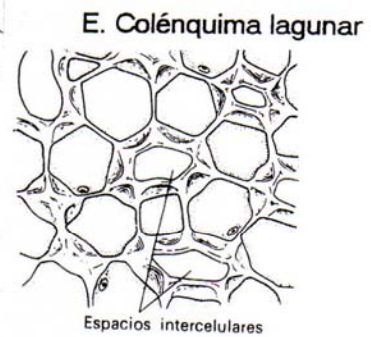
B. Células colenquimáticas



C. Colénquima laminar



D. Colénquima angular



E. Colénquima lagunar

Tipos de colénquima

Figura 4

ESCLERÉNQUIMA

Es un tejido constituido por células que al alcanzar la madurez pueden conservar su protoplasto o especializarse totalmente y constituirse en elementos muertos, con paredes secundarias lignificadas, gruesas, duras, elásticas, que proporcionan resistencia a los órganos de la planta frente a tensiones, pesos y presiones.

Las células esclerenquimáticas presentan una gran variedad de formas, estructuras, origen y desarrollo y el paso gradual de un tipo a otro dificulta su clasificación.

Se dividen, teniendo en cuenta la existencia de tipos intermedios en: **fibras** y **esclereidas**.

FIBRAS

Las fibras son células largas, con extremos agudos, lumen angosto y paredes secundarias gruesas. Se las encuentra en raíces, tallos, hojas y frutos, asociadas a otros tejidos. Se disponen formando cordones o un cilindro continuo, rodeando a los haces vasculares como vainas o envolturas y también acompañando al floema como casquetes o vainas. Además de éstas formas típicas de agrupamientos es posible encontrarlas formando grupos o dispersas tanto en el xilema como en el floema. Son notables en las Monocotiledoneas, donde también se las observa en posición subepidérmica. (Fig.5, A)

Origen: se originan del meristema fundamental, del procambium si están asociadas al xilema y floema primario o del cambium vascular cuando están asociadas al xilema y floema secundario.

Según su origen se clasifican en dos grupos:

- 1) **Fibras xilares** (fibras del xilema).
- 2) **Fibras extraxilares** (fibras del floema, perivasculares y corticales) (Fig.5, B).

Fibras xilares: se clasifican según su estructura en:

- a) **Fibras libriformes:** son células largas, puntiagudas, de pared gruesa, con puntuaciones simples (Fig.5, B y C).
- b) **Fibrotraqueidas:** es un estadio intermedio entre la fibra libriforme y la traqueida, poseen paredes más gruesas que las fibras libriformes y puntuaciones rebordeadas (Fig. 5, D y E).

Tanto las fibras libriformes como las fibrotraqueidas pueden ser septadas, éstas conservan su protoplasto vivo y almacenan almidón, aceites, resinas y cristales de oxalato de calcio. Los septos

se forman por mitosis sucesivas seguidas de citocinesis. (Fig.5, E). Asimismo ambos tipos de fibras pueden modificarse y constituirse en **fibras gelatinosas**, donde la capa más interna (S_3) de la pared secundaria tiene propiedades físicas y químicas distintas y se la designa gelatinosa por que casi no está lignificada, se hidrata con gran facilidad por lo que llega a veces a obliterar el lumen celular (Fig.5, F).

ESCLEREIDAS

Las esclereidas son células más cortas que las fibras y poseen una gran variedad de formas. Se encuentran aisladas constituyendo idioblastos o en grupos de pocos elementos, a veces se hallan asociadas al xilema y al floema, también son muy comunes en los parénquimas de hojas, tallos y raíces. En los frutos las esclereidas se encuentran en diferentes posiciones: dispersas en el mesocarpo, como en la guayaba; en grupos, como en la pera; formando capas sólidas en el pericarpo, como en el nogal; constituyendo el carozo de las drupas, como en el durazno. En las semillas, la cubierta seminal es dura por la presencia de esclereidas.

Origen: se pueden originar en el meristema fundamental, por esclerosis de células parenquimáticas, de la protodermis, del procambium y del felógeno.

Características celulares

Poseen paredes secundarias gruesas y lignificadas. La cavidad celular es sumamente estrecha a causa del engrosamiento. Las puntuaciones son simples a veces ramificadas.

Clasificación

Según su forma se clasifican en:

- a) **Braquiesclereidas o células pétreas:** son cortas, bastante isodiamétricas (Fig.6, A).
- b) **Macroesclereidas:** son células alargadas, columnares en forma de varillas (Fig.6, B).
- c) **Osteoesclereidas:** son células columnares, de extremos ensanchados, lobulados, semejante a huesos (Fig.6, C).
- d) **Astroesclereidas:** son células ramificadas, a veces de forma estrellada (Fig.6, D).
- e) **Tricoesclereidas:** son células filiformes, con ramas que se proyectan hacia los espacios intercelulares (Fig.6, E).
- f) **Filiformes:** de forma fibrilar, a veces con pequeñas ramificaciones (Fig.6, F).

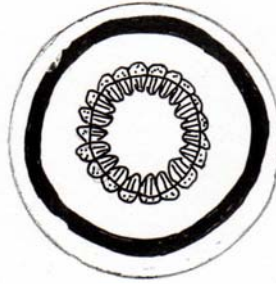
Esta clasificación debe ser mejorada sin olvidar el concepto fundamental de la gran variabilidad morfológica de las esclereidas con formas de transición, no solo entre sus diferentes tipos, sino también con las fibras.

ESCLERÉNOQUIMA

A- Posición del esclerénquima



perivascular



cortical

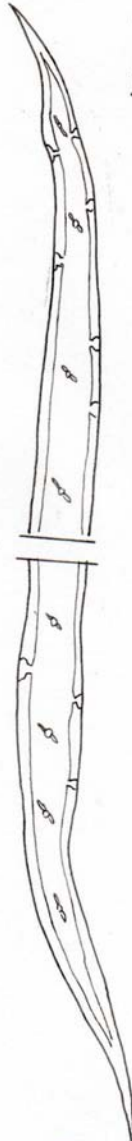


xilema y floema

Fibras



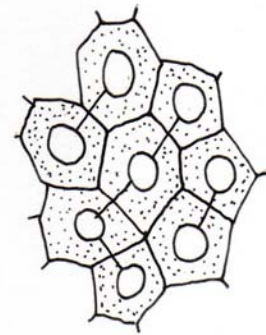
B-fibra libriforme



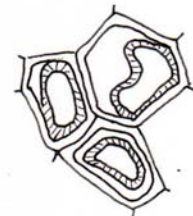
C-fibrotracheida



D-fibra septada



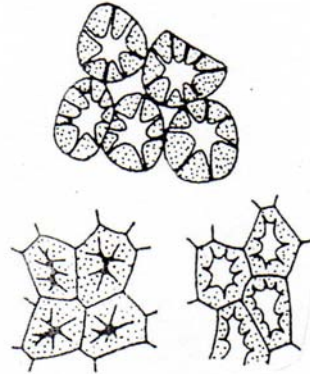
A-fibras en sección transversal



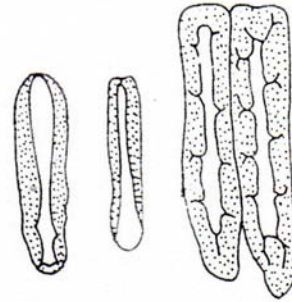
E-fibras gelatinosas en sección transversal

Figura 5

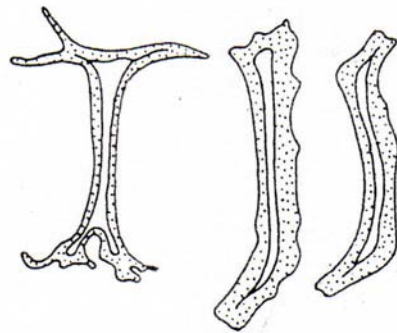
Esclereidas



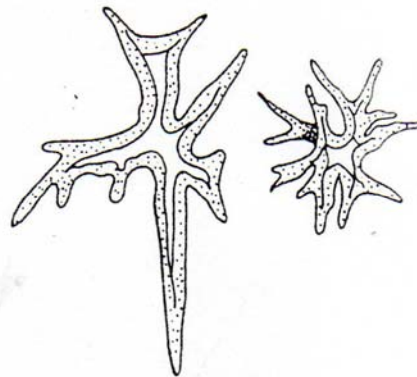
A. Braquiesclereidas



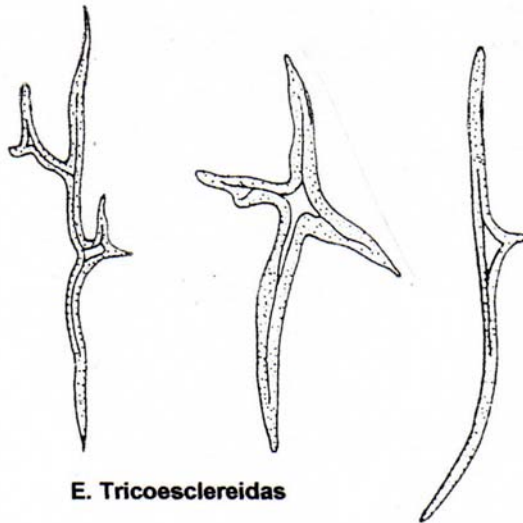
B. Macroesclereidas



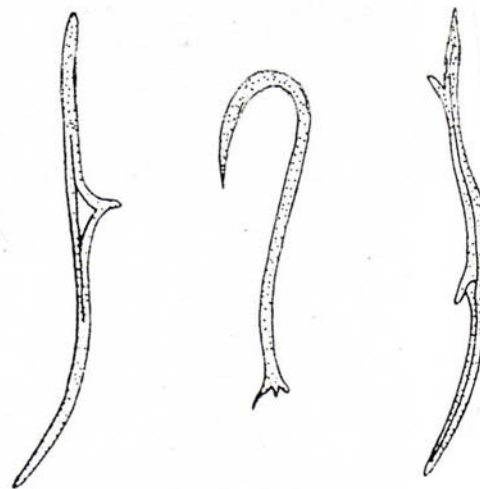
C. Osteoesclereidas



D. Astroesclereidas



E. Tricoesclereidas



F. Esclereidas filiformes

Figura 6

EPIDERMIS

La epidermis es el tejido que cubre el cuerpo primario de la planta y se encuentra en contacto con el medio ambiente, por lo tanto es objeto de la acción de numerosos agentes biológicos y no biológicos.

Aunque por lo general consta de una capa de células, en algunas especies se divide periclinalmente y da origen a una **epidermis múltiple** o también podemos observar una **hipodermis**, pero en este caso se origina del meristema fundamental.

Origen: la epidermis de tallos, hojas y estructuras reproductoras deriva de la protodermis del meristema apical caulinar, mientras que en las raíces lo hace desde el meristema radical.

Los órganos con escaso o nulo crecimiento secundario conservan la epidermis mientras viven, cuando existe un crecimiento secundario es reemplazada por la peridermis.

En la epidermis pueden diferenciarse varios tipos celulares:

células epidérmicas típicas.

células oclusivas de los estomas.

tricomas.

tricomas radicales.

Función del tejido epidérmico: las células epidérmicas están cubiertas por una “cutícula” más o menos impermeable, la que impide la pérdida de agua por transpiración y por ende la desecación de la planta, pero también se restringe la entrada de dióxido de carbono, son los estomas los responsables de resolver este problema ya que permiten el intercambio gaseoso.

Entre otras funciones poseen la habilidad para desdiferenciarse y volverse meristemática, lo que permite el crecimiento de la planta y la reparación de heridas.

Los tricomas son muy variables en forma y estructura y entre las funciones que desempeñan están: la protección, la absorción y la secreción.

Características citológicas:

Células epidérmicas típicas

Son células poco especializadas, se disponen sin dejar espacios intercelulares, sólo las células oclusivas de los estomas dejan espacios intercelulares entre ellas.

Tienen forma tabular o plana; en sección transversal son rectangulares o elípticas y vistas en superficie pueden ser alargadas o casi isodiamétricas. La forma de las células epidérmicas depende del órgano donde se encuentren; si el órgano es expandido, por ej. la lámina de una hoja, las paredes anticlinales, perpendiculares a la superficie epidérmica, son sinuosas; en los tallos y hojas de Monocotiledoneas son alargadas, paralelas al eje mayor del órgano; en la cubierta de muchas semillas son tabulares (Fig.7, A y B). El protoplasto es muy vacuolado, posee los orgánulos normales de toda célula vegetal; carece de cloroplastos excepto en Pteridófitas y algunas plantas acuáticas, siendo más frecuentes la presencia de proplastos y leucoplastos. Cuando se observan epidermis rojizas, por ej. en los pétalos, esto se debe a la presencia de antocianinas en la vacuola.

La pared puede ser delgada o gruesa y puede llegar a lignificarse. Generalmente es primaria, aunque en algunas semillas pueden encontrarse secundarias, a pesar de su grosor no es frecuente la lignificación.

En las paredes anticlinales y periclinal interna se observan campos de puntuaciones primarios, mientras que en la pared externa, más gruesa, hay haces de espacios interfibrilares denominados **teicodes** o **ectodesmos**, son la mayor vía de penetración de sustancias que penetran por vía superficial, éstas áreas definidas y no la pared completa, son los sitios de absorción y excreción de sustancias.

La pared externa está cubierta de materiales cerosos que constituyen las **ceras epicuticulares** las que están ubicadas formando un mosaico tridimensional constituido por varias zonas que difieren en el arreglo molecular de las ceras, dando lugar a la formación de **zonas cristalinas**, las que no son permeables y **zonas amorfas** que si permiten la difusión de moléculas, es decir que la impermeabilidad de las ceras al agua y los solutos no es dada por la composición química de estas, sino por el ordenamiento físico de las mismas. Los depósitos se pueden presentar en forma amorfa, de granos, plaquitas, escamas, etc.

Debajo de las **ceras** epicuticulares hay una capa, la **cutícula** que consta de dos capas: la **cutícula propiamente dicha** (cutina 100%), y la **capa cuticular** o **estratos cuticulares** que constan de **cutina**, **microfibrillas de polisacáridos** y **ceras**; le sigue a la capa cuticular una capa de **sustancias pécticas** (poliurónidas) la que se continúa con la lámina media de las paredes anticlinales. Hacia el interior, existe una capa de **celulosa** (pared primaria) con varias sustancias incrustadas en su matriz como ser, cutina, suberina, etc. (Fig.7, C).

La **cutina** es una red tridimensional, constituida por una mezcla de poliésteres del ácido palmítico hidroxilado en C16 y ácido oléico de C 18. Cuando la cutina se encuentra impregnando a las paredes se habla de **cutinización** y cuando forma una capa continua de **cuticularización**.

Las funciones de las células epidérmicas y la cutícula son: reducción de la pérdida de agua y solutos; formación de una barrera que impide la penetración de hifas fúngicas y la herbivoría, protección contra el daño mecánico, reflexión de la radiación, reducción de la retención de agua sobre las superficies de la planta, esto último favorece el intercambio gaseoso a través de los estomas, la germinación de esporas, la deposición de contaminantes atmosféricos, polen, polvo etc. Los plaguicidas, auxinas y nutrientes aplicados por vía foliar requieren la adición de un ingrediente activo, llamado surfactante o adyuvante, que facilite su ingreso.

Hay células epidérmicas con estructuras o contenido especiales: en Poáceas entre las células epidérmicas propiamente dichas o **células largas**, hay también **células cortas**, las que pueden ser de dos tipos: **células silíceas** y **células suberosas**, las primeras contienen cuerpos de sílice, las segundas poseen sus paredes impregnadas de suberina (Fig.8, A y B). En ésta familia también encontramos **células buliformes**, las que son mayores que las células epidérmicas típicas, con paredes delgadas y vacuola grande (Fig.8, C).

En las Brassicáceas se encuentran células epidérmicas que contienen mirosina, también en algunas familias hay células idioblásticas que contienen mucílagos, taninos, cristales de oxalato de calcio, etc.

Estomas

Se originan de un meristemoide epidérmico, son aberturas de la epidermis. Se hallan formados por dos **células oclusivas** entre las cuales hay un espacio, el **ostíolo**; éste se comunica con el interior de un espacio intercelular: la **cámara subestomática** que se halla recubierta por la cutícula. Suelen acompañar al estoma otras células: las **anexas**. El conjunto del estoma y las células anexas se denomina **aparato estomático** (Fig.9, A).

En Dicotiledonea y Monocotiledoneas no Poáceas, las células oclusivas tienen forma reniforme, en vista superficial y pueden tener bordes cuticulares de ambos lados (Fig.9, A y B). Pueden encontrarse situadas al mismo nivel que las demás células epidérmicas (Fig.9, C, a) o bien sobresalir (Fig.9, C, b) o quedar hundidas (Fig.9, C, c); también pueden encontrarse en criptas estomáticas que son depresiones de la hoja donde se encuentran los estomas, cubiertos por gran cantidad de tricomas.

Las células oclusivas tienen un núcleo prominente y cloroplastos que periódicamente almacenan almidón, estos cloroplastos tienen una respuesta a la luz azul, con un espectro de acción semejante al de la luz azul que estimula la apertura estomática; poseen pocas vacuolas.

En las Monocotiledóneas-Poáceas, las células oclusivas son angostas en el medio y anchas en los extremos, en estos hay numerosos plasmodesmos que hacen que entre las dos células oclusivas haya una unidad fisiológica y funcional (Fig. 8, D).

El engrosamiento de las paredes de las células oclusivas es desigual siendo la pared dorsal poco engrosada, mientras que la periclinal interna y el ostíolo sufren mayor engrosamiento.

Raschke sostiene que las microfibrillas de celulosa se disponen en forma radiada en las paredes de las células oclusivas, lo que juega un papel importante en la apertura y cierre del ostíolo.

La función de los estomas es la regulación de la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO₂, intervienen en el proceso de transpiración y fotosíntesis.

Clasificación de los estomas: según la disposición de las células anexas con respecto a las oclusivas.

En Dicotiledóneas: Solereder describió cuatro tipos de estomas a los que llamó, crucífero, rubiáceo, ranunculáceo y cariofiláceo; Metcalfe y Chalk propusieron nombres más descriptivos:

- a) **Anomocítico o ranunculáceo:** cuando las células anexas se presentan en número indeterminado y no difieren de las restantes células epidérmicas (Fig.9, D).
- b) **Anisocítico o crucífero:** hay tres células anexas, siendo una de ellas menor o mayor que las restantes (Fig.9, E).
- c) **Diacítico o cariofiláceo:** dos células anexas con su eje mayor formando ángulo recto con el eje mayor de las células oclusivas (Fig.9, F).
- c) **Paracítico o rubiáceo:** dos células anexas con su eje mayor paralelo al eje de las células oclusivas (Fig.9, G).

En Monocotiledóneas hay estomas sin células anexas, por ej. *Allium sp.* y en otras especies los hay con número variable.

Epidermis de Poáceas

La epidermis en esta familia es muy diferenciada y su estructura es de gran importancia en sistemática.

Como ya hemos analizado se encuentran

- 1) células largas (Fig.8, A y B).
- 2) células buliformes (Fig. 8, C).
- 3) células cortas: silíceas y suberosas (Fig 8, A y B).
- 4) estomas: en hileras longitudinales, de 4 células (Fig.8, A, B y D).
- 5) tricomas: uni o bicelulares (Fig. 8, A y B).

Estos elementos se combinan de diversas maneras lo que permite distinguir a las Subfamilias por sus caracteres, así tenemos

Epidermis Festucóideas: es la más simple, con células suberosas redondeadas o en bastoncito, sin tricomas bicelulares, ni tricomas con cojín estrellado (Fig.8, A).

Epidermis Panicóideas: con células silíceas en halterio (pesas de gimnasia) o en cruz, con tricomas bicelulares alargados y pueden llegar a tener tricomas con cojín estrellado (Fig.8, B).

Tricomas

Son apéndices epidérmicos de forma, estructura y funciones muy diversas.

Origen: un tricoma se origina de un meristemoide.

Características citológicas

Pueden ser persistentes o tener una vida relativamente corta; algunos pueden tener permanentemente el protoplasto vivo y otros perderlo en la diferenciación; pueden llegar a tener paredes secundarias, en algunos casos, éstas pueden llegar a lignificarse.

Cuando los apéndices poseen mayor masa, ellos están formados tanto por tejido epidérmico como subepidérmico y reciben el nombre de **emergencias**.

Clasificación

A: TRICOMAS NO GLANDULARES O EGLANDULARES (Fig.10).

- 1) **Tricomas simples**
 - unicelulares** (Fig.10, a).
 - pluricelulares uniseriados** (Fig.10, b).
 - papilas** (Fig.10, c).
 - vesiculosos** (Fig.10, d).

- 2) **Tricomas escuamiformes:** pluricelulares y deprimidos, son:
 - a) sésiles forman **escamas** (Fig. 10, 2, a)
 - b) con pie forman **pelos peltados** (Fig.10, 2, b)
- 3) **Tricomas estrellados** (Fig.10, 3)
- 4) **Tricomas en candelabros** (Fig. 10, 4).
- 5) **Tricomas fasciculados** (Fig.10,5).

B: TRICOMAS GLANDULARES (Fig.11).

- 1) **Tricomas secretores de sal.**
 - a). **Pelos vesiculosos**, la sal se secreta del protoplasma a la vacuola. La célula secretora se seca y el contenido queda en la superficie.
 - b). **Glándula pluricelular**, con varias células secretora.
- 2) **Tricomas secretores de néctar.**
- 3) **Glándula secretora de mucilago**, éste se acumula entre la pared y la cutícula.
- 4) **Glándula secretora de enzimas proteolíticas.**
- 5) **Tricomas secretores de terpenos.**
- 6) **Tricomas urticantes.**
- 7) **Tricomas absorbentes.**

Las funciones de los tricomas son variadas muy numerosas por ej. secretar sal en plantas halófitas, enzimas proteolíticas en especies carnívoras; aislantes y reflectora de la luz, típico del indumento de ciertos cactus y plantas xerófitas. Encontramos tricomas absorbentes en planta epífitas.

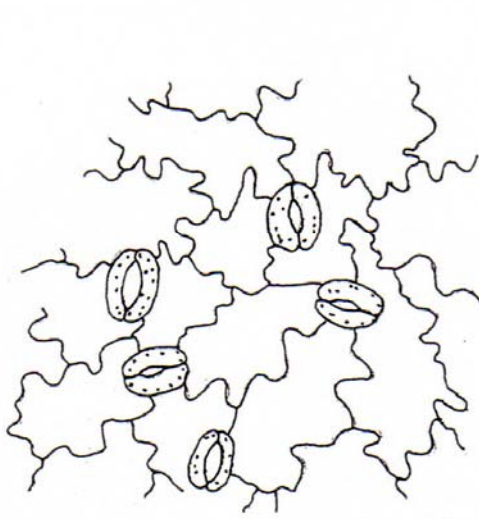
Los tricomas glandulares pueden contener y secretar metabolitos secundarios con actividad biológica, empleados en mecanismos de defensa a herbívoros, insectos e incluso de plantas vecinas.

Los tricomas están presentes en todas las partes de las plantas, hojas, tallos, estructuras florales, frutos y semillas.

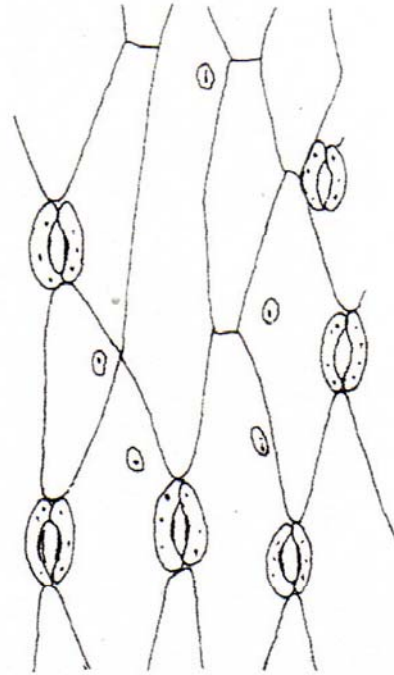
En las raíces, en la zona pilífera, se originan a partir de **tricoblastos** (meristemoide), por elongación de la misma célula epidérmica, si bien durante mucho tiempo se consideró que su función era aumentar la superficie de absorción, se ha comprobado que la misma es igual en la

zona pilífera que en zonas glabras y que los pelos cortos son más eficientes que los largos. La ventaja parece residir en el contacto que establecen con fuentes de agua laterales y nutrientes y están involucrados entre la interacción planta-bacterias nitrificantes. Algunas planta carecen de ellos (Fig. 11, 8).

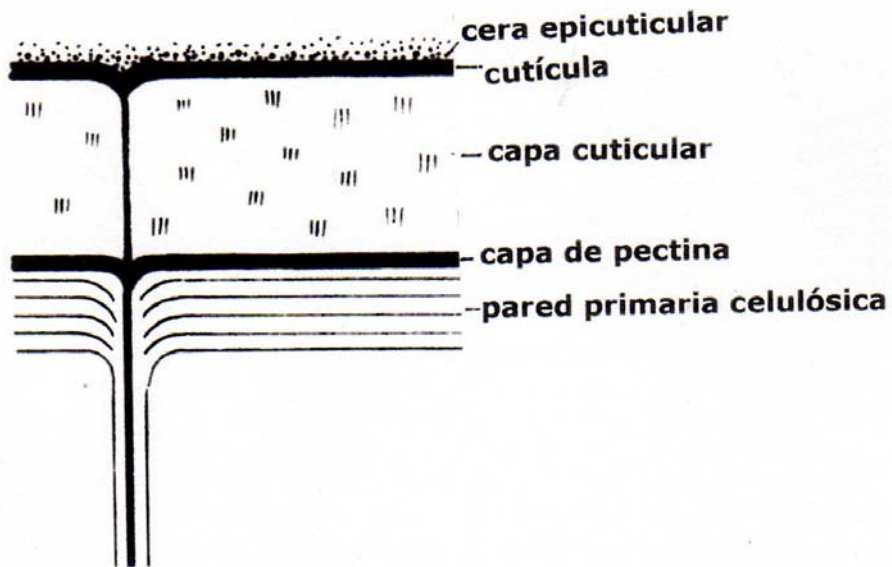
EPIDERMIS



A-epidermis de Dicotiledóneas



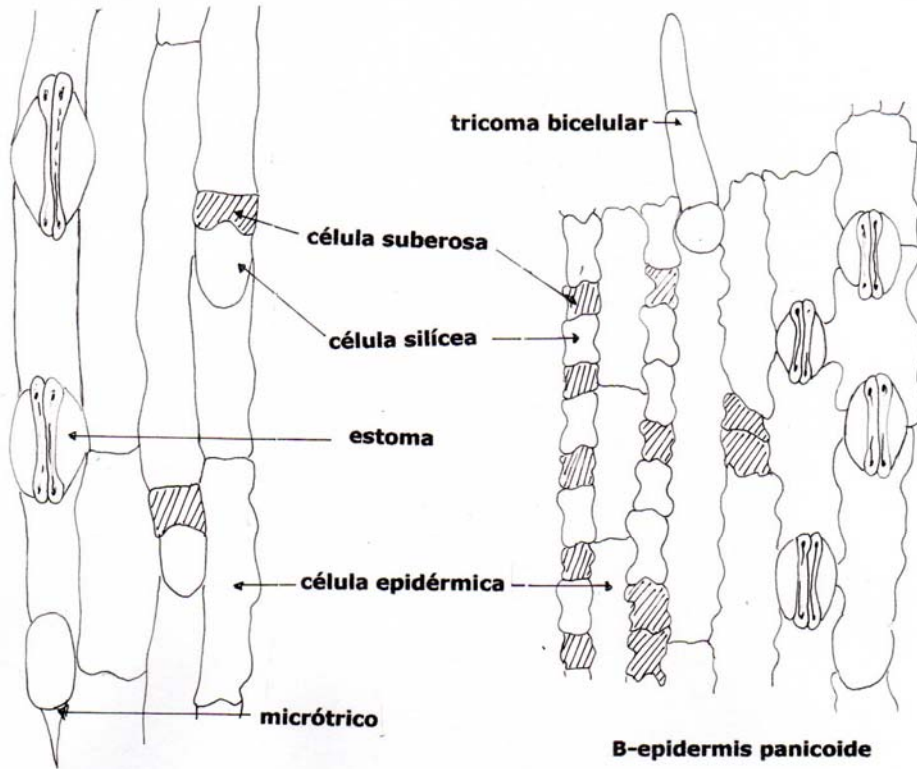
B-epidermis de Monocotiledóneas (no Poáceas)



C-pared externa de una célula epidérmica en sección transversal (esquema)

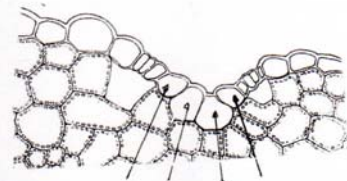
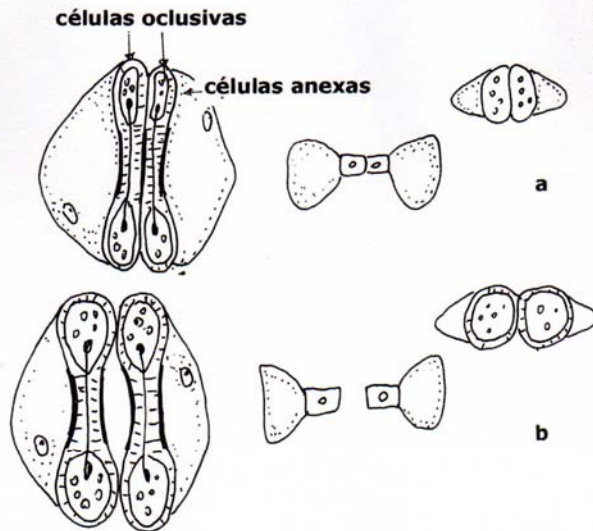
Figura 7

EPIDERMIS DE POÁCEAS



A-Epidermis festucoide

B-epidermis panicoide

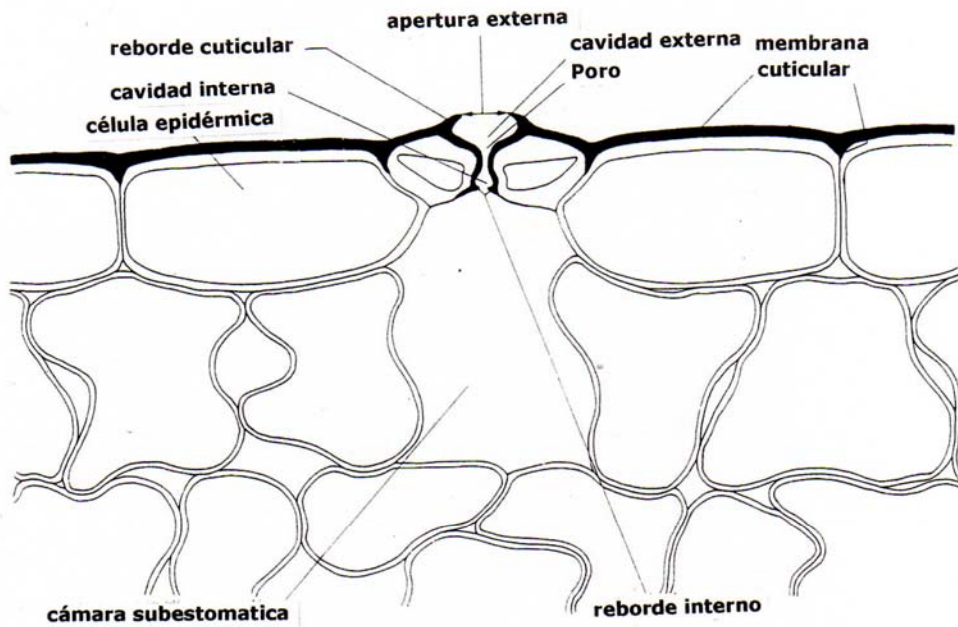


C- células buliformes

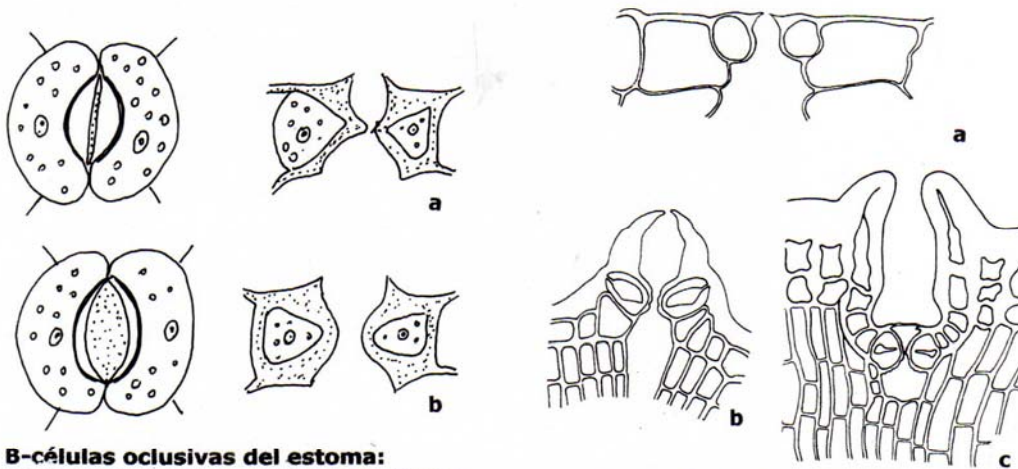
D- estoma de Poáceas: a, cerrado, b,abierto

Figura 8

EPIDERMIS DE DICOTILEDÓNEAS



A-Aparato estomático en sección transversal



B-células oclusivas del estoma:
a, cerrado; b,abierto Estoma abierto

C-posición de los estomas

Tipos de estomas según el número y la disposición de las células anexas

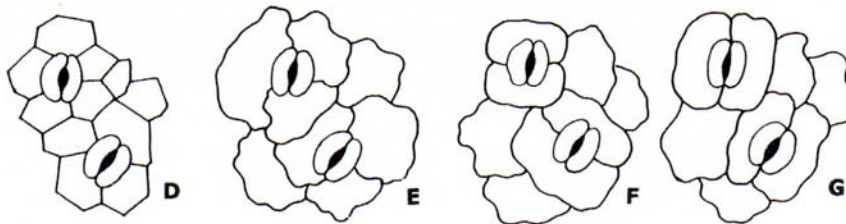
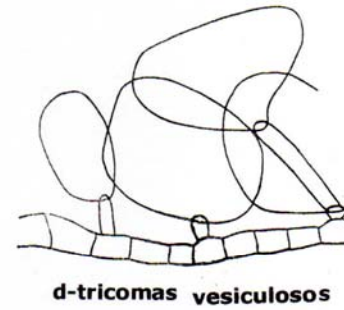
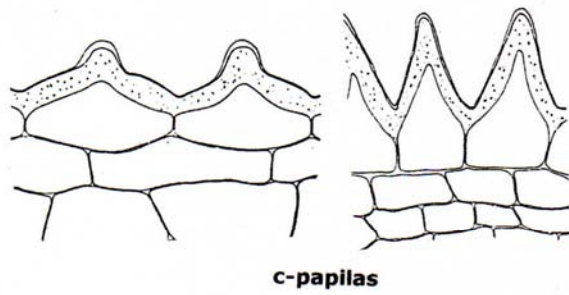
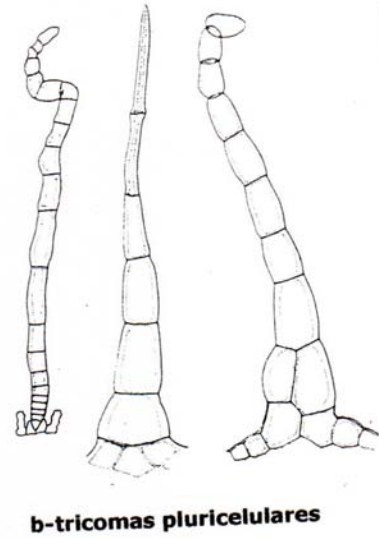
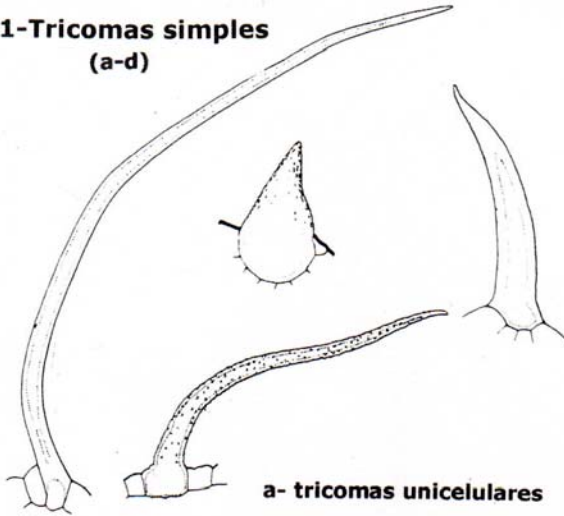


Figura 9

TRICOMAS NO GLANDULARES

**1-Tricomas simples
(a-d)**



2-Tricomas escuamiforme

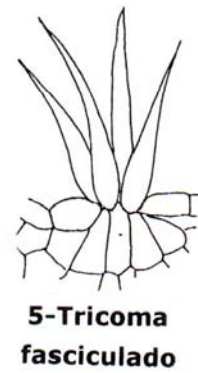
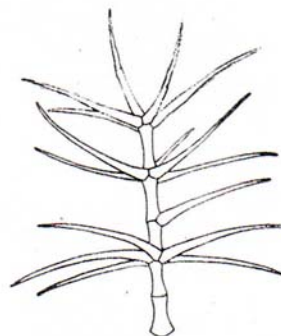
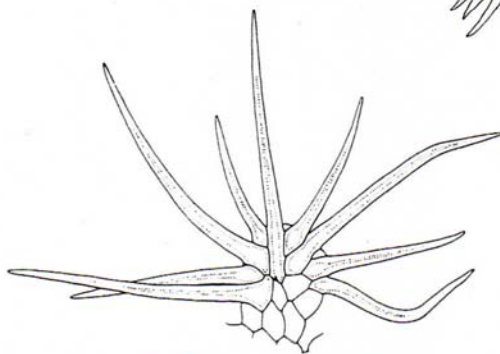
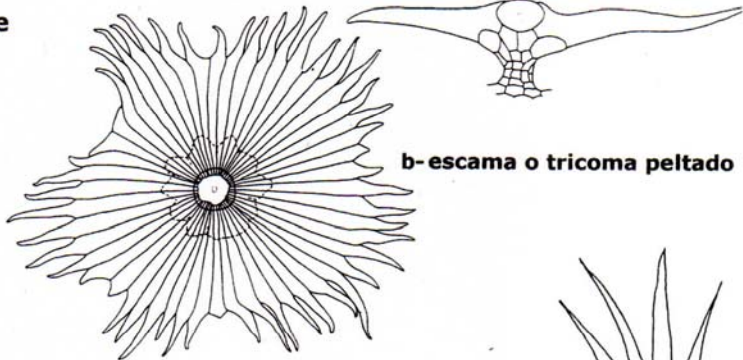


Figura 10

TRICOMAS GLANDULARES

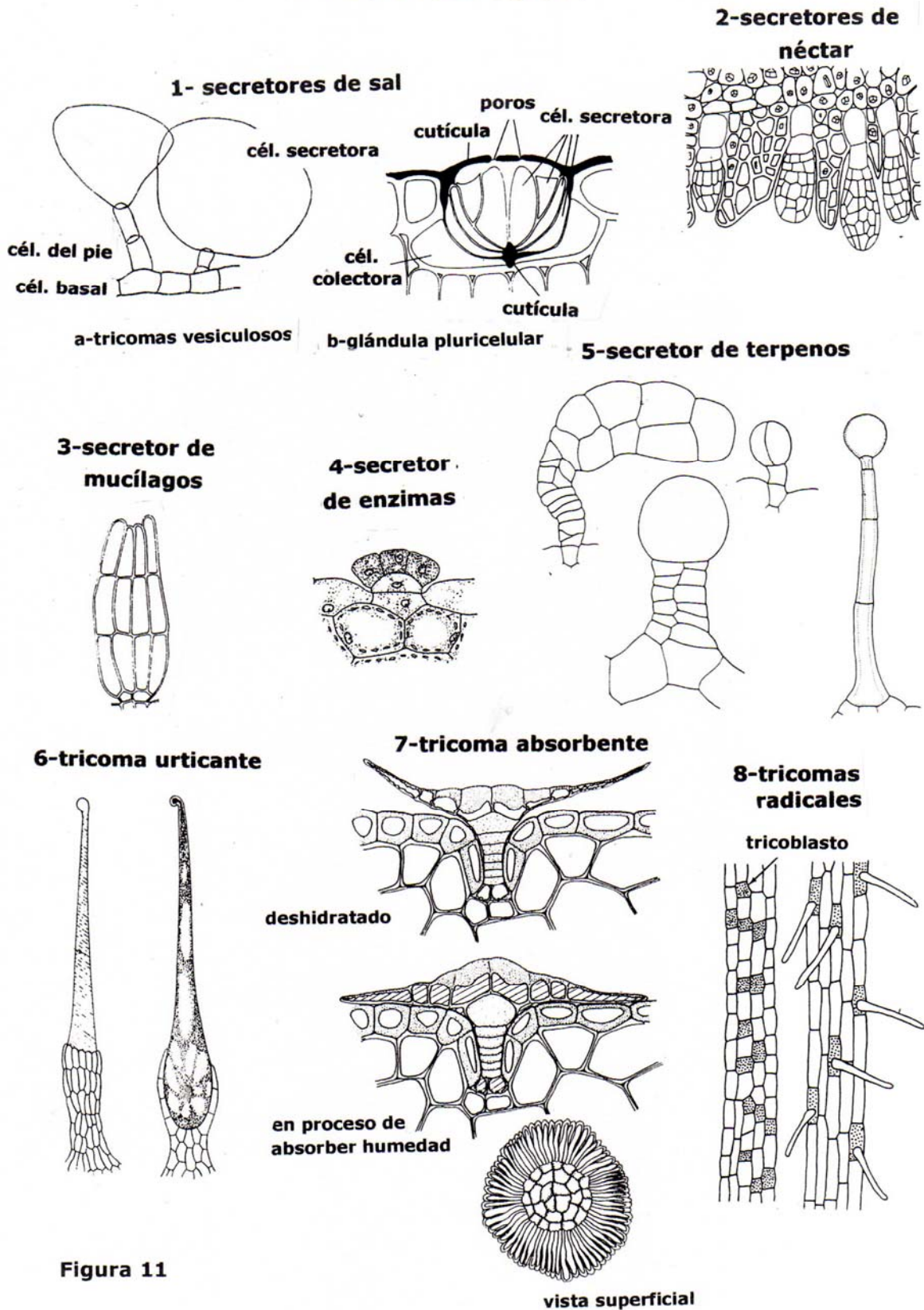


Figura 11

XILEMA

En las plantas existen dos sistemas de transporte: el **xilema**, que transporta agua y minerales en la dirección de la corriente transpiratoria y el **floema** que transporta solutos producto de la fotosíntesis en dirección acrópeta y basípeta.

Por su importancia, el sistema vascular y el xilema en particular, han sido usados en la denominación de un grupo grande de plantas. Así el nombre **PLANTAS VASCULARES** fue utilizado por Jeffrey en 1897 y posteriormente con el nombre de **TRAQUEÓFITAS**, que alude a la presencia de xilema, se han agrupado a Pteridófitas y Espermatófitas

Origen.

Durante el crecimiento primario de la planta, el xilema se origina del procambium. Los primeros elementos que se diferencian y maduran son los del **protoxilema**, mientras que los que maduran después constituyen el **metaxilema**. En las plantas con crecimiento secundario el xilema se origina del cambium vascular.

El xilema (del griego xylon = madera) es un tejido complejo, se halla compuesto de varios tipos celulares, en relación a la función que desempeñan (Fig.12).

- a) elementos traqueales (conducción).
- b) fibras (sostén).
- c) parénquima (almacenamiento).

Características citológicas de los distintos elementos:

Elementos traqueales. Son de dos tipos: **traqueidas** y **miembros de vasos**. Ambos tipos de células son alargadas de pared gruesa, al madurar están desprovistas de contenido vivo.

Las **traqueidas**, son células largas, fusiformes, imperforadas y se comunican con otras células vecinas mediante puntuaciones simples o areoladas. La conducción se realiza a través de diversas traqueidas encajadas entre sí y comunicadas lateralmente. Las puntuaciones areoladas son numerosas en las paredes terminales oblicuas lo cual facilita el paso del agua en dirección longitudinal. Las traqueidas están presentes en todas las plantas vasculares y son los únicos elementos conductores de la mayoría de las Pteridófitas y Gimnospermas (Fig.13, A).

Los **miembros de vaso** son células perforadas que se disponen en filas longitudinales conectándose entre sí por medio de perforaciones. Estas cadenas de células son los **vasos o**

tráqueas por donde el agua circula libremente a través de las perforaciones. Los vasos son de longitud variable y pueden unirse lateralmente con otros mediante puntuaciones areoladas, rara vez se presentan perforaciones en las paredes laterales de los miembros de los vasos. Este tipo de células conductoras se encuentran en el leño de casi todas las Angiospermas, carecen de vasos el xilema de la mayoría de las Pteridófitas y Gimnospermas.

Los elementos traqueales poseen una pared secundaria cuya morfología y grado de recubrimiento de la pared primaria, son muy variables. Los elementos traqueales poseen patrones de pared secundaria, comúnmente se describen cuatro tipos (Fig. 13, B).

El tipo **anular** constituye el tipo más sencillo; está formado por anillos de pared secundaria independientes entre sí. En virtud de esta independencia, este tipo de refuerzo permite al elemento traqueal una importante extensibilidad longitudinal, por lo que será propio del xilema de órganos en crecimiento, en éstos la elongación celular de los elementos traqueales es solidaria con la de las células que lo rodean, gracias a la cohesión que existe a nivel de la lámina media.

El tipo **helicoidal o espiralado** consiste de unos pocos refuerzos secundarios en forma de hélice. Éste tipo de refuerzo también permite la extensión de la célula con lo que igualmente se da en el xilema de órganos jóvenes en crecimiento. El elemento traqueal se extiende junto con la elongación de sus células vecinas.

El tipo **reticulado** presenta la pared secundaria con una configuración de red.

El tipo **escalariforme** presenta la pared secundaria con una configuración de escalera, siendo las zonas no recubiertas ovoides, anchas o planas, este tipo de recubrimiento de la pared secundaria es mucho mayor, por lo que la célula ya no es extensible longitudinalmente, presentando resistencia frente a la elongación de las células vecinas.

En el tipo **punteado** las zonas no recubiertas por la pared secundaria, son puntuaciones simples y areoladas, siendo el de mayor recubrimiento.

Las puntuaciones en traqueidas y miembros de vasos pueden ser simples o rebordeadas y su distribución varía aún en las diferentes caras de la pared lateral: en general se clasifican en **escalariformes, opuestas y alternas**.

Los vasos xilemáticos o tráqueas están constituidos por una sucesión de miembros de vasos alineados en filas, comunicados mediante perforaciones, estando éstas situadas generalmente en las paredes terminales de los miembros constituyendo las llamadas placas perforadas, la forma, el número y la distribución sirve para tipificarlas (Fig. 13, D), así tenemos:

- a) **Placa perforada simple:** con una perforación grande que ocupa toda la pared terminal.
- b) **Placa foraminada:** posee varias perforaciones redondeadas.
- c) **Placa escalariforme:** posee varias perforaciones en forma de ojal.
- d) **Placa reticulada:** posee varias perforaciones irregulares.

Los vasos xilemáticos no solamente permiten el paso de la savia verticalmente miembro a miembro a través de las perforaciones, sino que las puntuaciones existentes en las paredes laterales de los miembros, permiten también el flujo lateral hacia otro vaso, células parenquimáticas o células de otros tejidos (Fig. 13, C).

Algunos elementos de vasos llevan extremos alargados y estrechos denominados **apéndices** (Fig.13, E).

Células esclerenquimáticas: se distinguen en el xilema dos tipos de fibras en base al tipo de puntuaciones que presentan: las fibras libriformes (Fig.5, C) con puntuaciones simples y las fibrotraqueidas con puntuaciones areoladas (Fig.5, D).

Las fibras están en su mayor parte altamente especializadas como elementos de sostén.

Células parenquimáticas: las células parenquimáticas del xilema pueden variar considerablemente en estructura y contenido. Almacenan almidón, aceites y muchas otras sustancias ergásticas de función desconocida. Presentan comúnmente taninos y cristales. El tipo de cristales y su distribución puede ser tan característica que sirva para la identificación de leños.

Las paredes de las células parenquimáticas del xilema, pueden tener engrosamientos secundarios y lignificarse. Las puntuaciones generalmente son simples.

En el xilema secundario hay parénquima axial, originado de las iniciales fusiformes y parénquima de los radios, originado de las iniciales radiales; éstas últimas se dividen en procumbentes y verticales.

	TIPOS DE CÉLULAS	FUNCIÓN PRINCIPAL
Células conductoras o elementos traqueales	traqueidas miembros de vasos	conducción de agua
Células esclerenquimáticas	fibras libriformes	sostén
Células parenquimáticas	<i>Parénquima xilemático:</i> -fusiformes en hileras verticales <i>Parénquima de radios:</i> -procumbentes, erectas	almacenamiento y traslocación de sustancias ergásticas.

XILEMA DE GIMNOSPERMAS	XILEMA DE ANGIOSPERMAS
traqueidas (puntuación con toro).	traqueidas (puntuación sin toro). tráqueas.
fibrotraqueidas.	fibrotraqueidas. fibras libriformes.
parénquima xilemático vertical. parénquima de radio con traqueidas horizontales.	parénquima xilemático vertical. parénquima de radio sin traqueidas horizontales.

XILEMA DE ANGIOSPERMAS

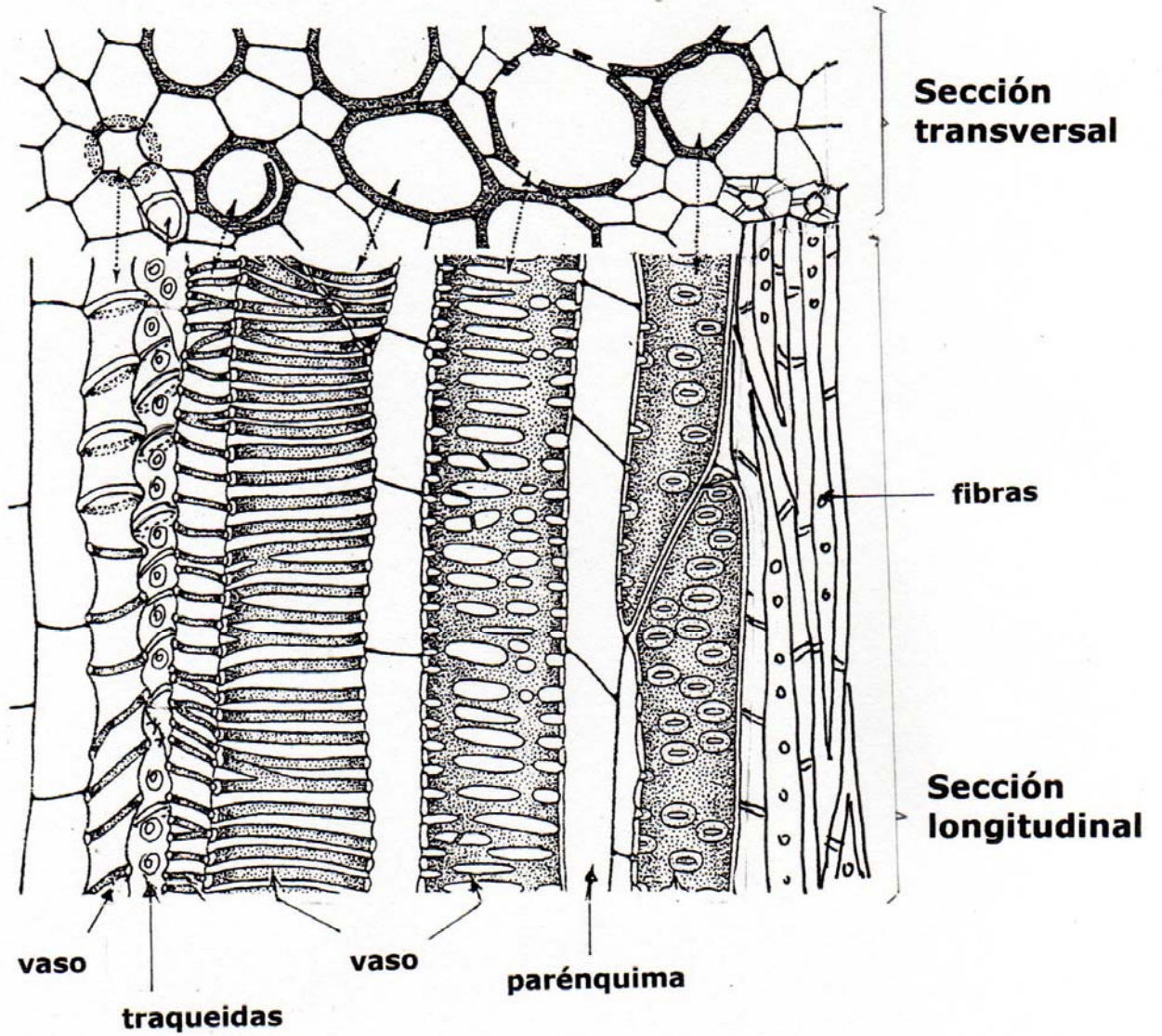


Figura 12

ELEMENTOS DEL XILEMA

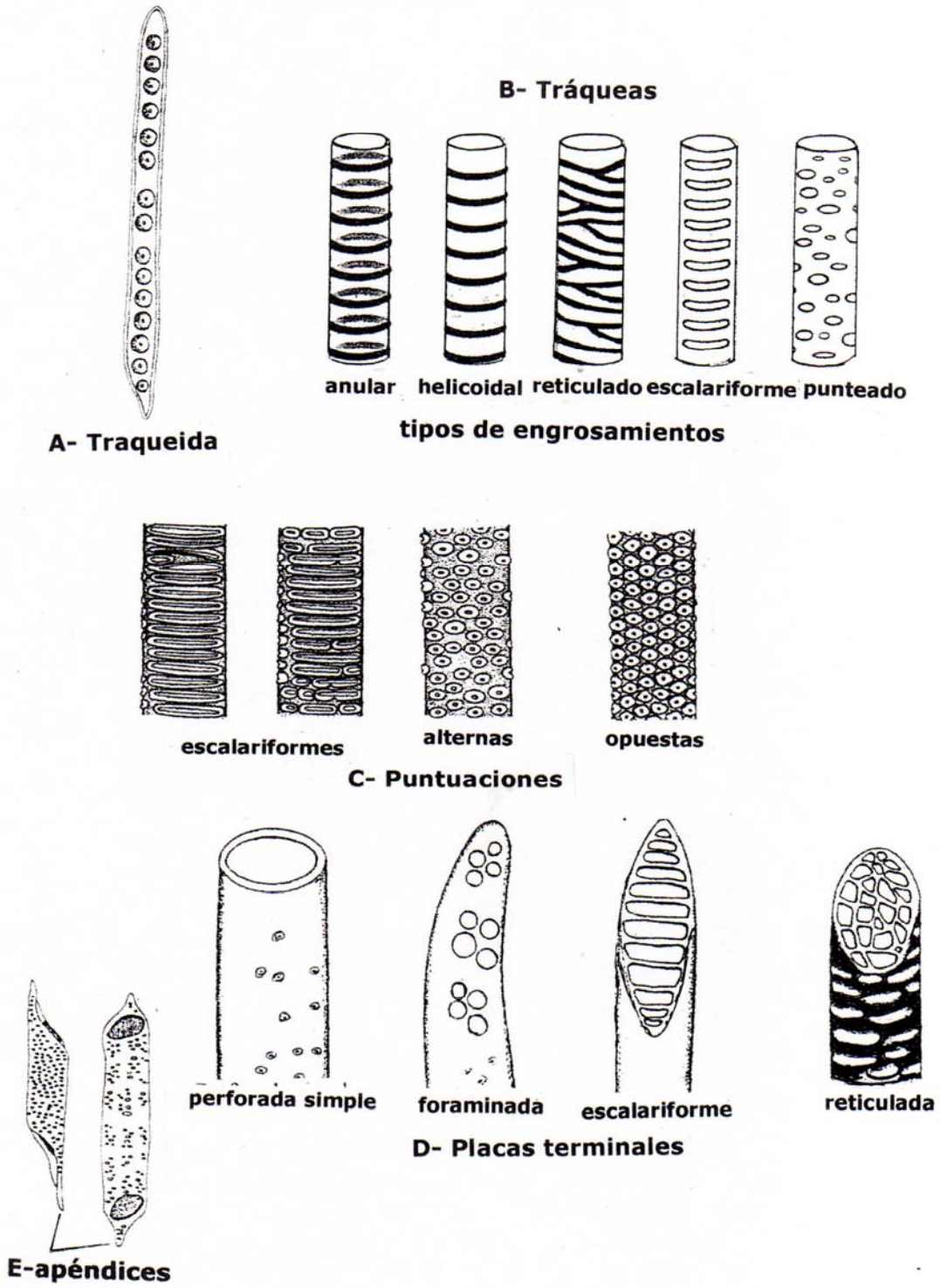


Figura 13

FLOEMA

El floema (del griego phloios = corteza) constituye un sistema de transporte intercelular a larga distancia, que moviliza los carbohidratos producidos en la fotosíntesis, moléculas mensajeras (ARNm) así como otras sustancias, hacia las zonas de crecimiento y diferenciación. Este tejido amplifica el sistema de comunicación simplástica que proporcionan los plasmodesmos.

El floema se caracteriza por un alto contenido de materia seca, en la cual el mayor soluto es la sacarosa, se encuentran oligosacáridos como rafinosa y verbascosa, y ciertos alcoholes como manitol y sorbitol. No hay transporte de azúcares reductores por lo tanto la sacarosa es la fuente móvil de energía. También hay aminoácidos, enzimas, ATP, potasio, litio, magnesio, vitaminas, hormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas y ácido abscísico.

Origen: puede ser primario cuando se origina del procambium o secundario en el cambium vascular, durante el crecimiento secundario de la planta.

Está compuesto por varios tipos celulares, en relación a la función que desempeñan (Fig.14):

- a) Elementos cribosos: células cribosas y miembros de tubos cribosos (conducción).
- b) Elementos parenquimáticos (células floemáticas, células albuminosas y células acompañantes o anexas).
- c) Elementos esclerenquimáticos (sostén y almacenamiento).

Características citológicas

Los dos tipos de elementos conductores del floema, **célula cribosa** y **miembro del tubo criboso** se diferencian por el grado de especialización y la distribución de sus áreas cribosas.

Elementos cribosos o miembros del tubo criboso: son células conductoras muy especializadas, cuya diferenciación implica eventos de síntesis y autofagia selectiva, que dan como resultado la reorganización de algunos componentes celulares y la desaparición de otros. En etapas ontogenéticas tempranas, el elemento criboso contiene un complemento normal de organelas, similar al de las células meristemáticas, pero durante la madurez, su estructura interna difiere notablemente de la característica en estas últimas.

El elemento criboso (Fig.15, A), se distingue por la presencia de una pared celular primaria, brillante, nacarada, refractiva, variable en grosor, de estructura laxa, constituida basicamente de celulosa y sustancias pécticas, con zonas porosas llamadas **áreas cribosas**, que le permiten conectarse con los elementos cribosos contiguos. Las áreas cribosas son áreas con poros cribosos, a través de los cuales se interconectan los protoplastos de elementos cribosos contiguos, lateral y verticalmente.

En las plantas vasculares inferiores y Gimnospermas, los poros son angostos y uniformes en tamaño en las diferentes paredes, pero se concentran en mayor número en las paredes terminales. Las Angiospermas tienen poros cribosos que varían en tamaño; las áreas cribosas con poros de mayor diámetro, se encuentran en las paredes terminales y en algunos casos en las laterales. Estas paredes con una o más áreas cribosas muy diferenciadas y atravesadas por poros de mayor diámetro, reciben el nombre de **placas cribosas**. La placa cribosa es simple cuando presenta una sola área cribosa (Fig.15, B) y compuesta (Fig.15, C) cuando consta de dos o más áreas cribosas.

Los poros cribosos están circundados por **calosa**. La cantidad de este polisacárido que se observa alrededor de los poros, es variable, en elementos jóvenes se encuentra revistiendo a los poros y en elementos viejos cubre totalmente a las áreas ocluyendo a los poros. Ésta acumulación puede significar la iniciación del período de dormancia (**calosa de letargo**) o bien el cese del funcionamiento de la célula (**calosa definitiva**) (Fig.15, D).

La diferenciación de los elementos cribosos a partir de las células meristemáticas, implica cambios fundamentales tanto en la pared como en el citoplasma y núcleo. La característica más notable es la desorganización del núcleo en la célula que ha completado su desarrollo y alcanzado su estado funcional.

La total o parcial degeneración del núcleo comienza con la ruptura de la membrana nuclear. La cromatina persiste por un tiempo, pero luego desaparece. El nucleolo es expulsado y luego presumiblemente se desintegra. Antes que la membrana nuclear desaparezca completamente, parte de ella, reconocida por sus poros, puede encontrarse en el lumen celular.

Otro fenómeno importante es la desaparición del tonoplasto, lo que provoca la mezcla del citoplasma con el jugo vacuolar, por lo que el contenido celular ha sido denominado **mictoplasma**. Otro componente característico de los elementos cribosos es el conocido erróneamente como mucílago, el cual reacciona como una proteína de ahí que se lo denomine

Proteína P. Esta proteína sintetizada en el citoplasma, en el elemento joven asume la forma de masas bien definidas, presentes en número de uno o más en cada célula. Durante la desintegración del núcleo y la vacuola los cuerpos mucilaginosos se agrandan, pierden su forma original y se mezclan con el jugo vacuolar. En la célula madura la Proteína P está dispersa o es fibrilar y puede ser considerada continua a través de los poros, en respuesta a daños tales como cortes, el floema reacciona produciendo un tapón mucilaginoso.

Célula cribosa: es un elemento fusiforme, cuyas áreas cribosas distribuidas en todas las paredes son de similar y bajo grado de especialización (Fig.15, E).

Elementos parenquimáticos

Pueden estar asociados estructural y funcionalmente a los elementos cribosos. Las asociadas con células cribosas se llaman **células albuminosas**, mientras que las que están asociadas a los tubos cribosos se las denomina **células acompañantes** o **anexas**. También encontramos células parenquimáticas más comunes llamadas **células parenquimáticas floemáticas** que pueden sintetizar y almacenar almidón, taninos, cristales, etc.

Células albuminosas:

Son células de parénquima radial o vertical del floema. Están presentes en gimnospermas y mantienen una relación morfológica y funcional con la célula cribosa; no hay en cambio una relación ontogenética ya que la célula albuminosa y la célula cribosa se originan de distintas células meristemáticas.

Tienen un citoplasma denso y núcleos grandes, conspicuos. La conexión entre la célula albuminosa y la célula cribosa, está dada por áreas cribosas sobre el elemento criboso y campos de puntuación primario sobre la célula albuminosa.

El nombre de albuminosa se debe al hecho que se tiñen intensamente con los colorantes citoplasmáticos, como si fueran particularmente ricas en proteínas.

Las células albuminosas de los sistemas axial y radial en el floema secundario, están asociadas, casi siempre, con más de una célula cribosa.

Células acompañantes:

Son células parenquimáticas muy especializadas que están en relación con el elemento criboso, típicas del floema de Angiospermas. Se originan de la misma célula meristemática que da origen al miembro del tubo criboso al cual acompañan. El número de células acompañantes

asociadas a un miembro de tubo criboso, varía en las diferentes especies e incluso dentro de una misma planta.

Tienen citoplasma abundante y núcleo bien organizado. En algunos casos han sido señalados cuerpos mucilaginosos que se dispersan durante la maduración de la célula.

Las conexiones intercelulares con el elemento criboso son estructuras compuestas de un campo de puntuación primaria del lado de la célula acompañante y un área cribosa del elemento criboso. Ha sido señalado que a grandes poros sobre el elemento criboso corresponden varias ramas de plasmodesmos sobre la célula acompañante.

Existe una relación no sólo ontogenética y morfológica entre la célula acompañante y el miembro del tubo criboso, sino también fisiológica. La prueba más importante de esta relación funcional, la da el hecho de la coincidencia de sus respectivos períodos de actividad, la célula acompañante completa su desarrollo antes que el correspondiente miembro del tubo criboso se diferencie como tal y cuando éste último deja de conducir, la célula acompañante muere.

Parénquima floemático:

En el floema primario, las células parenquimáticas son alargadas paralelamente a los elementos cribosos. En el floema secundario el parénquima del sistema vertical denominado parénquima floemático deriva de las iniciales fusiformes del cambium vascular. El parénquima horizontal constituye los radios floemáticos.

Elementos esclerenquimáticos

Fibras: se presentan tanto en el floema primario como en el secundario.

Las del floema primario se desarrollan habitualmente en órganos que todavía crecen en longitud y pueden llegar a ser muy largas por crecimiento simplástico y apical intrusivo.

Las fibras del floema secundario se originan de células cambiales fusiformes y pueden alargarse por crecimiento apical intrusivo, pero por lo general son más cortas que las del floema primario.

Cuando han completado su alargamiento forman paredes secundarias que a veces se lignifican. También se presentan en el floema fibras septadas y mucilaginosas.

Esclereidas: varían en forma y tamaño en las distintas plantas, generalmente se desarrollan a partir de células parenquimáticas y se las encuentran en el floema no funcional.

FLOEMA DE GIMNOSPERMAS	FLOEMA DE ANGIOSPERMAS
célula cribosa	miembro de tubo criboso
célula albuminosa	células acompañantes
parénquima floemático	parénquima floemático
fibras y esclereidas	fibras y esclereidas

Floema secundario

La distribución del floema secundario está controlada por el cambium y la cantidad de floema funcional depende del tipo de planta y de la edad del órgano.

En **Gimnospermas**, en el sistema axial, el floema secundario contiene células cribosas y parénquima, algunas de las cuales se diferencian en albuminosas. Las fibras y las esclereidas pueden estar presentes. Los radios son uniseriados y están constituidos por células parenquimáticas y albuminosas, que suelen encontrarse en el margen de los radios, puede haber canales resiníferos. El parénquima axial aparece en bandas y sus células almacenan almidón, taninos, aceites, cristales. Las fibras están ausentes en Pináceas pero se hallan en otras familias. La capa de floema funcional es muy angosta y si no hay fibras, el colapso de las células produce tensión ya que los radios se observan ondulados.

En el sistema axial de **Angiospermas-Dicotiledóneas** se encuentran elementos de tubos cribosos, células acompañantes y otras células parenquimáticas. Este sistema puede carecer de fibras, pero si hay aparecen en bandas tangenciales o dispersas.

Los miembros de tubos cribosos son largos y tienen paredes terminales inclinadas con placas cribosas compuestas o bien pueden ser con paredes terminales transversales y placas cribosas simples.

Los radios pueden ser multiseriados o uniseriados, altos o bajos; están compuestos por parénquima, esclereidas y pueden llevar cristales y taninos.

FLOEMA DE ANGIOSPERMAS

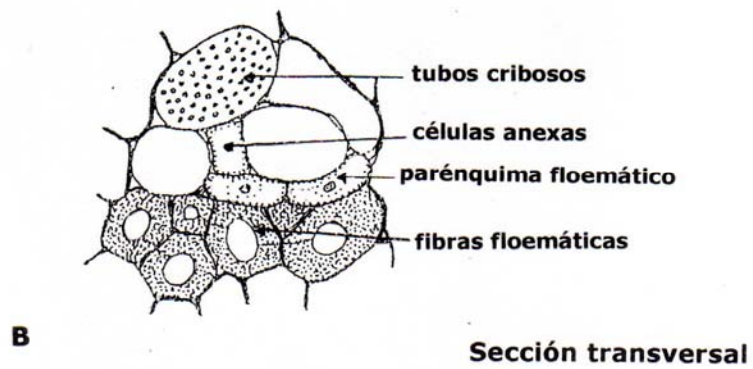
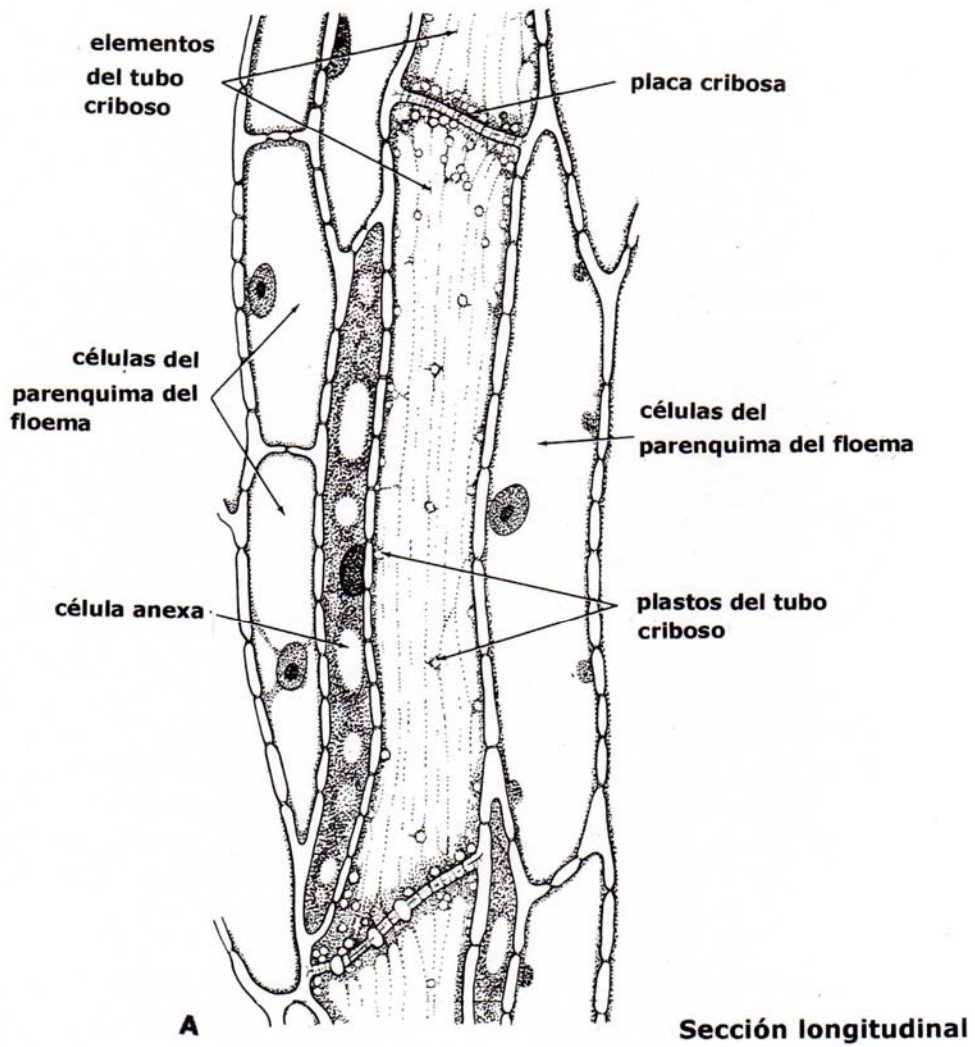


Figura 14

ELEMENTOS DEL FLOEMA

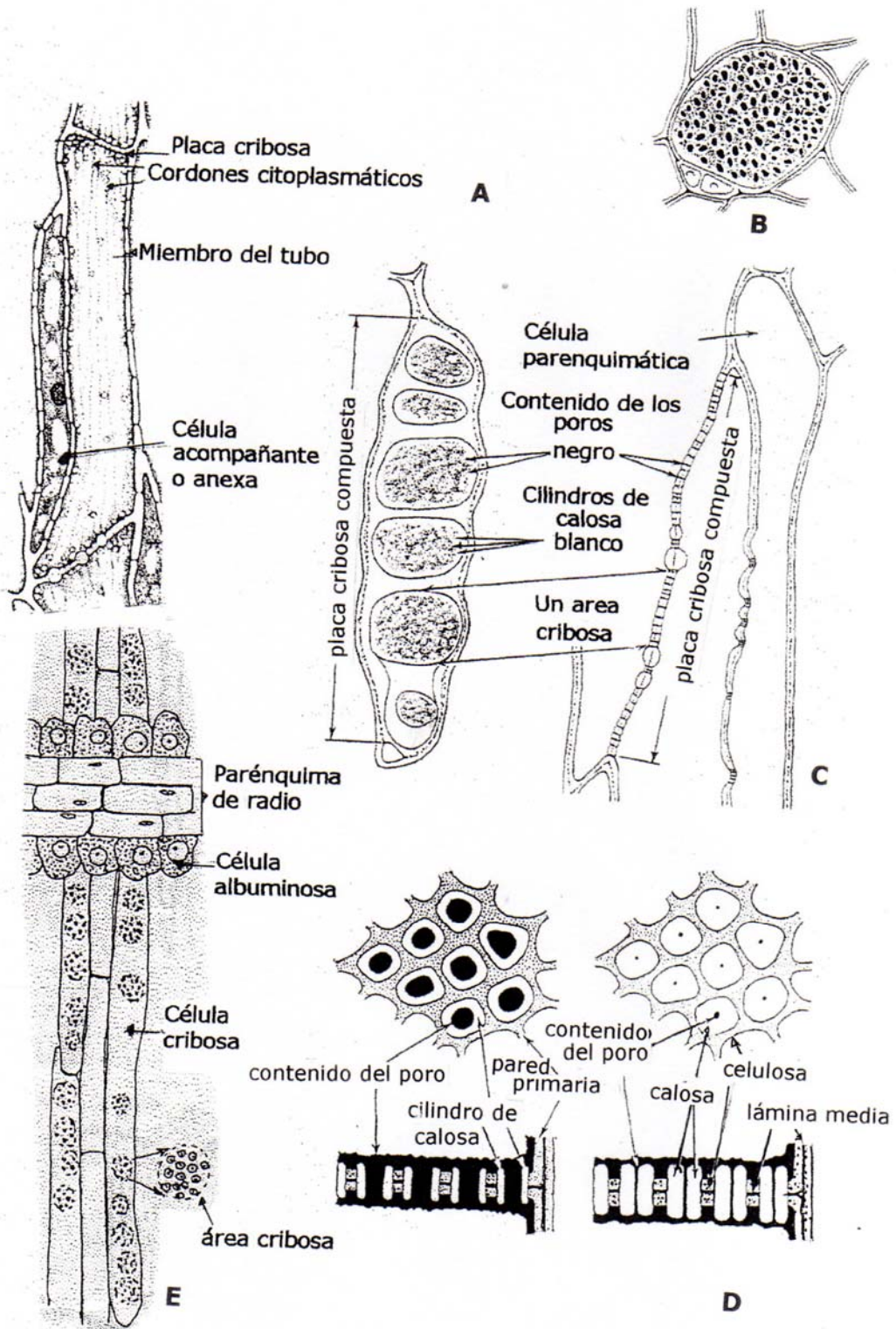


Figura 15

ESTRUCTURAS SECRETORAS

La secreción es un fenómeno corriente en las plantas. La formación de la pared celular y la cutícula, la suberización, la deposición de ceras y la migración de sustancias desde el citoplasma a las vacuolas representan procesos secretores.

Además de la secreción mencionada existen células, grupos de células o estructuras más complejas que secretan sustancias específicas.

Se define a la **secreción** como un complejo de fenómenos, es decir síntesis, segregación y transporte que produce la separación de sustancias del protoplasto y su aislamiento en compartimentos (dictiosomas, etc.). Las sustancias secretadas pueden ser iones (sales), azúcares, alcaloides, terpenos, resinas, cristales, enzimas y reguladores de crecimiento.

La remoción de sustancias que no participan en el metabolismo se llama **excreción**.

Las actividades secretoras ocurren en todas las células vivientes como parte del metabolismo normal. La secreción va precedida de la ingestión de material (vía apoplasto o simplasto) y la síntesis del producto de secreción.

Si la sustancia sale vía plasmalema, en forma directa, la secreción es **ecrina**, si hay transporte intercelular, formación de vesículas de secreción y extrusión posterior por exocitosis, la secreción es **granulocrina**. En algunos casos hay síntesis de sustancias que no son liberadas, como en los laticíferos. Si hay descarga posterior por lisis de las células, la secreción es **holocrina**.

Las estructuras secretoras varían ampliamente con su grado de especialización y en su localización en la planta. Algunas son de posición externa, y otras internas; algunas son simples pelos glandulares, otras son glándulas pluricelulares vascularizadas y otros conductos intercelulares o cavidades. Las células que se alargan indefinidamente o las funciones complejas de células representadas por los laticíferos también están entre las estructuras secretoras debido a que son notables por su contenido.

Hablamos de **estructuras secretoras externas** cuando la secreción se elimina al exterior y de **estructuras secretoras internas** cuando queda en el vegetal.

ESTRUCTURAS SECRETORAS EXTERNAS	• Tricomas glandulares
	• Glándulas
	• Nectarios
	• Hidátodos
	• Osmóforos

ESTRUCTURAS SECRETORAS INTERNAS	• Células secretoras, idioblastos		
	• Espacios secretores	lísigenos	
		esquizógenos	
	• Laticíferos	articulados	no ramificados
			ramificados
		no articulados	no ramificados
ramificados			

ESTRUCTURAS SECRETORAS EXTERNAS

Estas estructuras varían en complejidad. Pueden ser parte de la epidermis o subepidermis. La secreción es variable, puede ser una solución salina o azucarada, o contener terpenos, gomas o enzimas.

Tricomas glandulares

Presentan formas diversas y se encuentran distribuidos en gran cantidad de plantas.

Los tricomas vesiculosos de *Atriplex* están formados por una célula secretora distal, un pie de varias células y una célula basal (Fig.10, d), la solución salina se secreta activamente y al morir la célula secretora, queda la sal secretada sobre la superficie de la misma. La pared externa de estas células tienen ectodesmos.

Otras plantas secretan yeso (carbonato de calcio), aceites esenciales, terpenos y mucílagos (Fig.11, 3, 5).

Las plantas carnívoras crecen en habitats deficientes, como pantanos ácidos, pobres en minerales, y en sabanas. Para adaptarse a este ambiente, algunas plantas adquieren la capacidad de atrapar y digerir pequeños animales, de los que obtienen nutrientes. Los órganos de captura suelen ser hojas modificadas, a las cuales se acercan las presas atraídas por colores, olores, néctar

y así los animales son atrapados por medio de mucílago secretados por células especializadas, ubicadas en los semilimbos foliares, los que se cierran rápidamente, a modo de trampa, así las presas son atrapadas y digeridas por enzimas proteolíticas secretadas por tricomas glandulares (Fig.10, 4), localizados en el interior de dichas trampas, quienes a su vez realizan la absorción de los productos digeridos.

Hay tricomas que secretan néctar (Fig.11, 2).

En *Urtica dioica* (ortiga), hay tricomas urticantes o vesiculosos hundidos, rodeados de células epidérmicas que se elevan sobre la superficie. La parte superior del tricoma parece un fino tubo capilar, cuando el tricoma entra en contacto con la piel, el capilar se rompe en forma predeterminada y deja visible un filoso extremo que penetra la piel, hace presión sobre la vesícula, forzando al líquido a penetrar en la incisión (Fig.11, 6).

Los tricomas absorbentes, especialmente en las plantas epífitas, son capaces de absorber agua y nutrientes (Ca, Zn). Hay ectodesmos en las paredes externas e internas de las células basales y en las paredes entre la célula basal y las primeras del pelo (Fig.11, 7).

El estigma húmedo, es definido como una estructura glandular importante en la interacción polen-estigma (Fig.16, C).

Las células secretoras activas tienen protoplastos densos, ricos en sustancias proteicas y con grandes núcleos. En las estructuras glandulares complejas, la actividad relacionada con la secreción tiene lugar en tejidos a varias capas de células en profundidad.

Glándulas:

Son más complejas, están constituidas por tejido epidérmico y subepidérmico, presentando hacedillos de conducción que pueden penetrar en el pie de la glándula o llegar solo a la base de la misma (Fig.11, 1, b y Fig.16, B).

Nectarios:

Son tejidos especializados que secretan **néctar**, el que está compuesto de monosacáridos (glucosa y fructuosa) y disacáridos (maltosa, celobiosa), aminoácidos, proteínas (enzimas), ácidos orgánicos, lípidos, alcaloides, fenoles, antioxidantes (ácido ascórbico), saponinas, dextrina, agua, iones (potasio) y otras sustancias inorgánicas.

Los nectarios, de acuerdo a su localización en el cuerpo de la planta pueden ser **florales** y **extraflorales** (Fig.16, D).

A- *Nectarios florales.* Son los que se encuentran en la flor.

En dicotiledóneas la posición es muy variada y así tenemos.

- 1) en los sépalos
- 2) en los pétalos
- 3) en la base de los estambres
- 4) en forma de anillo en la base del ovario
- 5) en forma de un anillo en la base de los estambres
- 6) en forma de un disco entre los estambres y el ovario
- 7) otros

En Monocotiledóneas se localizan en los septos del ovario; estos nectarios son cavidades recubiertas de células secretoras, que se conectan con el exterior a través de canales (Fig.16, E).

B- *Nectarios extraflorales.* Se hallan en otras partes epigeas de la planta, excepto en la flor. Los podemos encontrar en:

- 1) brácteas.
- 2) base de las hojas.
- 3) base de los cotiledones
- 4) el pecíolo de las hojas
- 5) otros

Características citológicas

En ambos tipos, las células secretoras se caracterizan por poseer citoplasma denso y un núcleo de gran tamaño. Hay abundancia de ribosomas libres, de REI y RER y de mitocondrias. Las otras organelas presentes muestran considerable variación en abundancia y aparición. El tejido vascular que suple al nectario no está en contacto directo con las células secretoras, sino que está separado de ellas por tejido subglandular. El tejido vascular está constituido por floema y a veces floema y xilema.

La secreción del nectar puede ser ecrina o granulocrina, en este último caso, las moléculas de azúcar son transportadas en vesículas, presumiblemente derivadas de RE o de los dictiosomas, hasta la plasmalema, donde ocurre la fusión de esos elementos y la subsiguiente liberación de esos azúcares en el exterior del nectario.

Las plantas polinizadas por animales suelen producir nectar, este puede ser ingerido por el visitante en forma directa (pájaros, murciélagos, Lepidóptera y Diptera) o llevado al nido para alimentar larvas de insectos (Himenoptera).

Los nectarios extraflorales son importantes en el mantenimiento de una relación de mutualismo beneficiosa entre la planta y ciertos insectos como hormigas que son atraídas a los nectarios, esta ofrece como respuesta, diferentes grados de protección antiherbívora, asimismo pueden detener la acción de otros organismos que reducen la capacidad reproductiva de la planta al robar néctar.

Hidátodos:

Los hidátodos expelen agua al estado líquido, desde el interior del órgano a su superficie, proceso denominado **gutación**.

El agua de gutación contiene sales, azúcares y sustancias orgánicas; es movilizada desde las traqueidas del xilema, a través de un parénquima de paredes delgadas y amplios espacios intercelulares, denominado **epitema** y llega al exterior a través de estomas especializados de mayor tamaño, que han perdido el mecanismo de apertura y cierre (Fig.16, F).

Los hidátodos se encuentran en hoja, tallos jóvenes, usualmente cerca de las venas.

Osmóforos:

El olor de las flores normalmente es producido por sustancias volátiles (aceites esenciales) distribuidas por la epidermis del perianto. En algunas plantas el olor se origina en glándulas especiales llamadas osmóforos. Diversas partes florales pueden diferenciarse como osmóforos y pueden tomar forma de lengüeta o cilios.

Los osmóforos tienen una epidermis secretora y por debajo de ella varias capas de células que contienen gran cantidad de productos almacenados, generalmente almidón, la emisión de la secreción volátil es breve y está relacionada con la utilización de la sustancia almacenada (Fig.16, G).

ESTRUCTURAS SECRETORAS INTERNAS

Se encuentran en muchas familias de plantas y presentan gran variabilidad en su estructura y contenido.

Células secretoras o idioblastos secretores:

Las células secretoras se diferencian del parénquima fundamental. Se distinguen por su forma, tamaño y contenido. Pueden contener cristales, taninos, aceites, bálsamos, resinas, mucílagos, gomas etc.

El tipo más común de células secretoras son las células oleíferas.

Los **litocistos** que contienen **cistolitos** de carbonato de calcio, celulosa y calosa, son excelentes ejemplos de idioblastos epidérmicos (Fig.17, A).

Espacios secretores:

Los espacios secretores en forma de cavidades o canales se forman por esquizogénesis o lisogénesis. Los **espacios esquizógenos** están tapizados por células secretoras que componen el epitelio, por fuera están las células de la vaina (Fig.3, J); los **espacios lisígenos** están tapizados por células más o menos desintegradas cuya descomposición conduce a la formación de este espacio (Fig., 3, K).

Los espacios secretores pueden encontrarse en cualquier lugar de la planta. Pueden ser redondeados, alargados y canaliformes. Las excreciones están compuestas de aceites volátiles, bálsamos viscosos, gomorresina, látex, gomas etc.

En las células epiteliales de los conductos resiníferos las gotitas de excreción se encuentran en el protoplasto junto a la pared que da al espacio, mientras que en los espacios lisígenos las excreciones se originan en las células antes que éstas se desintegren.

Laticíferos:

Son células o series de células unidas que contiene un líquido llamado látex.

El **látex** es una suspensión y en algunos casos una emulsión blancuzca, amarillenta, anaranjada e incluso transparente. Su composición química es variada, entre los materiales en suspensión puede haber partículas de caucho, ceras, resinas, proteínas, aceites esenciales, mucílagos, almidón, sales, ácidos orgánicos, alcaloides, etc.

Los laticíferos se clasifican en dos tipos de acuerdo a su desarrollo:

Laticíferos no articulados: son aquellos que se originan de una célula del embrión (una célula por laticífero), que se alarga considerablemente junto con la elongación de la planta y penetra en los tejidos formados en el meristema apical. Éste laticífero se extiende a través de la lámina media de las células circundantes mediante una combinación de crecimiento simplástico e intrusivo. Éstos “ductos” son también llamados **células laticíferas**. Son polinucleados ya que el núcleo se divide varias veces sin posterior citocinesis. En algunos casos, este tipo de laticífero puede ramificarse y se los denomina **laticíferos no articulados ramificados** (Fig.17, C) o bien no ramificarse y se los denomina **laticíferos no articulados no ramificados** (Fig.17, D).

Laticíferos articulados: están formados por series longitudinales de células en las cuales tiene lugar la disolución de las paredes transversales comunes. Cuando este fenómeno tiene lugar se vuelven polinucleados. Los laticíferos articulados también pueden ser ramificados y se denominan **laticíferos articulados ramificados**. Estos últimos se forman cuando algunas paredes laterales se desintegran parcialmente y se fusionan, dando origen a un sistema anastomosado (Fig.17, D). Cuando no se ramifican se los denomina **laticíferos articulados no ramificados** (Fig.17, E).

Los laticíferos suelen estar asociados al floema y pueden presentarse durante el crecimiento secundario de una planta; no obstante no tienen paredes lignificadas.

Laticíferos no articulados	<u>No ramificados o anastomosados</u>
	Apocinaceas: <i>Vinca</i> sp. Urticaceas: <i>Urtica</i> sp.
	<u>Ramificados o anastomosados</u>
	Euphorbiaceas: <i>Euphorbia</i> sp. Apocinaceas: <i>Nerium oleander</i> Moraceas: <i>Ficus</i> sp.

Laticíferos articulados	<u>No ramificados o anastomosados</u>
	Convolvulaceas: <i>Ipomoea</i> sp. Liliaceas: <i>Allium</i> sp. Musaceas: <i>Musa</i> sp.
	<u>Ramificados o anastomosados</u>
	Asteraceas: <i>Lactuca sativa</i> Caricaceas: <i>Carica papaya</i> Papaveraceas: <i>Papaver somniferum</i>

En la planta los laticíferos están turgente y en equilibrio osmóticos con las células circundantes; pero cuando se corta la planta el látex es liberado.

Importancia económica de las secreciones vegetales.

Muchas secreciones vegetales tienen importancia económica, entre ellas el látex.

El látex mejor conocido es el de varias especies productoras de **caucho**. El principal productor de caucho es la *Hevea brasiliensis*. El caucho representa del 40 al 50% del látex, *Crytostegia grandiflora*, *Taraxacum kok-saghyz* y otras especies también son productoras de caucho, pero en menor cantidad que el primero.

Las partículas de caucho en suspensión, en el látex, varían mucho de tamaño y forma. Cuando el látex es extraído de la planta, las partículas se reúnen, el látex, se dice, coagula.

Las Gutta-percha se obtiene por la coagulación del látex de especies del género *Palanquium*; este látex es empleado en la manufactura de, pelotas de golf, cables subterráneos y subacuáticos, dentaduras postizas, entre otros.

El látex de *Achras sapota* de la familia de las Sapotáceas, es la fuente original del chicle.

El látex de *Carica papaya* (mamón) contiene papaína, el del *Papaver somniferum*, constituye el opio.

ESTRUCTURAS SECRETORAS EXTERNAS

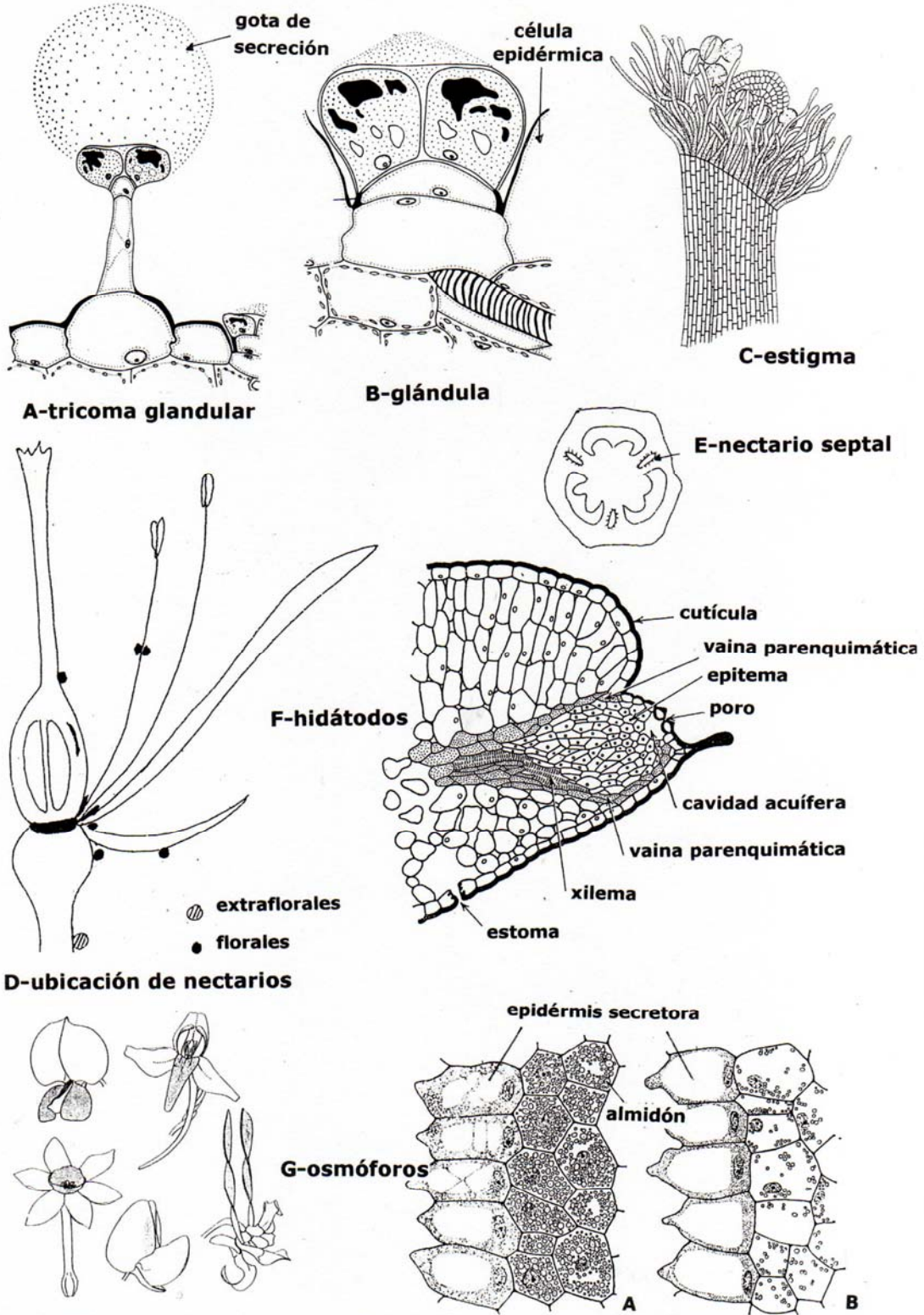
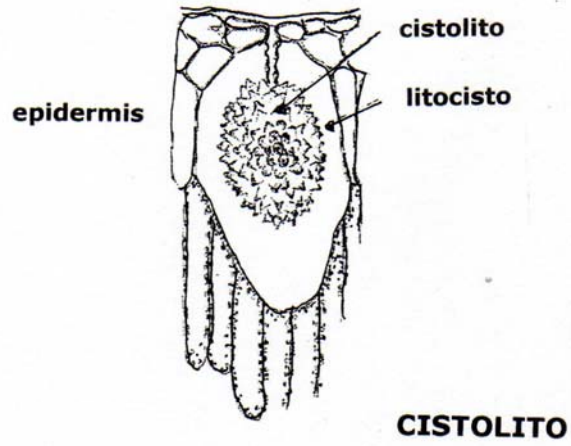


Figura 16

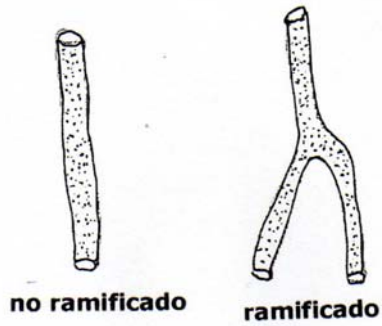
A-antes de la secrecion; B-después de la secrecion

ESTRUCTURAS SECRETORA INTERNAS



LATICÍFEROS

Laticíferos no articulados



laticíferos articulados ramificado



no ramificado

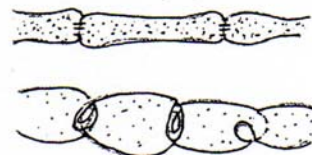
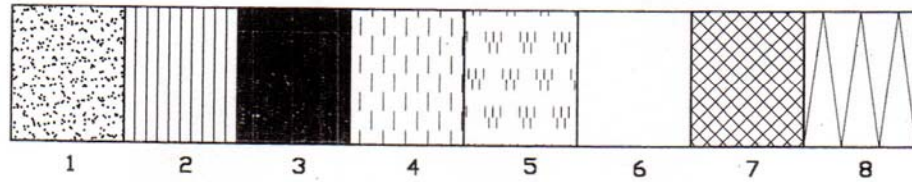
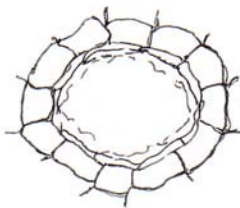


Figura 17

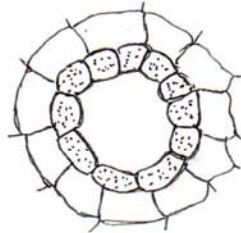
Para la representación de esquemas se utilizan los símbolos de Metcalfe & Chalk (1950), modificados.



- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1- floema | 5- parenquima esponjoso |
| 2- xilema | 6- parénquima |
| 3- esclerénquima | 7- colénquima |
| 4- parénquima en empalizada | 8- súber |



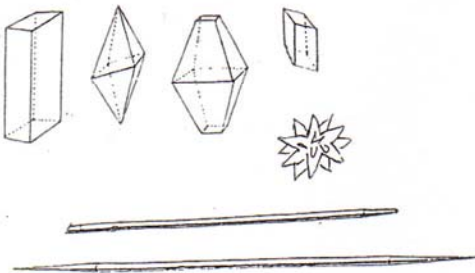
cavidad lisígena



espacio esquizógeno



radios



cristales



epidermis



estoma



cambium

ESTRUCTURA DEL CUERPO DE LAS ESPERMATÓFITAS

El vástago constituye el sistema aéreo de la planta. Está formado por el tallo y las hojas a los que luego se suman los órganos reproductores.

El vástago deriva de la actividad de los meristemas apicales caulinares.

En el embrión, el vástago está representado por la plúmula. Esta es la primera yema y está constituida por el tallo (epicótilo), una o más hojas rudimentarias (primordios foliares), primordios de yemas laterales (axilares) y un meristema apical terminal.

TALLO

El cuerpo primario del tallo se origina a partir de 3 sistemas de tejidos: protodermis, procambium y meristema fundamental.

Durante el siglo XIX los investigadores trataron de averiguar el **número de células iniciales** en los ápices y la posterior determinación de los tejidos que se derivan de ellas y fundamentalmente a la disposición y función de las células del **promeristema o ápice caulinar** propiamente dicho, que es la porción terminal del tallo situada inmediatamente por encima del último primordio foliar.

El concepto de la organización del ápice caulinar ha evolucionado a lo largo del tiempo. La opinión relativa al número, disposición y actividad de las células iniciales y sus derivadas han experimentado profundos cambios. Se han enunciado varias teorías que han intentado descubrir e interpretar la estructura de los ápices y su modo de crecimiento.

Estructura del tallo

Los tejidos que se diferencian como resultado del crecimiento primario y por lo tanto están vinculados al meristema apical son denominados tejidos primarios.

Las variaciones en la estructura primaria en tallos de distintos grupos vegetales se basa principalmente en las diferencias en la distribución relativa de los sistemas de tejidos fundamentales y vasculares.

Haces vasculares (Fig. 18, A).

El floema y el xilema se hallan asociados constituyendo los haces vasculares. Las diferentes manera de disponerse los tejidos vasculares dentro de los haces, ha permitido establecer distintos tipos de haces

- 1- **Haz colateral**: cuando el floema es externo con respecto al xilema y están en contacto radial; pudiendo ser:
 - a- **Haz colateral abierto**: cuando entre xilema y floema hay tejido meristemático procambial. Ej. Gimnospermas y Angiospermas-Dicotiledóneas.
 - b- **Haz colateral cerrado**: cuando entre xilema y floema no hay tejido meristemático procambial. Ej. Angiospermas-Monocotiledóneas.
- 2- **Haz bicolateral**: cuando el floema se encuentra a ambos lados del xilema. Ej. Solanáceas, Cucurbitáceas, Asclepiadáceas.
- 3- **Haz concéntrico**: cuando uno de los tejidos vasculares rodea completamente al otro, pudiendo ser:
 - a- **Haz concéntrico anfigasal**: cuando el xilema rodea al floema. Ej en *Dracaena* sp. *Cordiline* sp. (Monocotiledóneas).
 - b- **Haz concéntrico anficribal**: cuando el floema rodea al xilema. Ej. Pteridófitas.

Teoría estélica (Fig.18, B).

El sistema vascular y el tejido fundamental asociado al mismo constituyen, bajo la interpretación de Van Thiegen y Douliot (1885), una unidad denominada **estela** (del griego=columna).

El concepto de estela constituye la base de la teoría estelar, que considera a la raíz y al tallo basicamente iguales, debido a que cada uno de ellos consta de un cilindro central o estela, rodeado por la corteza. Dicho cilindro central incluye al sistema vascular con todas sus áreas interfasciculares, la médula y el periciclo.

Según la disposición de los tejidos vasculares y el tejido fundamental se pueden diferenciar tres tipos de estelas: **protostela, sifonostela, atactostela.**

Protostela: es el tipo más simple de estela y filogenéticamente el más primitivo. Consta de una columna sólida de tejido vascular, **no hay médula.** Ej. Pteridófitas primitivas.

De acuerdo a la distribución del xilema y del floema se diferencian variantes de la protostela: **haplostela**, **actinostela** y **plectostela**.

Sifonostela: es el tipo de estela que **presenta médula**. El sistema vascular se dispone a su alrededor como un cilindro entero o seccionado. Según la distribución del xilema y el floema y la presencia de parénquima interfascicular se distinguen las siguientes variedades:

- a- **Sifonostela ectofloica:** con xilema hacia adentro y floema externo. Se presenta en Pteridófitas y Dicotiledóneas.
- b- **Sifonostela anfibloica:** con floema interno y externo. Se presenta en Pteridófitas y Dicotiledóneas.
- c- **Eustela:** cuando el cilindro vascular hueco se presenta seccionado en partes por la presencia de un parénquima interfascicular, quedando determinados haces que se distribuyen en un anillo alrededor de la médula. Los haces pueden ser colaterales abiertos en Gimnospermas y Angiospermas-Dicotiledónea o bicolaterales en Solanáceas.
- d- **Dictiostela:** es una sifonostela anfibloica seccionada, constituyendo haces anficribales que inervan a las hojas.

Atactostela: es la estela en el que el sistema vascular se presenta constituido por haces colaterales cerrados, dispersos uniformemente en el tejido fundamental formando varios ciclos concéntricos. En este tipo de estela, característico de las Monocotiledóneas, no es posible distinguir una médula.

Disposición de los tejidos primarios en el tallo de una Angiosperma:

A- Dicotiledoneas (Fig.19, A)

En el corte transversal de un tallo primario, podemos distinguir las siguientes zonas:

- 1- Epidermis
- 2- Corteza
- 3- Cilindro central o vascular

Epidermis: la mayor parte de los tallos tienen una epidermis uniestratificada con cutícula y paredes cutinizadas. Posee estomas y tricomas.

Corteza: está constituida por colénquima, parénquima clorofiliano, parénquima reservante, y/o esclereidas.

Por debajo de la epidermis, en algunas especies, hay una capa de células diferentes a las del parénquima y de la epidermis, por su origen, recibe el nombre de hipodermis. Hacia el interior, debajo de la epidermis y/o hipodermis se localiza el colénquima formando un cilindro o haces discontinuos.

Los parénquimas presentan espacios intercelulares, pueden contener almidón, cristales, taninos, idioblastos (esclereidas).

La última capa de la corteza, en el límite con el cilindro central, suele contener abundante almidón por lo que se la denomina **vaina amilífera**.

Cilindro central o vascular: Está constituido por el tejido vascular y la médula.

Los tejidos vasculares están formando haces colaterales abiertos o bicolaterales. Están dispuestos en un solo anillo y se encuentran separados unos de otros por parénquima interfascicular que constituyen los **radios medulares primarios**, los que conectan corteza con médula.

La médula está formada por tejido parenquimático de reserva que a veces puede reabsorberse y formar una cavidad.

A veces la parte periférica de la médula puede tener células más pequeñas ordenadas en forma compacta, constituyendo la zona **perimedular**.

B- Monocotiledóneas (Fig.19, B).

En la sección transversal de un tallo de Monocotiledónea se observa: epidermis, parénquima fundamental en el que se hallan los haces colaterales cerrados, cada uno de los cuales está encerrado por una vaina esclerenquimática.

Xilema primario

El xilema primario consta de elementos traqueales, (traqueidas y miembros de vasos), fibras y parénquima. Su organización es simple y no tiene radios.

El **protoxilema** madura primero, y cuando deja de ser funcional se oblitera y casi se colapsa y destruye. En general el protoxilema está constituido solo por elementos traqueales con predominancia de tipo anular y helicoidal y parénquima.

El metaxilema está integrado estructuralmente con el protoxilema. Consta de elementos traqueales helicoidales, escalariformes, reticulados y punteados, y a veces fibras. El parénquima puede encontrarse disperso entre los elementos traqueales o formar hileras radiales semejantes a radios.

Los elementos traqueales del metaxilema pueden ser retenidos al cesar el crecimiento primario, pero dejan de ser funcionales cuando se diferencia el xilema secundario. Cuando las plantas no tienen crecimiento secundario el metaxilema permanece activo.

Floema primario

El floema primario se clasifica en **protofloema** y **metafloema**. Los elementos cribosos del **protofloema** son los primeros que maduran en partes de la planta que aún están en crecimiento. Son capaces de alargarse y ajustarse al ritmo de crecimiento del órgano, pero están sujetos a las tensiones que producen el acomodamiento y crecimiento de las células circundantes, por lo que pronto se obliteran y dejan de ser funcionales.

Los elementos cribosos del protofloema de Angiospermas son angostos e inconspicuos, anucleados y tienen áreas cribosas con calosa. Pueden tener o no células acompañantes y aparecen solos o en grupos, entre células de parénquima que se van alargando y más tarde engruesan sus paredes y se transforman en fibras, las que se ubican en la periferia en muchos tallos de Dicotiledóneas y muchas veces son denominadas **fibras pericíclicas**.

El **metafloema** se diferencia más tarde y, en plantas sin crecimiento secundario, constituye el único floema conductor de las partes adultas de la planta.

El metafloema tiene elementos cribosos más numerosos y más anchos que el protofloema. Las células acompañantes están regularmente presentes en el metafloema de las Angiospermas.

	PROTOXILEMA	METAXILEMA
Tipos celulares	- Tráqueas y traqueidas estrechas, anulares y helicoidales. - Parénquima. - Fibras (ausentes).	- Tráqueas y traqueidas helicoidales, escalariformes, reticuladas y punteadas. - Parénquima. - Fibras (presentes).
Maduración	- Antes de completar el alargamiento	- Luego de completar el alargamiento
Funcionalidad	- Se vuelven inactivos	- Son activos

	PROTOFLOEMA	METAFLLOEMA
Tipos celulares	- Tubos cribosos angostos. - Puede haber o no células acompañantes. - Fibras.	- Tubos cribosos anchos. - Con células acompañantes. - Fibras.
Maduración	- Antes de completar el crecimiento.	- Luego de completar el crecimiento.
Funcionalidad	- Se vuelven inactivos.	- Son activos.

Disposición de los tejidos secundarios en el tallo de una Angiosperma

El crecimiento en grosor que tiene lugar en zonas alejadas de los ápices se llama crecimiento secundario y los tejidos originados de este modo se llaman tejidos secundarios. El conjunto de estos tejidos forman el cuerpo secundario de la planta.

El cuerpo secundario del tallo de una Dicotiledónea está determinado por un aumento en grosor, que se debe a la actividad de los dos meristemas laterales: cambium y felógeno.

El desarrollo de tejido vascular secundario a partir del cambium es típica de Gimnospermas y Angiospermas-Dicotiledóneas.

El cambium forma un cilindro hueco que se extiende a lo largo del tallo en forma continua. Distiguimos dos tipos de cambium: el cambium fascicular y el cambium interfascicular.

El cambium fascicular (Fig.20, A), está ubicado dentro de cada haz, es originado por el procambium. Está constituido por dos clases de células: las iniciales fusiformes y las iniciales radiales. Como sabemos, las primeras son alargadas, de extremos afilados y originan xilema y floema secundarios por divisiones longitudinales tangenciales, las segundas son isodiamétricas, pequeñas y forman los radios secundarios que terminan en el floema y el xilema.

El cambium interfascicular, que se forma a partir del parénquima interfascicular, tiene como función alargar los radios medulares primarios, que ponen en comunicación la corteza con la médula.

Regularmente el anillo cambial se va agrandando a medida que la masa del xilema aumenta en el interior del tallo, es decir aumenta su superficie a consecuencia de dividirse en forma longitudinal radial.

Los elementos del xilema presentan distinto tamaño, ello se debe a la actividad estacional del cambium, que determina que en la primavera se formen vasos de mayor diámetro, denominado **leño temprano**, y en el verano vasos de menor diámetro, el **leño tardío**. Luego del

reposo invernal se forman nuevamente vasos de mayor tamaño, este pasaje es brusco y ello determina la aparición de los **anillos de crecimiento** en el xilema secundario, que permiten conocer la edad de la planta (Fig.20, C).

Generalmente se forma un solo anillo por año, aunque diversos factores accidentales como ser heladas, podas etc., pueden ocasionar una doble formación.

En algunos tallos el xilema más joven o la porción más externa del mismo es el único que funciona como conductor, es la **albura**. La partes más vieja e interna del tallo, que no tiene actividad conductora y sirve para dar resistencia al tronco es el **duramen**; generalmente los vasos del duramen están obliterados por **tíldes**, son vesículas que forman las células del parénquima que al penetrar en el lumen de los vasos a través de las puntuaciones de la pared, lo obturan, el fenómeno se conoce como **tilidosis** (Fig.20, D).

La estructura más característica del xilema secundario es la existencia de dos sistemas: el **axial, longitudinal o vertical** y el **radial, transversal u horizontal**.

En el sistema axial, las células están orientadas con sus ejes mayores paralelos al eje del tallo, mientras que en el sistema radial, se orientan en ángulo recto con respecto al eje. La organización del xilema secundario en sistema axial y radial refleja la estructura del cambium vascular del cual deriva. Las células iniciales fusiformes del cambium vascular dan origen a los elementos del sistema axial, y las iniciales radiales al sistema radial.

La relación entre los dos sistemas puede observarse en tres tipos de secciones, que son usadas para interpretar la estructura de la madera. En la **sección transversal** las células del sistema axial se cortan transversalmente, mientras que los radios son expuestos en forma horizontal. Cuando el tallo se corta a lo largo, pueden obtenerse secciones de dos tipos: **longitudinal radial** a lo largo del radio y **longitudinal tangencial** paralela a la tangente (Fig.2, D). Ambas secciones ofrecen una vista similar del sistema axial, pero dos diferentes de los radios vasculares. El longitudinal radial muestra a los radios en forma de bandas horizontales que se orientan en ángulo recto, respecto a los elementos del sistema axial; el longitudinal tangencial corta a los radios y revela su ancho y altura (Fig.21).

El otro meristema que determina el crecimiento en grosor del tallo es el **felógeno o cambium del súber**. En la mayoría de los casos la epidermis no está capacitada para acompañar el crecimiento en espesor del tallo y por consiguiente se rompe, debiendo ser reemplazada por tejido protector secundario; el que se origina por actividad del felógeno.

La formación del felógeno se realiza al comienzo del crecimiento en grosor, pero a veces comienza antes. Por divisiones periclinales o tangenciales, el felógeno forma hacia el exterior, estratos de células de paredes suberificadas que reciben el nombre de **súber, corcho o felema**; en menor cantidad, se producen células sin suberificar hacia el interior que constituyen la felodermis. El conjunto de corcho, felógeno y felodermis se denomina **peridermis** (Fig.20, B).

Las células del felógeno en corte transversal son rectangulares y algo aplanadas radialmente. En sentido longitudinal pueden ser rectangulares o algo irregulares. El citoplasma es vacuolado y puede contener cloroplastos y taninos.

Las células del súber son también prismáticas; alargadas en sentido longitudinal, y aplanadas en sentido radial. Se disponen sin dejar espacios intercelulares y en hileras radiales. Antes de alcanzar el tamaño definitivo comienza a depositarse la suberina por dentro de la pared primaria de celulosa. En estado adulto las células del súber no poseen citoplasma, son células muertas y se llenan de aire y sustancias orgánicas, como resinas y taninos, que las colorean.

Las células de la felodermis son muy parecidas a las del parénquima cortical, se distinguen entre sí por disponerse en hileras radiales, debido a que se originan por divisiones periclinales del felógeno.

Lenticelas: la presencia de suberina en el corcho, interrumpe la conducción de agua y nutrientes; por ello, tanto las células del corcho como las situadas fuera de la peridermis mueren; como el corcho también es impermeable al aire, no habría intercambio gaseoso entre los tejidos del tallo y el medio exterior, es por ello que se forman orificios especiales para la entrada de aire. Para tal fin, se originan las **lenticelas**, generalmente en el lugar donde antes estuvieron los estomas; allí el felógeno por numerosas divisiones produce células sueltas, de **relleno** o también llamadas **células complementarias**, que empujan a la epidermis hacia el exterior y finalmente la rompen (Fig. 20, E). El intercambio se puede llevar a cabo fácilmente porque las lenticelas tienen muchos espacios intercelulares. Con frecuencia se forman una o más capas de cierre, de células dispuestas de manera más compactas y firmes que las del tejido complementario, las cuales se rompen con el crecimiento (Fig.20, F).

Ritidoma: el felógeno originado en principio en los tejidos superficiales (epidermis, colénquima y parénquima), forma la primera peridermis, pero éste deja de producir células muy pronto y es remplazado en el próximo período vegetativo, por otro felógeno que se forma de un estrato más profundo de la corteza. Este proceso se repite anualmente y es así que en las especies

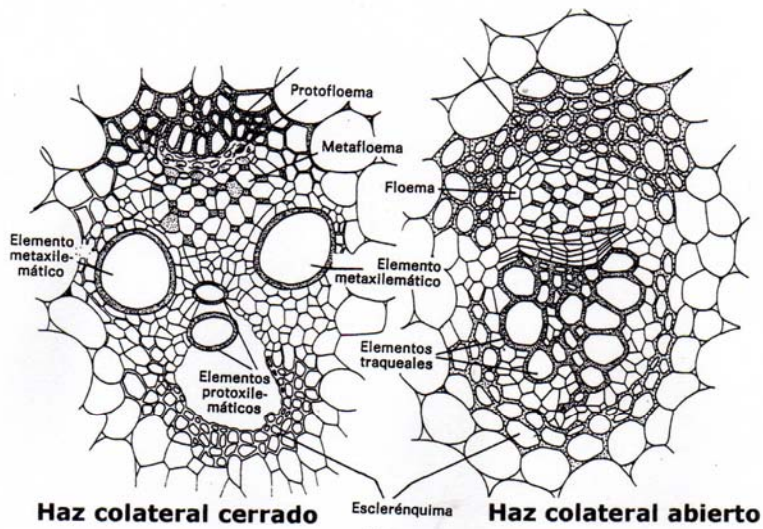
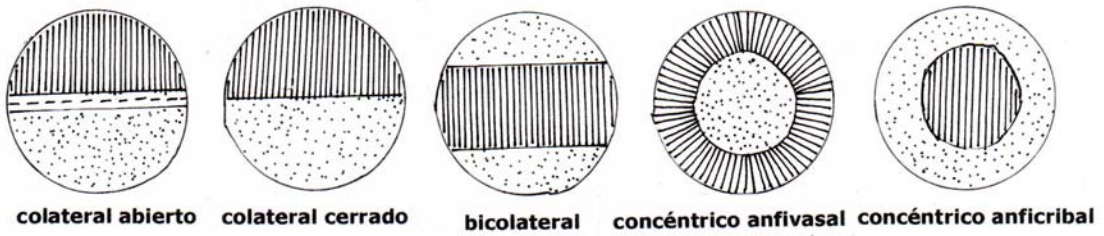
arbóreas en general, los últimos felógenos ya se originan del tejido floemático (parénquima), aislando masas de tejido vivo que terminan muriendo. Dicha sumatoria de peridermis originadas y los tejidos que incluyan, constituyen el **ritidoma**.

Son raros los árboles en que, como el alcornoque, mantienen durante toda su vida el primer felógeno, originando súber constantemente.

El ritidoma puede persistir sobre el tronco (ceibo) o bien desprenderse en placas (plátano), en anillos (abedul), etc., según las especies.

TALLO

A-Haces vasculares

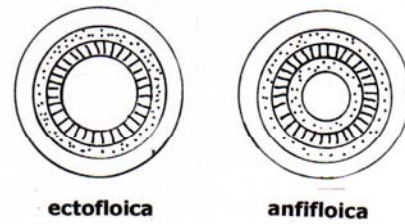


B-Estelas

Protostelas



Sifonostelas



Atactostela

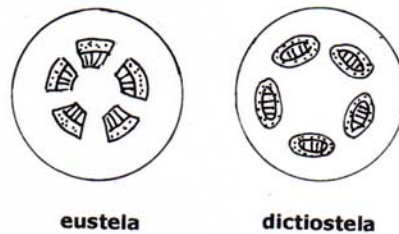
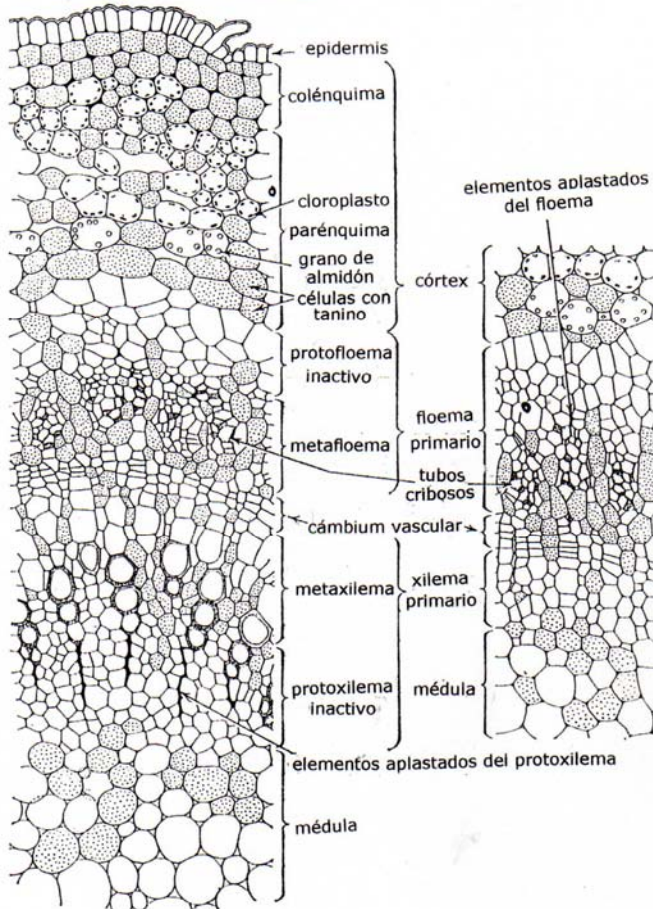


Figura 18

TALLO

A-Estructura primaria de tallo de Dicotiledonea



B-Estructura primaria de tallo de Monocotiledonea

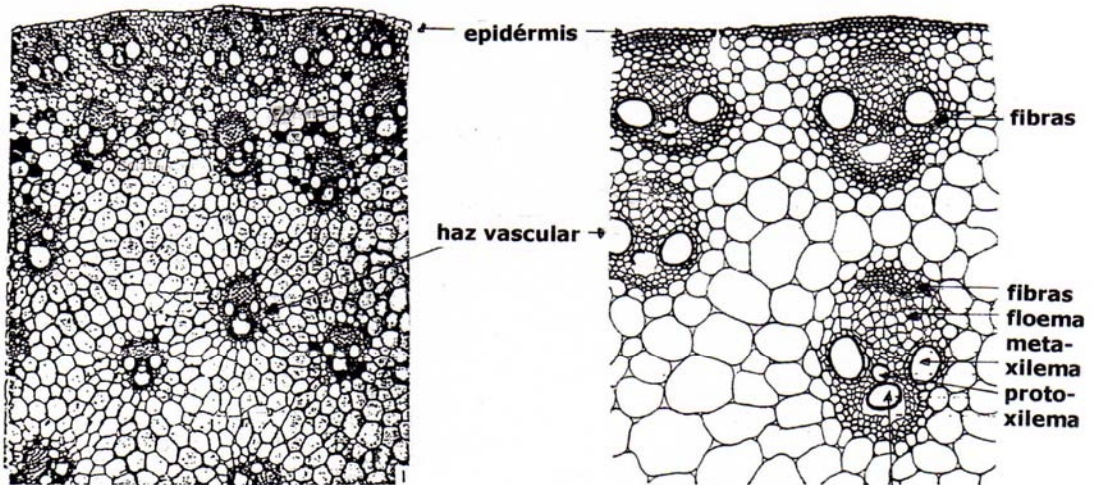
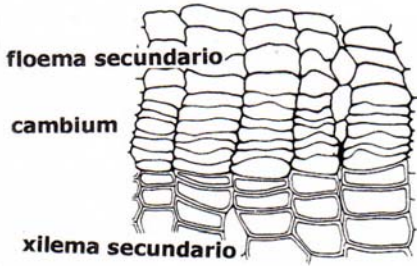
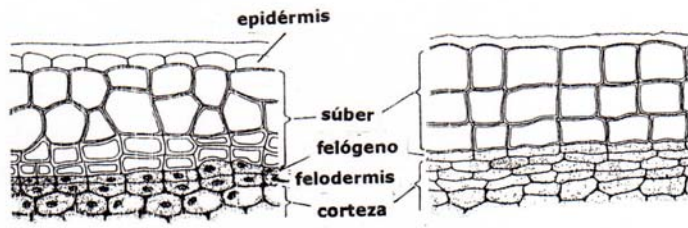


Figura 19

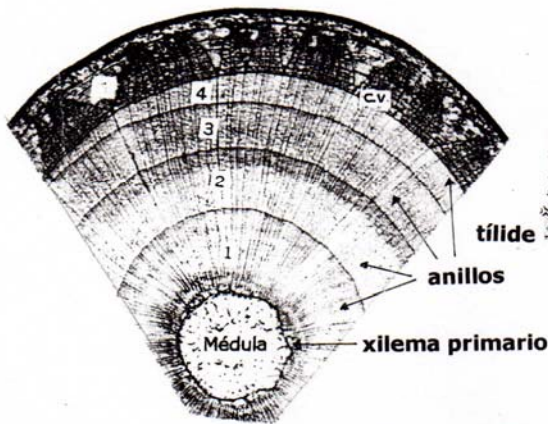
TALLO



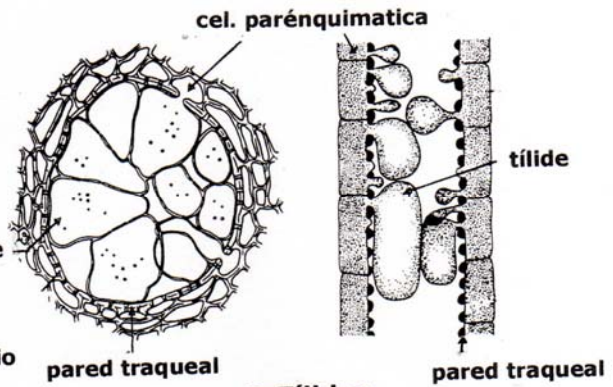
A-Cambium vascular



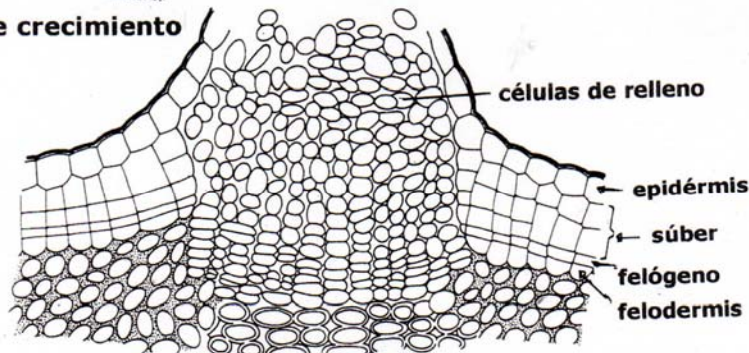
B-Felógeno



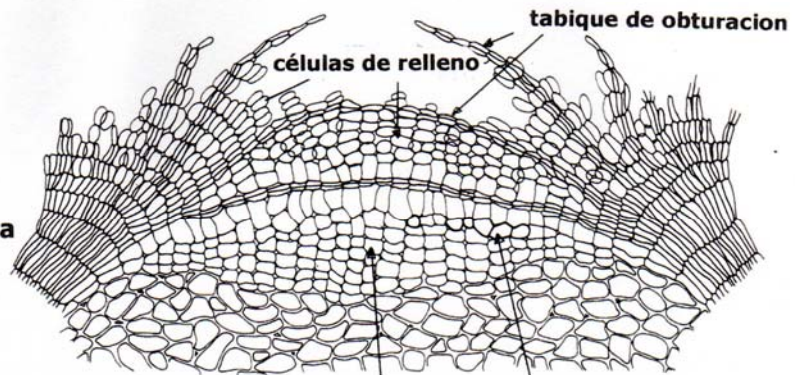
C-Anillos de crecimiento



D-Tíldes



E-Lenticela inmadura



F-Lenticela madura

Figura 20

Diagrama tridimensional de un cubo de xilema de Angiospermas

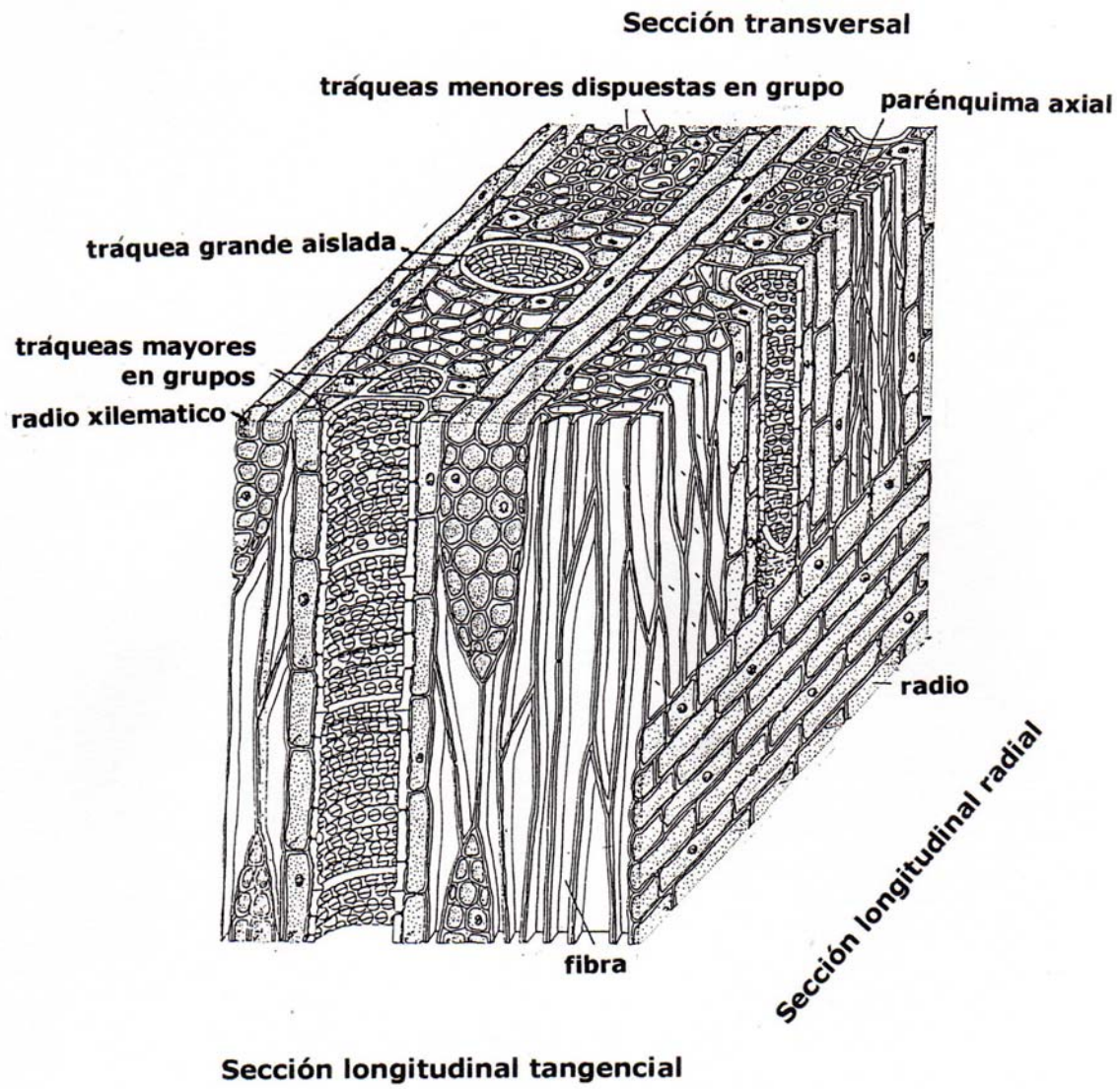


Figura 21

HOJA

Las hojas son los órganos laterales que se originan en sucesión en el meristema apical del tallo. A diferencia de los tallos que tienen crecimiento ilimitado, las hojas lo tienen limitado y está dado por la actividad de distintos meristemas.

Estructura de la lámina foliar de Angiospermas

Dada la estructura normalmente aplanada de la hoja, se hace una distinción entre los tejidos epidérmicos de las dos superficies foliares: la superficie que está más próxima al entrenudo superior y que normalmente mira hacia arriba se denomina **superficie adaxial** y la otra **superficie abaxial**.

Histológicamente la hoja está compuesta de tres sistemas de tejidos: dérmico, fundamental y vascular.

Epidermis: se componen de varios tipos celulares semejantes a las que se encuentran en las demás partes de la planta: células epidérmicas propiamente dichas, células oclusivas de los estomas, acompañadas o no de células subsidiarias, tricomas, etc. (ver epidermis).

Los estomas son abundantes en las hojas y según su disposición en las mismas éstas se clasifican en:

Hipostomáticas: estomas presentes en la superficie abaxial.

Epistomáticas: estomas presentes en la superficie adaxial.

Anfistomáticas estomas presentes en ambas superficies.

Por lo general hay una sola capa de células epidérmicas, pero la epidermis pluriestratificada se presenta con cierta frecuencia en hojas.

Mesofilo: ocupa la parte media de la hoja y sus límites superior e inferior son la epidermis adaxial y abaxial respectivamente.

La mayor parte del sistema fundamental de la hoja está representada por el mesofilo. Este se caracteriza por la abundancia de cloroplastos y por la presencia de un gran sistema de espacios intercelulares, predominantemente esquizógenos que señalan a la hoja como órgano fotosintetizante.

El mesofilo puede ser relativamente homogéneo o puede estar diferenciado en un **parénquima en empalizada** y un **parénquima esponjoso**.

El parénquima en empalizada está formado por células altas, alargadas en sentido transversal a la superficie de la hoja. El parénquima esponjoso, en cambio, consiste de células de variadas formas, frecuentemente irregulares, alargadas en igual dirección que las células en empalizada y conectadas entre sí por expansiones laterales, o bien, con mayor frecuencia alargadas paralelamente a la superficie de la hoja. Los espacios intercelulares en el parénquima esponjoso son de mayor tamaño que en el parénquima en empalizada; sin embargo, la cantidad total de superficie expuesta por las células es mayor en el parénquima en empalizada. Ésto y la presencia de mayor cantidad de cloroplastos demuestran la extrema especialización del parénquima en empalizada como tejido fotosintético.

En las plantas de las regiones templadas caracterizadas por abundante agua disponible (habitat mesofítico) el parénquima en empalizada se localiza habitualmente en la **cara superior, adaxial** o **ventral** y el parénquima esponjoso en la **cara inferior, abaxial** o **dorsal**. Una hoja con dicha estructura se denomina **dorsiventral** o **bifacial** (Fig.22, A).

Si hay parénquima en empalizada en ambas caras (habitat xerofítico) la hoja se denomina **unifacial, isobilateral** o **isolateral** (Fig.22, B).

Cuando la hoja es muy angosta o cilíndrica posee parénquima en empalizada alrededor de la circunferencia de la hoja y entonces se la denomina hoja con **estructura cilíndrica** (Fig.22; C).

Tejidos de sostén

Como tejidos de sostén encontramos en las hojas de Dicotiledóneas, colénquima, en posición subepidérmica reforzando los nervios principales y a menudo los bordes de las hojas. Muchas hojas presentan esclereidas en el mesófilo.

En hojas de Monocotiledóneas el tejido que refuerza los numerosos haces vasculares es esclerénquima también los podemos encontrar formando haces separados, fuente comercial de fibras duras (yute, sisal etc.).

Sistema vascular

Las hojas presentan un sistema de hacecillos conductores cuya estructura casi siempre se corresponde con la que presente el tallo. Pueden ser colaterales, con xilema hacia la superficie adaxial y el floema hacia la abaxial o hacecillos bicolaterales. Los haces vasculares más grandes tienen tejidos primarios y a veces secundarios, poseen traqueidas y vasos como elementos conductores. Los más pequeños son enteramente primarios y sus elementos traqueales son exclusivamente traqueidas. Cerca del extremo de las ramificaciones más pequeñas, el floema

puede estar constituido solamente por parénquima y el xilema posee sólo traqueidas con engrosamientos anular y helicado.

En hojas de Dicotiledóneas las venas mayores están rodeadas por células de parénquima con pocos cloroplastos, mientras que las venas menores que aparecen en el mesofilo, no están en contacto con espacios intercelulares sino que están rodeadas por una **vaina vascular** o **vaina del haz** que se extiende hasta la terminación de las mismas y encierran por completo a las traqueidas terminales. A veces, células similares a las de la vaina se extienden hasta la epidermis, hacia una o ambas caras de la hoja constituyendo las **extensiones de la vaina**. Tanto la vaina como sus extensiones toman parte activa en la transferencia de asimilatos del mesofilo (empalizada y esponjoso) al floema.

Las Monocotiledóneas-Poáceas, tienen 1 ó 2 vainas vasculares; éstas pueden ser: una capa externa de células parenquimáticas, con paredes delgadas y con cloroplastos llamada **vaina parenquimática** y otra interna de paredes gruesas, sin cloroplastos, llamada **mestoma**, que limita con el tejido vascular.

La anatomía foliar está en íntima relación con el mecanismo de fijación de CO₂ atmosférico, durante el proceso de la fotosíntesis, la que lleva a la formación de hidratos de carbono.

Existen tres vías de mecanismos fotosintéticos:

1. **El ciclo de Calvin-Benson, vía C₃**, se caracteriza por que el primer producto de la fotosíntesis es el compuesto de 3 átomos de carbono, ácido 3-fosfoglicérico.
2. **El ciclo de Hatch y Slack, vía C₄**, se caracteriza porque los primeros compuestos de la fotosíntesis tienen 4 átomos de carbono; ácido málico y ácido aspártico.
3. **El metabolismo ácido de las Crasuláceas (*Crassulaceae Acid Metabolism*), CAM**, similar al anterior.

Según el mecanismo que utilicen las plantas para realizar la fotosíntesis se las denomina: **Plantas C₃, Plantas C₄, Plantas CAM.**

Cada uno de estos grupos está caracterizado por un tipo particular de anatomía foliar.

Plantas C₃ pueden presentar (Fig.23, A):

- **estructura dorsiventral o bifacial:** con parénquima empalizada en la cara adaxial y parénquima esponjoso en la abaxial. Las células de la vaina del haz tienen pocos orgánulos y cloroplastos pequeños. El mesófilo es rico en cloroplastos y el almidón se acumula en el mismo.

- **estructura unifacial o isobilateral**, con parénquima en empalizada en ambas caras y parénquima esponjoso en el centro. Las células de la vaina del haz son similares a la anterior. A éste grupo pertenecen la mayoría de las plantas que habitan ambiente mesofíticos.

Plantas C₄

La estructura de la vaina del haz es particularmente importante. Las células de la vaina tienen alto contenido de orgánulos y sus cloroplastos son más grandes que los del mesofilo y de un color verde intenso. Éstos cloroplastos pueden estar ubicados próximos a la pared tangencial externa o en la interna. Estructuralmente son agranales o con grana reducido. El almidón se concentra en la vaina del haz y se forma poco en el mesofilo.

Las células del clorénquima se disponen ordenadamente por fuera de la vaina parenquimática del haz, de manera concéntrica, formando una “corona”, lo que le da el nombre de **hoja C₄ o “tipo kranz”** (corona en alemán) o también en “**diadema**” (Fig. 23, B).

Se la ha encontrado en unas 10 familias de Monocotiledóneas y Dicotiledóneas. No se presentan en Algas, Briófitas, Pteridófitas y Gimnospermas o Angiospermas primitivas, por lo que se la considera un tipo de estructura foliar evolucionado; habitan en ambientes xerofíticos con temperaturas relativamente altas y sequías intermitentes. Utilizan más eficientemente el CO₂ que las plantas C₃.

Plantas CAM

Carecen de un parénquima en empalizada desarrollado; la mayoría de los tejidos fotosintéticos es clorénquima esponjoso. Las células de la vaina del haz no difieren de las del mesofilo, se dice que son mesofílicas, poseen pocos orgánulos, son muy vacuoladas.

Se han encontrado estas estructuras homogéneas en familias como las Crasuláceas, Cactáceas y Bromeliáceas, las que se caracterizan por crecer en lugares de aridez constante (Fig.23; C).

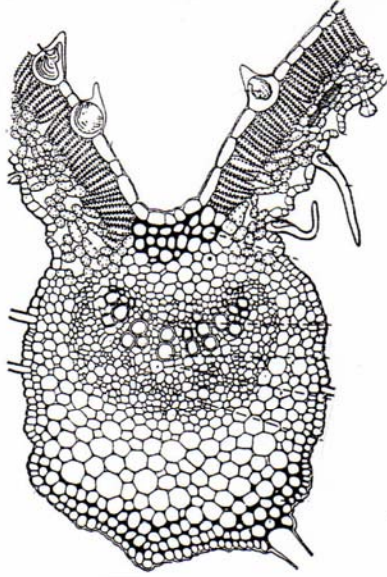
Estructura del pecíolo

Las características del pecíolo coinciden con la estructura primaria del tallo. Posee epidermis, tejido fundamental y vascular.

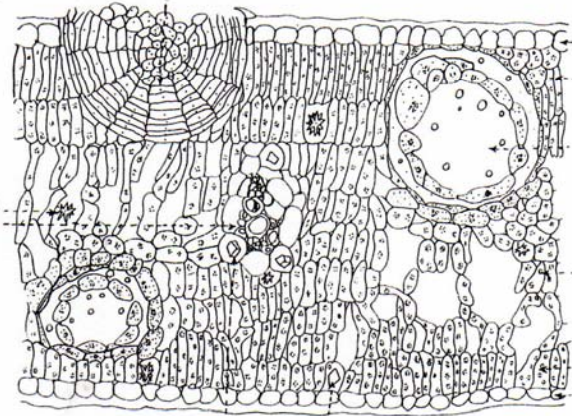
Los haces del pecíolo, de acuerdo a la disposición de los tejidos vasculares del tallo, pueden ser colaterales, bicolaterales o concéntricos. A veces se encuentran distribuidos en

círculo, semicírculo, hileras o bien dispersos. El raquis y los peciolulos de una hoja compuesta, tiene una estructura comparable a la del pecíolo.

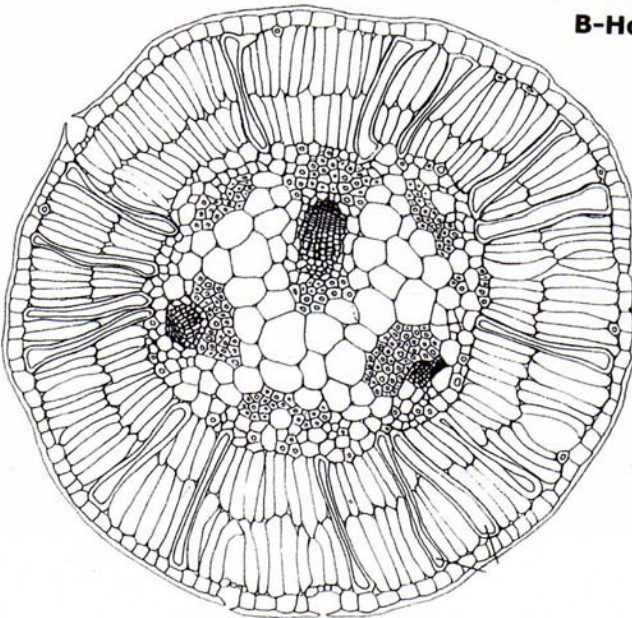
HOJA



A-Hoja con estructura dorsiventral



B-Hoja con estructura isolateral



C-Hoja con estructura céntrica

Figura 22

HOJA

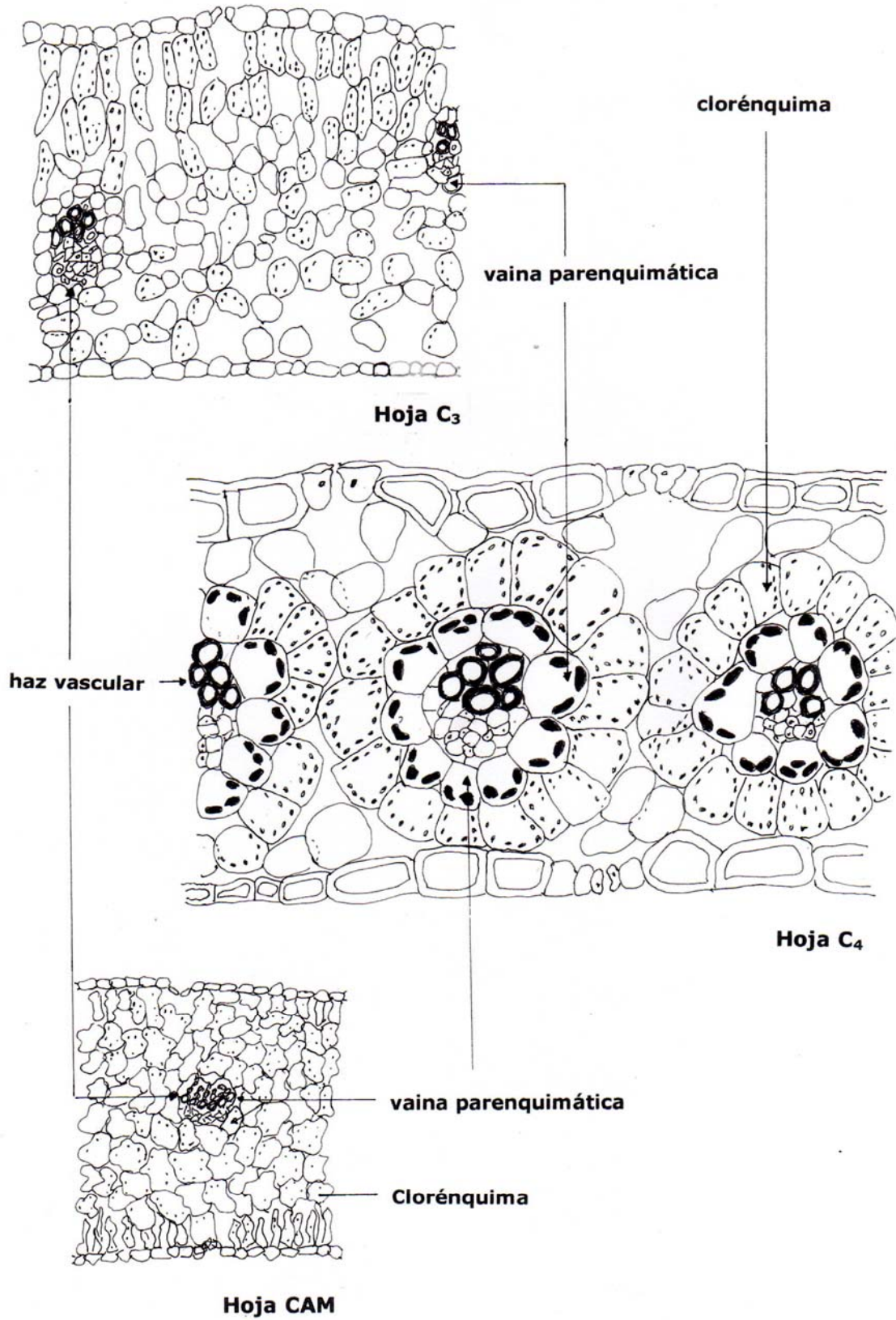


Figura 23

RAÍZ

Es la porción subterránea de la planta que le proporciona agua y nutrientes, como así también anclaje y soporte al sistema aéreo.

Morfología externa

Se puede diferenciar en la raíz, desde el ápice del cuello, las siguientes zonas:

Caliptra, cofia o pilorriza; zona meristemática; zona de alargamiento; zona pilífera o de maduración; zona suberificada (Fig. 24).

Origen

1. **Embrional:** la radícula del embrión da origen a la raíz primaria durante la germinación, pero ésta raíz única da paso al sistema radical, mediante la producción de las raíces laterales.
2. **Adventicio:** es cuando no se originan del embrión, sino que pueden hacerlo por ej. del hipocótilo de plantas jóvenes; del cuerpo primario y secundario de tallos; yemas; hojas (láminas foliares y/o pecíolos) y otros órganos. Los tejidos que pueden originarlas pueden ser: epidermis, periciclo, parénquimas (de la corteza, radios, médula), floema y cambium entre otros.

El ápice radical es bastante simple en estructura, con el meristema encerrado entre otros tejidos. El cuerpo primario se origina a partir de 3 sistemas de tejidos: protodermis, procambium y meristema fundamental.

El meristema apical de la raíz está constituido por un grupo de células que no forman órganos laterales y su crecimiento es por lo tanto regular. Origina además de los tejidos del cuerpo primario, a la caliptra hacia el exterior.

La parte distal, a semejanza con el tallo, puede llamarse protomeristema y a los tejidos meristemáticos subyacente, protodermis, procambium y meristema fundamental.

Al igual que para tallo, los investigadores han tratado de averiguar el número de células iniciales en los ápices y la posterior determinación de los tejidos que se derivan de ellas.

Zonas de la raíz (Fig. 24).

- a) Caliptra, cofia o pilorriza: es una estructura en forma de capuchón que protege al meristema apical radical y ayuda a la raíz a penetrar en el suelo durante el crecimiento.

Las células de la caliptra son parenquimáticas, vivas y a menudo contienen almidón, utilizado por la planta en casos de extrema desnutrición. Al envejecer, las células más alejadas del meristema, se desprenden o desaparecen por mucilaginización de sus paredes.

- b) Zona meristemática: abarca a las células meristemáticas y a las derivadas. La máxima actividad mitótica no ocurre en el ápice, sino a alguna distancia de éste.
- c) Zona de alargamiento: en ella las células se elongan, por vacuolización. Mide unos pocos milímetros de largo y pasa a la zona pilífera sin límites muy precisos. Comienza aquí la diferenciación de los tejidos vasculares, lo hace primero el floema y luego el xilema.
- d) Zona pilífera o región de maduración: en ella maduran la mayoría de los tejidos del cuerpo primario. En ésta zona se desarrollan los tricomas radicales (Fig.11, 8).
- e) Zona suberificada: en las paredes de las células epidérmicas se deposita suberina; debido a esta deposición y a la ausencia de tricomas absorbentes, esta zona carece de poder de absorción.

Disposición de los tejidos primarios de la raíz

La estructura primaria de la raíz en corte transversal muestra las siguientes regiones (Fig. 25, A y Fig.27, A y B).

- 1) Epidermis.
- 2) Corteza.
- 3) Cilindro central.

Epidermis: es simple, absorbe agua y minerales. Posee una cutícula delgada, tricomas absorbentes en la zona pilífera y carece de estomas. En la zona suberificada sus paredes se suberifican y se pueden impregnar de sustancias oscuras.

Corteza: comprende a la **exodermis**, **parénquima cortical** y **endodermis**. Ocupa la mayor parte del cuerpo de la raíz.

Exodermis: se forma en la capa subepidérmica; es un tejido protector de una o varias hileras de células de paredes primarias gruesas, suberificadas y a veces lignificadas, pero vivas. No siempre está presente.

Parénquima cortical: normalmente carece de clorofila (si en raíces aéreas), en general está constituido por células de paredes primarias delgadas, que dejan espacios intercelulares; en algunos casos hay colénquima; en Monocotiledóneas, incluidas las Poáceas, hay esclerificación. Las células corticales almacenan almidón, proteínas o glóbulos de grasas.

El parénquima cortical es el sitio de transporte lateral de agua y otros materiales. Parece que la solución del suelo se mueve a través de las paredes muy porosas de las células de la corteza, pero los materiales en solución se mueven de una a otra célula por los plasmodesmos.

Endodermis: contrariamente al parénquima cortical, la capa interna del mismo es compacta y sin espacios intercelulares; esta capa es la endodermis típica.

Las células endodérmicas son vivas y poseen suberina en forma de una banda que se extiende totalmente alrededor de las células en las paredes radiales y transversales (Fig.25, B y C). Esa banda, denominada **banda de Caspary**, es parte de la pared, ya que el depósito de suberina es continuo a través de la lámina media. Se encuentra adherida fuertemente al plasmalema y es una barrera en el traslado de solutos del suelo, entre la corteza y el cilindro vascular, lo que hace por vía apoplástica (espacio libre) y así obliga a pasar a través de los protoplastos de las células endodérmicas y de esa forma queda sujeto al control de las membranas protoplasmáticas con permeabilidad selectiva.

En las raíces con crecimiento secundario la endodermis es eliminada con la corteza, pero en las Monocotiledóneas, que permanecen en estado primario, la endodermis tiene tres estados consecutivos de desarrollo:

- 1- Formación de las bandas de Caspary.
- 2- Deposición de una lámina de suberina entre la banda de Caspary y el citoplasma de las células endodérmicas.
- 3- Deposición de una gruesa capa de celulosa.

Todo el conjunto puede lignificarse. El espesamiento es más voluminoso en la pared tangencial interna y en sección transversal se observan engrosadas las paredes longitudinales radiales y la tangencial interna, constituyendo las **cuadraturas de Caspary**. Frente a los cordones de xilema quedan células que no sufren este último proceso, a esas células se las denomina **células de paso**, las que solo tienen bandas de Caspary (Fig.25, D y Fig.27, B).

Cilindro central o vascular: consta de **periciclo, cordones xilemáticos, cordones floemáticos** y escasa o nula **médula**.

Periciclo: está formado por 1-2 capas de células que conservan su carácter meristemático. A partir de él, se originan las raíces de segundo orden y si tiene crecimiento secundario, el felógeno y parte del cambium vascular (Fig.25, D).

Cordones xilemáticos y floemáticos: alternan entre sí, separados por parénquima de radio.

Los vasos del protoxilema se diferencian en sentido **centrípeto**, los más primitivos y pequeños están junto al periciclo (**protoxilema exarco**) y los de mayor tamaño (metaxilema) hacia el centro.

Puede ocurrir que los vasos mayores constituyan en el centro un solo vaso más grande, no existiendo entonces médula (Fig.25, A).

También en el floema la diferenciación es centrípeta, con un protofloema hacia la parte externa y un metafloema hacia la médula.

Las primeras células vasculares se denominan **polos** y según el número de polos del protoxilema, la raíz será, **monarca, diarca, poliarca** (con uno, dos o más polos).

Disposición de los tejidos secundarios en una raíz

Las raíces de la mayoría de las Gimnospermas y Angiospermas-Dicotiledóneas, desarrollan un cambium que origina tejidos vasculares secundarios y un felógeno que produce la peridermis (Fig.26 y Fig. 27, C).

Pasaje de la estructura primaria a la secundaria (Fig. 26).

El cambium vascular se origina de células procambiales ubicadas entre el floema y el xilema primario. Éstas bandas están inicialmente separadas (Fig.26, 1), luego las células del periciclo adyacentes a los polos del protoxilema se desdiferencian y originan cambium que se une a las bandas ya existentes, formando una estructura sinuosa que sigue la línea del xilema (Fig. 26, 2).

El cambium que se origina de las bandas procambiales en el lado interior del protofloema se activa primero y forma una considerable cantidad de xilema secundario hasta que el cambium aparece circular en sección transversal (Fig.26, 3 y 4).

El cambium se divide periclinalmente produciendo floema secundario hacia el exterior de la raíz y xilema secundario hacia el interior.

La estructura de una raíz vieja, con una considerable cantidad de tejido secundario, se parece a la de un tallo con crecimiento secundario excepto que en el xilema primario se puede ver el **protoxilema exarco**, típico de las raíces mientras que en el tallo el **protoxilema es endarco**.

Debido a este crecimiento en diámetro el número de células endodérmicas aumenta hasta que finalmente se rompe.

La formación de la peridermis es posterior a la iniciación del tejido vascular secundario. Las células del periciclo sufren divisiones periclinales y anticlinales. El aumento en grosor del tejido vascular y del periciclo, desplaza a la corteza primaria hacia fuera, se fracciona y desprende junto con la epidermis y la endodermis (Fig.26, 4). El felógeno se origina de la parte exterior del periciclo y forma súber hacia fuera y muy poca felodermis hacia adentro, la que es difícil de distinguir (Fig.26, 5).

Raíces laterales. En Gimnospermas y Angiosperma-Dicotiledóneas se originan del periciclo y en vegetales inferiores de la endodermis.

RAÍZ

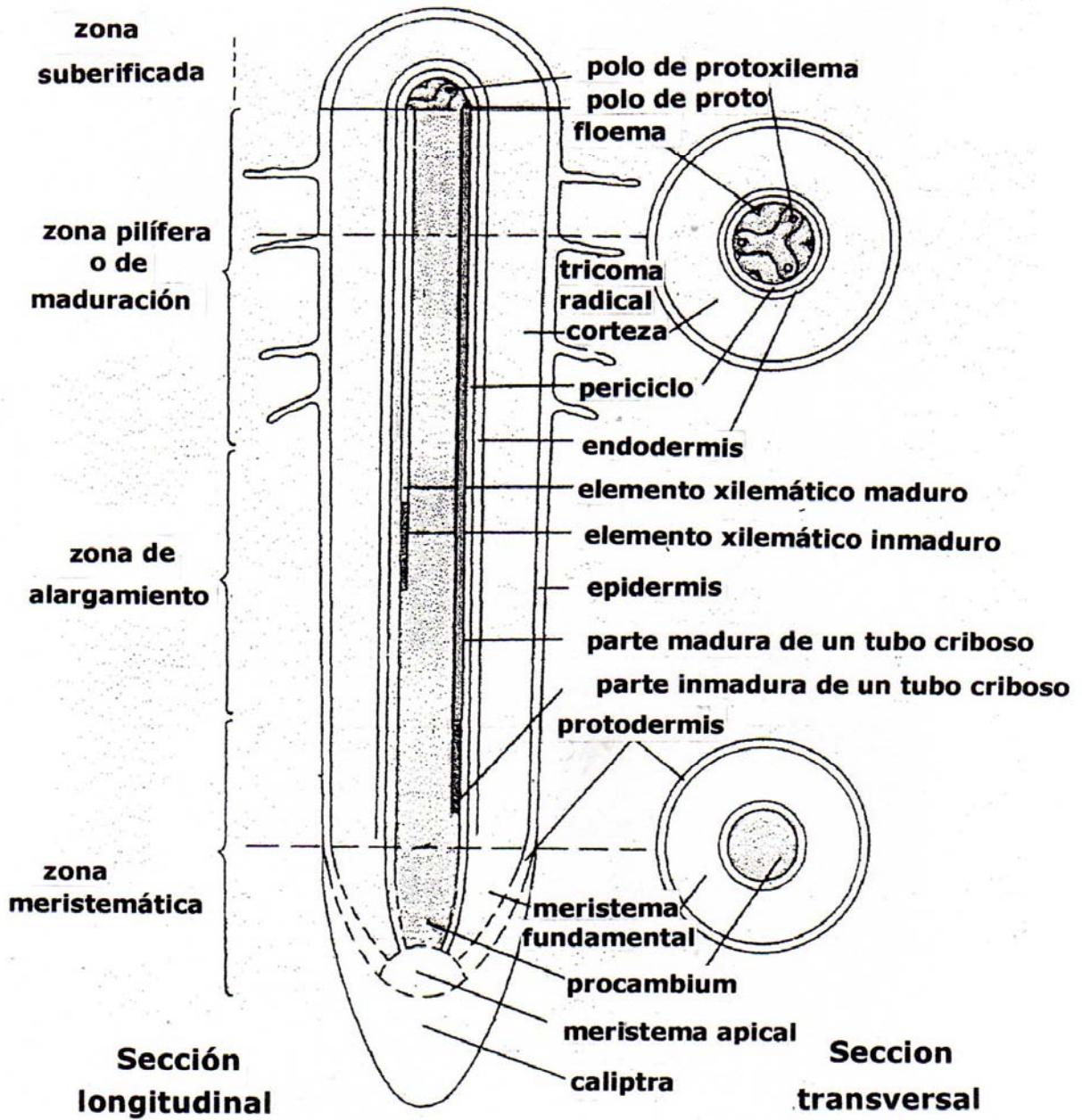


Figura 24

RAÍZ

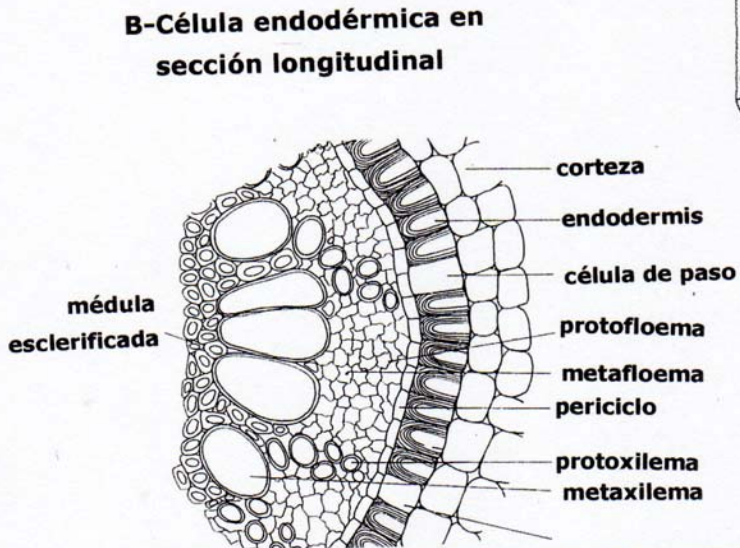
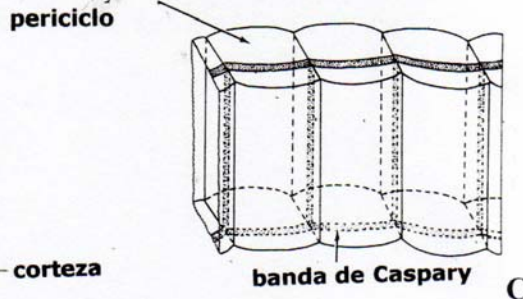
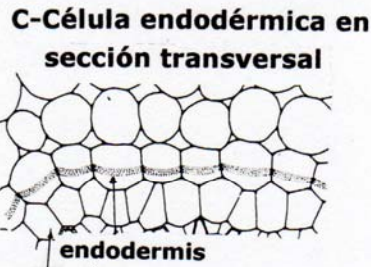
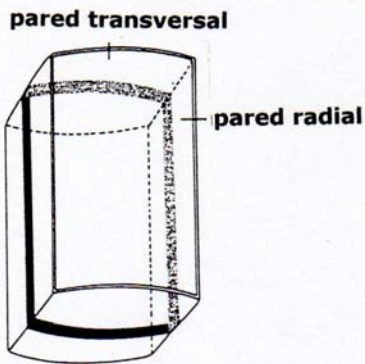
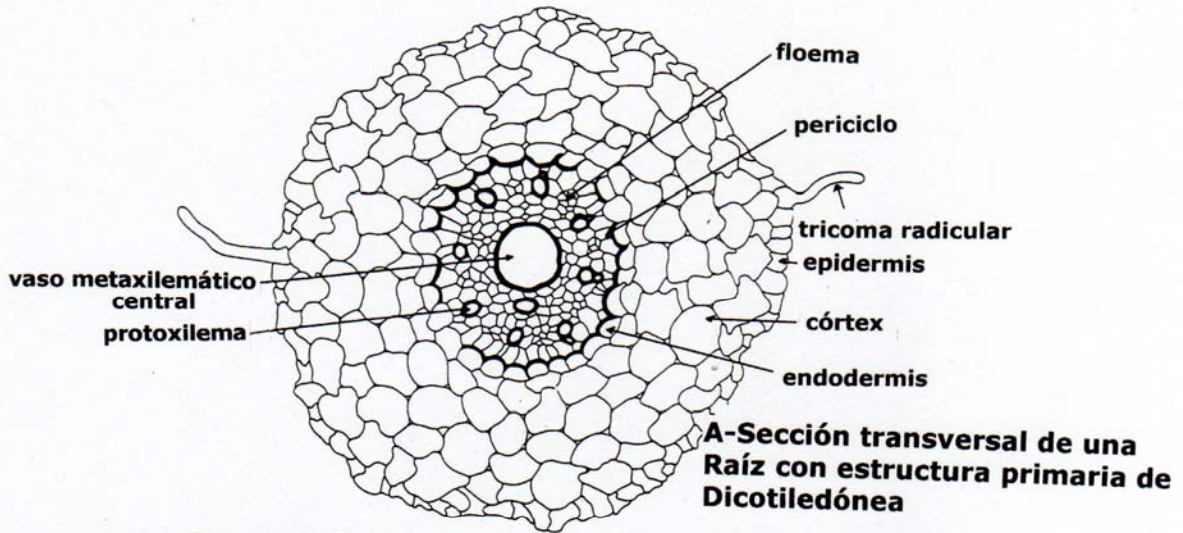


Figura 25

**DIFERENCIACIÓN DE UNA RAÍZ CON ESTRUCTURA PRIMARIA
A ESTRUCTURA SECUNDARIA**

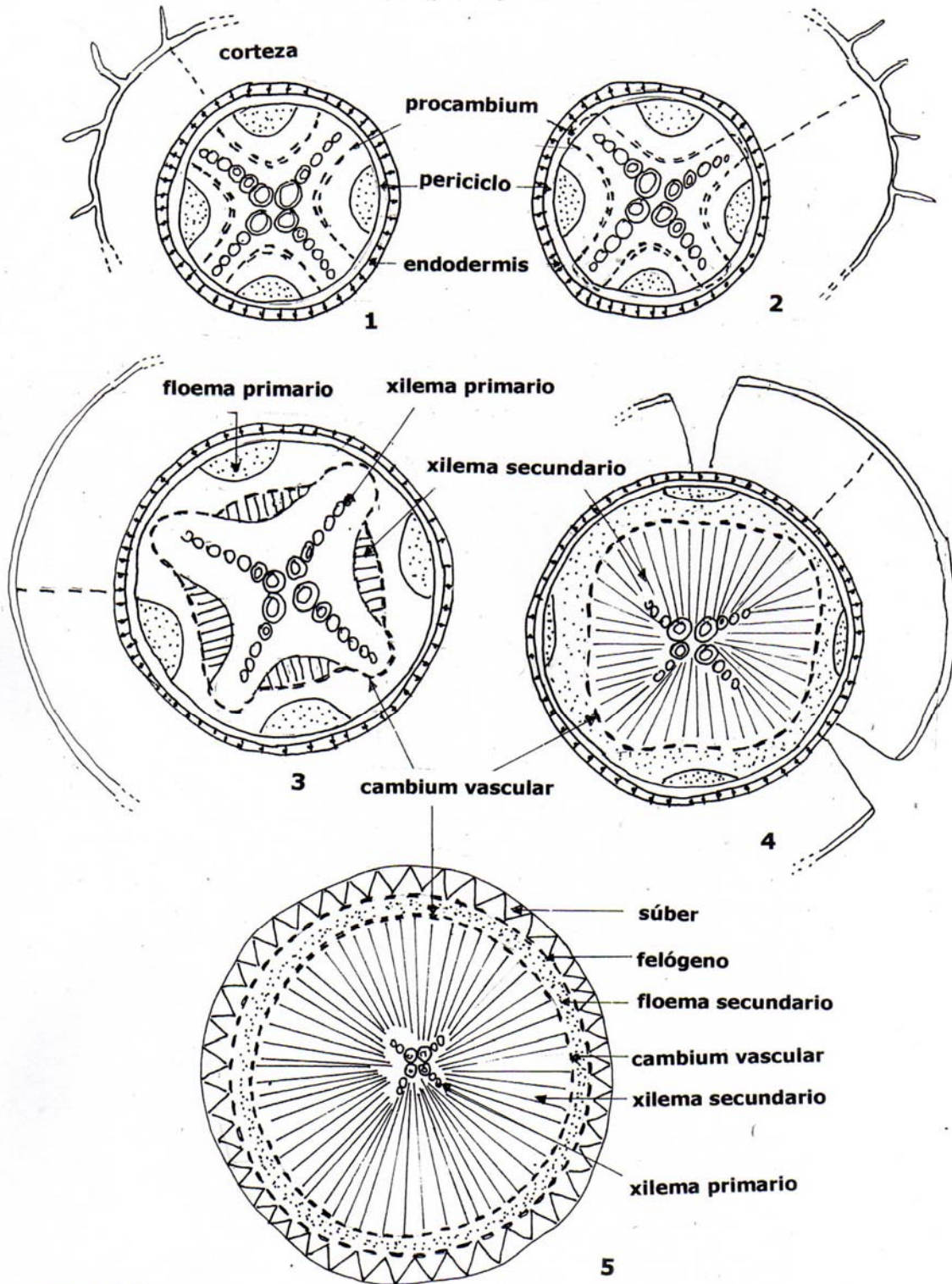
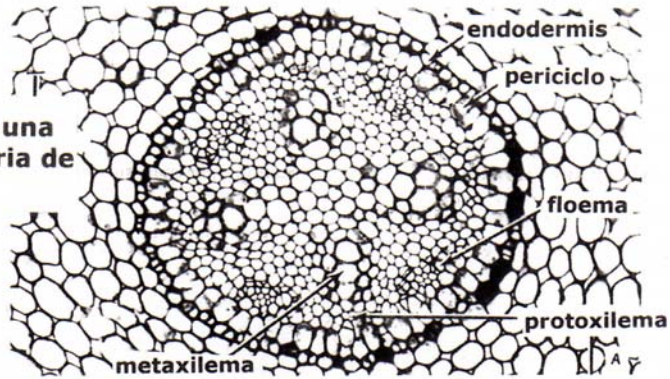


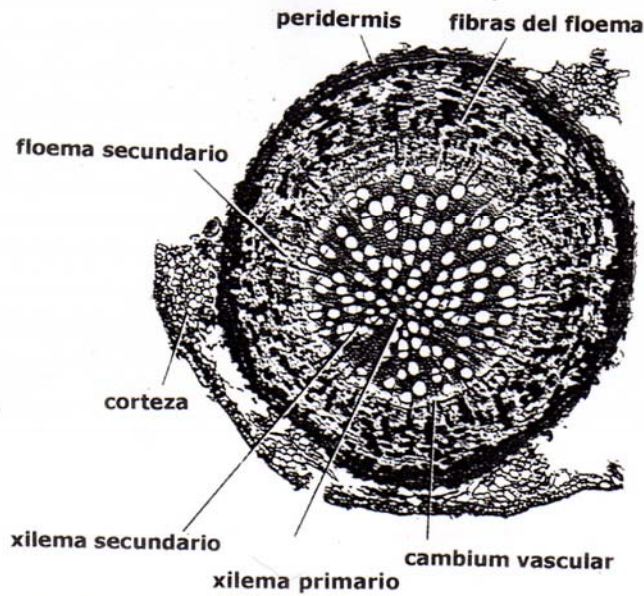
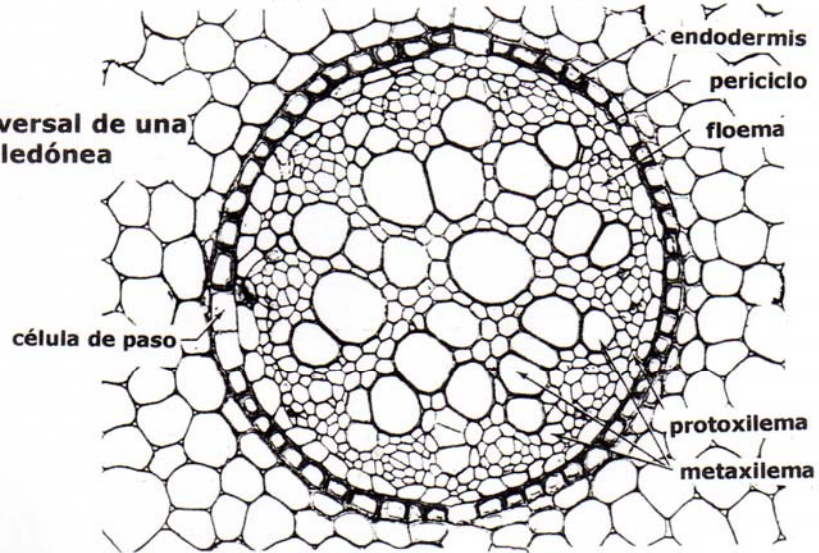
Figura 26

RAÍZ

A- Sección transversal de una raíz con estructura primaria de Dicotiledónea.



B- Sección transversal de una raíz de Monocotiledónea



C- Sección transversal de una raíz con estructura secundaria de Dicotiledónea.

Figura 27

ESTRUCTURA DE LA FLOR DE ANGIOSPERMAS - CICLO REPRODUCTIVO

En el ciclo de vida de las plantas hay alternancia entre una generación **diploide** o **esporofito** y una **haploide** o **gametofito**.

Durante la floración, la planta o esporofito, produce **microsporas** que forman **microgametófitos** y **megaesporas** que desarrollan **megagametófitos**.

Androceo

Los estambres (androceo) son los microesporófitos de la flor, ocupan una posición interna respecto del perianto. El estambre consiste de una antera y un filamento que conecta a la antera con el eje floral.

Estructura interna

a) Filamento: es muy simple en estructura. En sección transversal se observa un haz vascular, casi siempre anficribal, rodeado de parénquima con escasos espacios intercelulares. La epidermis del filamento, como así también de la antera puede ser pubescente, y en ellas se pueden encontrar estomas. Después de la antesis, pero antes de la dehiscencia de la antera, ésta protege al polen de las radiaciones ultravioletas-β.

b) Antera: en la sección transversal de una antera joven (antes de la dehiscencia) observamos **2 tecas**, cada una de las cuales están constituidas por **2 microesporangios** o **sacos polínicos**, donde se desarrolla el polen, los que se encuentran separados por una zona de tejido estéril y un área de tejido central llamada **conectivo intervenal**, el que está atravesado por el haz vascular.

Origen (Fig. 28).

La antera embrional se individualiza como un mamelón de tejido fundamental, está rodeado por una protodermis, la que forma la epidermis de la antera.

En las 4 esquinas de la antera en desarrollo se diferencian 2-4 células hipodérmicas, cada grupo se divide periclinalmente en serie de **células parietales primarias** y células **esporógenas primarias** o **arquésporas**.

Las células de la capa parietal primaria forman por divisiones periclinales y anticlinales un número variable de capas celulares, colocadas concéntricamente, de las que se diferencian y originan las varias capas de la pared del microesporángio maduro y una gran parte del tapete.

Las **células esporógenas primarias** o **arquésporas** se dividen y forman las **células madres del polen (CMp)**, que en una **antera joven** están rodeadas por:

1. **Tapete**: rodea a las CMp y parece cumplir 3 funciones: nutrición de las microsporas, formación de la exina (parte de la pared del grano de polen) y síntesis de algunos materiales que toman parte en la deposición de trifina y pollenkitt.

En las Angiospermas el tapete puede ser **secretor (glandular)** o **ameboide (periplasmodial)**. En el primer caso, las células permanecen intactas y son persistentes y en el segundo caso, hay ruptura de las paredes celulares y fusión de protoplastos, esta masa protoplasmática forma un periplasmodio plurinucleado que se mezcla con la CMp. Durante la meiosis de las CMp, en el tapete aumenta la síntesis de sustancias como almidón, lípidos y trifina. Estos son segregados o liberados en el lóculo de la antera.

El **tapete ameboide** puede ser uniseriado o multiseriado. Antes de la meiosis las células tapetales muestran una concentración alta de organelas, luego inician una etapa de lisis; las paredes se disuelven y el tapete plasmodial invade el lóculo. Tan pronto como los plasmalemas de las células tapetales se rompen, el contenido citoplasmático confluye, con mitocondrias, plastidios, núcleo, se mueve hacia el interior del lóculo y circunda a los meiocitos. Las vesículas derivadas de los dictiosomas se fusionan con las membranas que rodean a las tétrades.

El **tapete secretor** está presente en numerosas plantas. Las células están conectadas entre sí y con el tejido esporógeno, a través de numerosos plasmodesmos. Durante el proceso de meiosis de las CMp, las células tapetales tienen numerosas organelas. Cuando se forma la tétrade de microsporas; los dictiosomas producen numerosas vesículas que se fusionan con el plasmalema y liberan su contenido hacia el exterior. Las enzimas hidrolíticas de las vesículas provocan la lisis de la pared celular; esta lisis está sincronizada con la disolución de la pared de calosa en la tétrade.

El tapete está involucrado en numerosas actividades, los cuerpos de Übisch que se forman en las células tapetales tienen carotenoides y ésteres carotenoides, se supone que son los sitios de polimerización de la esporopolenina. Estos cuerpos se fusionan al plasmalema y luego se liberan al lóculo.

Después de la meiosis de las CMp, el tapete se deshidrata y se deposita como trifina sobre la superficie de los granos de polen.

2- **Estratos parietales**: están constituidos por un número variable de capas celulares aplanadas en sentido radial y por lo común tienen poca vida.

3- **Endotecio o capa fibrosa**: se halla por debajo de la epidermis y se diferencia como un tejido mecánico conforme madura la antera. Consta de una o varias capas de células más o menos isodiamétricas cuyas paredes anticlinales y tangenciales engruesan en forma de bandas, barras o redes. Esta capa está relacionada con la dehiscencia de la antera.

4- **Epidermis**: es el estrato más externo que cubre a la pared del microesporangio. Las típicas células epidérmicas, cubiertas por cutícula, pueden formar papilas o pelos. En algunas especies se comprimen y desprenden durante la maduración de la antera, en otras desarrollan engrosamientos fibrosos y se la denomina **exotecio**.

Durante el desarrollo de la antera hasta que alcanza al estado adulto, algunos estratos desaparecen y otros se modifican.

En la **antera madura**: cuando los microesporangios alcanzan la madurez, las capas celulares internas de la pared, incluido el tapete, se colapsan, así, solo quedan dos capas celulares durante la época de la maduración del polen: la **epidermis** y en **endotecio**. Si la epidermis se comprime o desprende durante la maduración de la antera, solo queda el **endotecio**.

FORMACIÓN DEL POLEN

Microesporogénesis (Fig. 29, A).

La microesporogénesis se inicia con la meiosis y termina con la formación de **microesporas** haploides.

Las células esporógenas dan origen a las **CMp o microesporocitos** que sufren meiosis dando origen a una **tétrade de microesporas** haploides.

Las CMp se conectan entre sí a través de plasmodesmos, sin embargo en la profase meiótica aparece un depósito masivo de **calosa** por dentro de la pared primaria. Las paredes celulares originales se gelatinizan y los microesporocitos se vuelven esféricos. Los plasmodesmos son reemplazados por amplios puentes citoplasmáticos que interconectan a los microesporocitos a través de la calosa, estos canales tienen 1,5 μm de diámetro y permiten una rápida comunicación intercelular que incluye el transporte y distribución de nutrientes y reguladores de crecimiento. Las comunicaciones intercelulares desaparecen antes de la meiosis II, de manera que al producirse la tétrade, estas quedan aisladas, por completo de las otras tétrades del lóculo y cubiertas por una capa de calosa.

La microesporogénesis sigue dos patrones diferentes, determinado por el tipo de **citocinesis**: la formación de la tétrade es **simultánea** cuando la citocinesis se produce al final de la meiosis II, formándose al mismo tiempo, la pared de las cuatro células hijas (micrósporas); en cambio es **sucesiva** si la citocinesis se produce después de cada etapa de la meiosis, formándose en la meiosis I una díade y al cabo de la meiosis II la tétrade.

Microgametogénesis (Fig. 29, B).

La microgametogénesis es el proceso mediante el cual la micróspora unicelular se divide, en forma asimétrica, dando origen a dos células hijas de diferentes tamaños, que constituyen un **microgametofito**. La célula grande es la **célula vegetativa** y la pequeña es la **célula generativa**.

Partimos de una microespora (proveniente de la tétrade), esférica, citoplasma denso y sin vacuola; luego se vacuoliza y posteriormente ocurre la mitosis I la que es asimétrica y la microespora se transforma en **grano de polen (microgametotifo)** al dar origen a la célula vegetativa y a la célula generativa.

El núcleo de la célula vegetativa queda desplazado hacia la pared opuesta al poro o hendidura de germinación. El núcleo de la célula generativa es de mayor tamaño y queda cerca de la pared. Al efectuarse la citocinesis se forma una pared de calosa (atravesada por plasmodesmos) que encierra a ese núcleo y una cantidad muy pequeña de citoplasma. La célula generativa se separa de la pared del grano de polen; una vez libre queda inmersa en el citoplasma de la célula vegetativa. Luego ocurre la mitosis II del polen y la célula generativa da origen a **dos células espermáticas, (polen binucleado)**; esta división se da generalmente dentro del tubo polínico.

Morfología externa del grano de polen

Los granos de polen se parecen a la mayoría de las células vegetales en que el citoplasma está rodeado por una pared, que está formada por la **intina** y la **exina** (Fig.30).

Intina: es de disposición interna, más o menos uniforme, principalmente celulósica y forma la superficie del grano en las aberturas germinales, en estas, la exina está ausente, es muy reducida o forma un opérculo.

Exina: más externa y generalmente mucho más compleja, está compuesta por esporopolenina, un polímero resistente a la biodegradación, formado por polimeración oxidativa de carotenoides y ésteres carotenoides.

La **intina** es de celulosa y pectina.

La capa de **exina** es compleja y la deposición es de afuera hacia adentro:

Se divide en:

1- Ectexina o sexina (techo, báculo y estrato basal), es de **esporopolenina**

- a) **Techo o tectum** externo, que puede estar o no presente. Si está presente se encuentra sostenido por los báculo o columnelas y se lo denomina **tipo tectado** (Fig. 30, a) y cuando falta, en lugar de báculo hay pila y se lo denomina **tipo pilado** (Fig. 30, b).
- b) **báculo, baculum o columela.**
- c) **Estrato basal**

2- Endexina o nexina es de **sustancias pécticas y esporopolenina**

- a) **nexina 1**
- b) **nexina 2**

Los elementos de la pared del grano de polen se depositan en la etapa de tétrada. Cuando la pared de calosa se desintegra en forma enzimática, las microsporas se liberan y se ponen en contacto con la esporopolenina, transportada por los cuerpos de Übisch (tapete), así se efectúa la polimerización de la exina.

La pared de los granos de polen están cubiertas por el **pollenkitt** que es un compuesto formado por lípidos, glicolípidos, glicoproteínas, monosacáridos, flavonoides y carotenoides que confieren adhesividad a la pared del polen. Sus posibles funciones serían atraer a los insectos para así adherirse a su cuerpo o bien a la superficie estigmática e inician el contacto macromolecular polen-estigma, proteger al polen contra las radiaciones ultravioletas, etc.

Algunas Dicotiledóneas y Monocotiledóneas tienen granos carentes de aperturas y se los denomina **inaperturados**, pero la mayoría de los taxa poseen polen con áreas sin exina, a través de la cual emerge el tubo polínico.

Los dos tipos básicos de aperturas germinales son los **poros** y los **colpos** (Fig.30, c).

Tubo polínico

El tubo polínico se desarrolla después de la germinación del grano de polen en el estigma. Cuando el polen se hidrata, el tubo polínico emerge por una de las aperturas germinales. El crecimiento del tubo se efectúa en el extremo apical.

La pared celular del tubo tiene **dos capas**, una externa fibrilar, **pectocelulósica** (que es la intina) y otra interna (la pared del tubo) formada por **calosa y celulosa**. Ninguno de los dos compuestos está presente en el ápice del tubo (Fig.29, C).

GINECEO

El gineceo está integrado por los **carpelos** o **megaesporófilos** de las Gimnospermas y Angiospermas. Son de naturaleza foliar al igual que los estambres, difieren de estos, en que los **rudimentos seminales** o **megasporangios**, se disponen siempre en la cara adaxial, mientras que los microesporangios pueden estar tanto en la cara adaxial como abaxial, o sea en los márgenes.

Uno de los caracteres distintivos de las Angiospermas es tener los rudimentos seminales encerrados en el megasporófilo; debido a ello, los granos de polen no alcanzan directamente al rudimento seminal, sino que germinan a una cierta distancia sobre el estigma. En las Gimnospermas en cambio, los rudimentos seminales son desnudos, dado que el carpelo no los encierra y el polen es recibido, generalmente por el rudimento mismo, en cuya zona micropilar germina.

Carpelo de Angiospermas

Para formar una estructura que contenga a los rudimentos seminales, se diferencia una porción proximal, fértil, el **ovario**; una porción distal que es la encargada de recibir al polen, el **estigma** y una porción intermedia estéril, el **estilo**, a través del cual llega el tubo polínico hasta el ovario, donde se encuentran los rudimentos seminales.

Rudimentos seminales

El rudimento seminal es el **megaesporangio** en Angiospermas, forma las **macroesporas** o **megaesporas**, a partir de las cuales se desarrolla el **gametofito femenino** o **saco embrionario**. Luego de la fecundación se convierte en la semilla.

Origen:

El rudimento seminal se inicia por divisiones periclinales en la segunda o tercera capa de la placenta, como un grupo de células meristemáticas densas, que se expanden hasta formar una protuberancia; en su base se produce un rodete que circuye totalmente a la protuberancia, crece hasta envolverlo totalmente constituyendo el **tegumento interno** o **secundina**. Posteriormente y de manera análoga se produce otro rodete un poco más abajo que el anterior y acaba por formar el **tegumento externo** o **primina**. La porción interior constituye la **nucela**.

El rudimento seminal queda finalmente constituido por: **nucela, tegumentos, chalaza y funículo**.

Nucela: ocupa la parte central del rudimento seminal y está rodeado por los tegumentos. En su porción apical se desarrolla el **arquesporio**, tejido productor de las **megásporas**.

Tegumentos: rodean por completo a la nucela, excepto en la zona donde queda un orificio, el **micrópilo**. Puede haber uno o dos tegumentos y cumplen con la función de proteger y nutrir a la nucela.

Funículo: es el filamento que une al rudimento seminal con la placenta. Por él circula el haz vascular, colateral o anficribal, que puede ramificarse hacia los tegumentos y aún hacia la nucela. El lugar del rudimento donde termina o se ramifica el haz vascular, se denomina **chalaza**.

El funículo por lo general es corto, pero en las Cactáceas es muy largo. En los rudimentos anátropos donde el funículo se alarga paralelo a la nucela se denomina **rafe**.

Tipos de rudimentos seminales, según el grado de curvatura podemos encontrar:

- **Átropo** u **ortótropo:** no tiene curvatura. El eje de la nucela es el mismo del funículo (Fig.31, A).
- **Anátropo:** funículo curvo, nucela y tegumentos rectos. El rudimento sufre una torción de 180° y el micrópilo se aproxima al funículo. El eje de la nucela y la micrópila son casi paralelos al funículo (Fig.31, B).
- **Campilótropo:** la nucela y los tegumentos se curvan, aproximando el micrópilo a la chalaza (Fig.31, C).

Tras extensos estudios embriológicos llevados a cabo en géneros y familias de Angiospermas, se averiguó que existen numerosos tipos de formación de sacos embrionales. Nosotros describiremos el “tipo Polygonum”, por ser el más común.

Megaesporogénesis. (Fig.31, D).

Es el modo de origen de las megásporas. Generalmente una célula de la nucela, cerca del extremo micropilar, se diferencia, por su contenido y mayor tamaño, de las restantes, es la **arquéspora**. Esta, antes de reducirse, se divide por mitosis dando origen a dos células, una la **célula parietal** y la otra la **célula madre de la megáspora (CMM)** o **megaesporocito**, que luego sufre meiosis y da origen a cuatro megásporas haploides (Fig.31, a-e). En la mayoría de las Angiospermas, tres de las megásporas degeneran, sólo una es funcional, que generalmente ocupa la posición chalazal y forma el **megaesporofito** o **saco embrional**.

Megagametogénesis (Fig. 31, E).

Es el modo de origen del **megaesporofito, gametófito femenino o saco embrional**.

La megáspora funcional (n), sufre tres divisiones mitóticas, originando sucesivamente un saco embrionario o gametófito femenino con 2, 4 y 8 núcleos (n), la mitad de los cuales se disponen cerca de la micrópila, constituyendo el **cuarteto micropilar** y los otros cuatros en el extremo opuesto, constituyendo el **cuarteto chalazal**, ambos cuartetos se hallan separados por una vacuola central. Posteriormente una célula del cuarteto micropilar desciende y una del cuarteto chalazal asciende, finalmente se produce la citocinesis quedando constituidas siete células (Fig.31, E, f-h).

Tres células se encuentran en el extremo micropilar, formando el **aparato oosférico**, integrado por la **oófera**, que es la gameta femenina y dos **sinérgidas**, células cuya función es recibir la descarga del tubo polínico (Fig.32, B). Este último se pone en contacto con una de ellas en una porción especializada de la pared que se denomina **aparato filar**.

Otras tres células se encuentran en el extremo chalazal, son las **antípodas**, células que degeneran, después de la fecundación, o persisten y a veces se dividen (Fig.32, A).

La séptima es la **célula central o media**, que ocupa el centro del saco embrional y es binucleada. Los núcleos de esta célula, semejantes a gametas, se fusionan originando el núcleo secundario ($2n$), el que a su vez, durante la fecundación se fusiona con una de las gametas masculinas, originando el **núcleo endospermogénico** ($3n$) (Fig.32, B).

Fecundación

Es el fenómeno por el cual se produce la unión íntima de dos gametas, hasta completar la fusión de los núcleos y en mayor o menor grado de los citoplasmas. Esta unión recibe el nombre de **singamia**, y es el proceso opuesto a la meiosis, dado que el número de cromosomas en la primera se duplica y en la segunda se reduce a la mitad. Ambos procesos, por ende son imprescindibles para mantener constante el número cromosómico de la especie.

En Angiospermas, el paso previo para que se produzca la singamia, es la entrada de los gametos masculinos al saco embrionario. Para ello el grano de polen debe llegar al estigma (polenización).

La primera interacción celular entre polen y estigma da como resultado la captura del primero en la cutícula que cubre la superficie estigmática. La captura sucede varios segundos después, que se establece el contacto entre ellos, recordemos que la exina tiene esporopolenina y

la cutícula, cutina, ceras, aceites; estas moléculas interactúan entre sí al establecerse el contacto polen-estigma. Las papilas estigmáticas colapsan o sus citoplasmas degeneran, aportando agua para la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico. Los granos de polen germinan si las proteínas de su pared son compatibles con las de una película proteica que recubre a la cutícula de las papilas estigmáticas.

Una vez que el polen germina, el tubo polínico puede alargarse rápidamente, debido a un sistema de vacuolas con membranas concéntricas que constituyen un reservorio de membranas que se agregan al plasmalema y al tonoplasto. Los hidratos de carbono requeridos para la síntesis de la pared del tubo provienen del tejido trasmisor del estilo o de la epidermis que tapiza el canal estilar.

El tubo polínico recorre el estilo y llega al rudimento seminal, penetrando en él, generalmente lo hace por la micrópila, mecanismo conocido como **porogamia**. Cuando lo hace por otro lugar que no sea la micrópila, se denomina **aporogamia**, siendo la **chalazogamia**, cuando penetra por la chalaza, también puede atravesar los tegumentos y se denomina **mesogamia**.

Para llegar hasta el saco embrional, el tubo polínico es guiado quimiotrópicamente por el aparato filar de las sinérgidas. Dichas células son las responsables de recibir el contenido del tubo polínico y de colocar a los gametos masculinos próximos a la oófera y a la célula media.

Al llegar al aparato filar, el tubo polínico forma un **tubo copulador** que atraviesa la pared disuelta por acción enzimática. El tubo copulador se abre hacia el interior de una de las sinérgidas y descarga parte del citoplasma del tubo polínico, el núcleo sifonogénico y los dos gametos masculinos.

La sinérgida penetrada aumenta de volumen y se rompe en un lugar predeterminado de su extremo chalazal, por esa abertura las células espermáticas se ponen en contacto con la oófera una y con la célula media la otra. Los plasmalemas se fusionan, y se forman puentes por donde los núcleos de los gametos masculinos se aproximan a los femeninos. La cariogamia ocurre también por la fusión de las membranas nucleares y formación de puentes que luego se agrandan y funden. En el interior de la sinérgida penetrada, permanecen dos núcleos degenerantes, uno es el propio de la sinérgida y el otro el núcleo sifonogénico, los que por desconocerse en un principio su naturaleza, fueron denominados **cuerpos x**.

La unión de la oófera con uno de los gametos masculinos origina el **cigoto**, célula diploide, que por sucesivas divisiones mitóticas origina finalmente al **embrión** (Fig. 32, C).

La fusión del otro gameto masculino con la célula media, origina el **núcleo endospermogénico**, triploide; este por sucesivas divisiones origina el **endosperma**, tejido nutricio del embrión en las semillas endospermadas (Fig. 32, C).

En la fecundación de Angiospermas, por lo tanto, intervienen los dos gametos masculinos que fecundan a las dos células gaméticas femeninas, resultando por un lado el **embrión**, que constituye el **esporofito joven** ($2n$) y por otro el **endosperma** que constituye el **xenófito** ($3n$), exclusivo de Angiospermas. Por tal motivo estas plantas poseen fecundación doble.

Embriogénesis (Fig. 33).

El cigoto es un sistema unicelular que mediante una secuencia programada de eventos (patrón de embriogénesis) da origen a un embrión multicelular con órganos diferenciados y que contiene todas las potencialidades de la planta adulta.

Después de la fecundación, la célula cigota se polariza y el Re y las organelas se reorganizan alrededor del núcleo. Durante la mitosis asimétrica, el cigoto polarizado da origen a dos células hijas, con elementos citoplasmáticos diferencialmente distribuidos. En la mayoría de las Angiospermas, el cigoto se divide transversalmente dando origen a una célula calazal o apical (ca) y una basal (cb). En este estado de proembrión bicelular, se interrumpen todas las conexiones citoplasmáticas con las sinérgidas y la célula central, pero permanecen entre las dos células del proembrión.

Las células derivadas de la célula apical contribuyen a formar la mayor parte del proembrión y luego el embrión, la célula basal y sus derivadas forman el suspensor.

El embrión en Dicotiledóneas pasa por los siguientes estadios durante su desarrollo: **lineal, globular, trapezoidal, coordiforme y torpedo** (Fig.33, A); los nombres aluden a la forma que adquiere a medida que aumenta el número de sus células. En el estadio globular se diferencia claramente un cuerpo principal o **embrión** propiamente dicho y una porción basal o **suspensor**, este tiene un número determinado de células y su tasa de crecimiento es mayor en las etapas tempranas de la embriogénesis, la función que desempeña es de absorción de nutrientes de los tejidos circundantes y transportarlos hacia el embrión en desarrollo como así también proveer los reguladores de crecimiento. Durante los estadios tardíos de la embriogénesis, el suspensor degenera y parece que es digerido por el embrión.

El desarrollo embrionario en Dicotiledóneas y Monocotiledóneas es similar hasta el estado globular; a partir de este estado en Dicotiledóneas se insinúan los dos cotiledones en posición lateral (trapezoidal) y se vuelven coordiformes, hasta que finalmente se distinguen los meristemas apicales y el eje raíz-hipocótilo entre los dos cotiledones, que están totalmente diferenciados (torpedo). En Monocotiledóneas adopta una figura cilíndrica, dado que se forma un solo cotiledón y el meristema apical caulinar es lateral al mismo.

El meristema apical radical se forma hacia el suspensor, quedando determinado así el eje raíz-hipocótilo, comprendido entre dicho meristema y el o los cotiledones (Fig.33, B).

DESARROLLO DE LA ANTERA

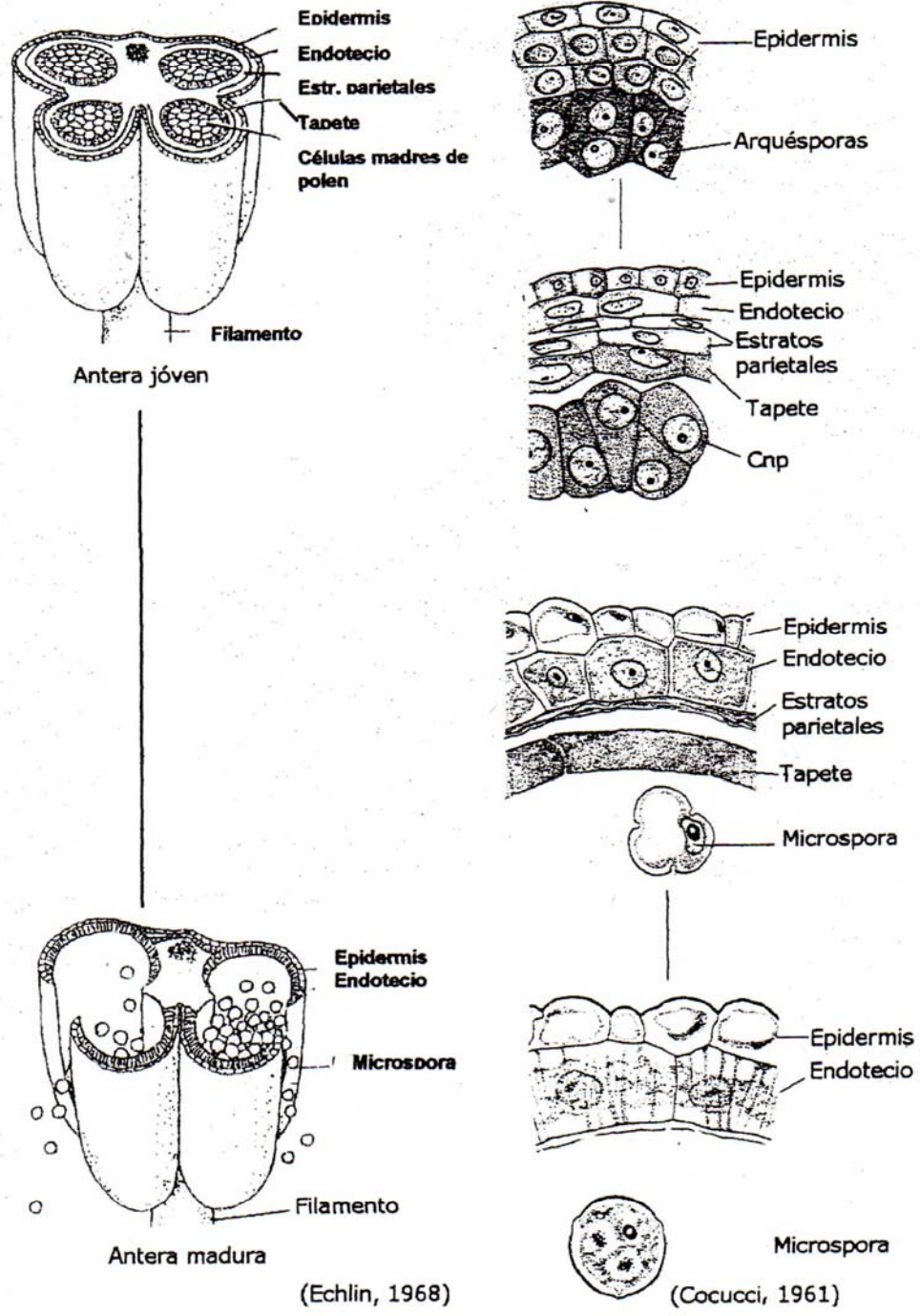
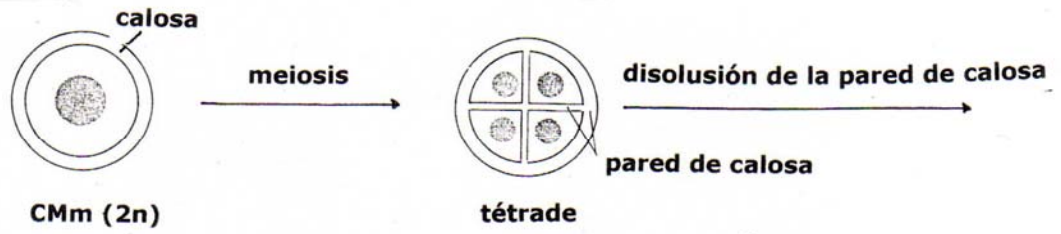


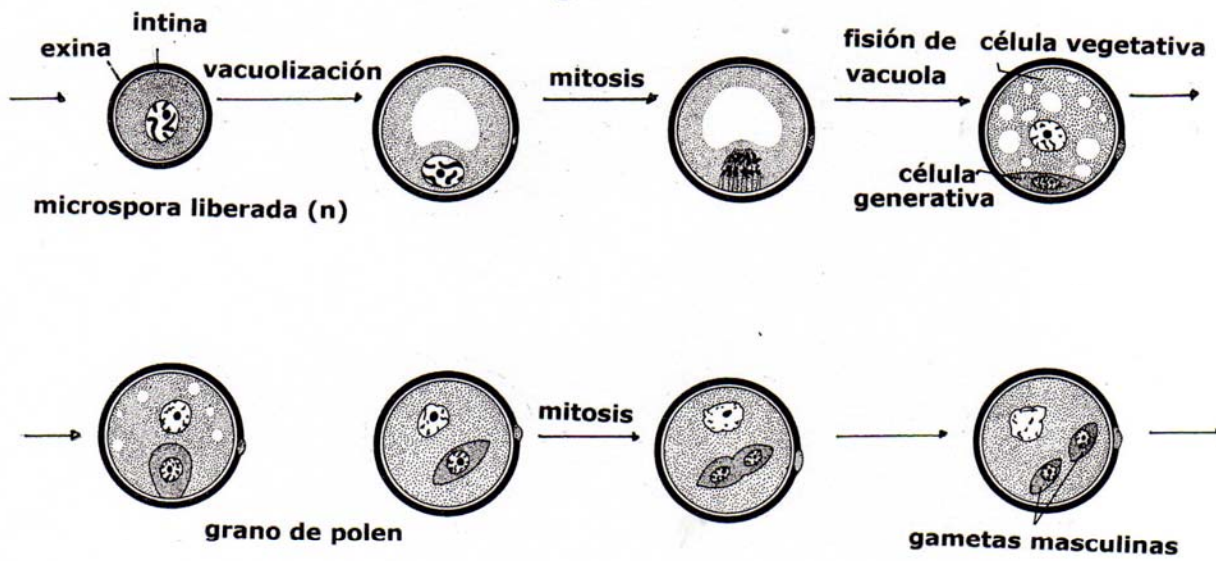
Figura 28

Microesporogénesis

A- microesporogénesis



B- microgametogénesis



C-GAMETÓFITO MASCULINO

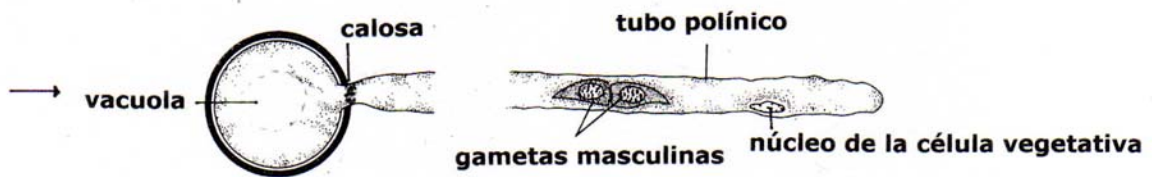


Figura 29

PARED DEL GRANO DE POLEN

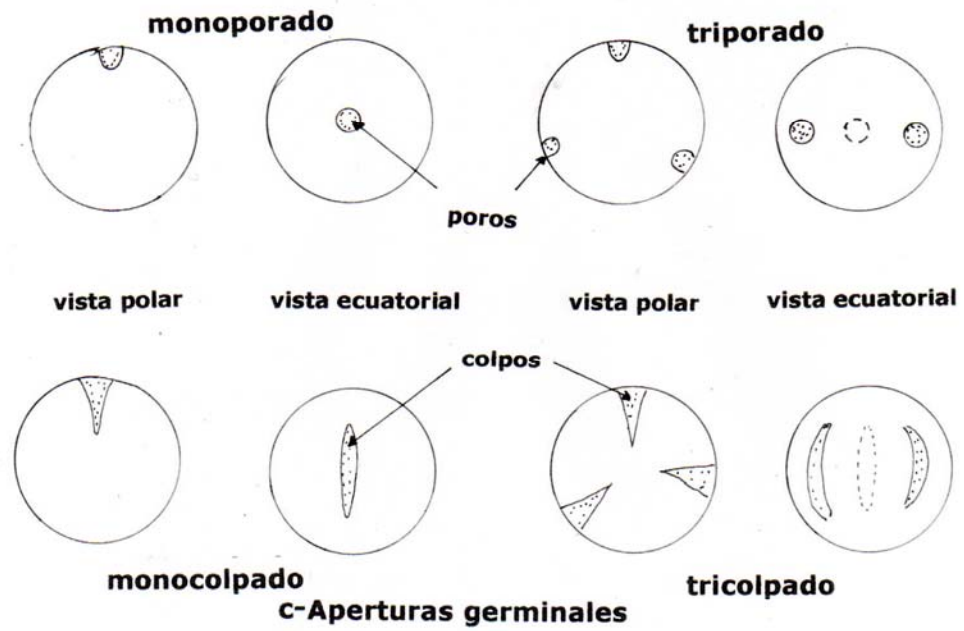
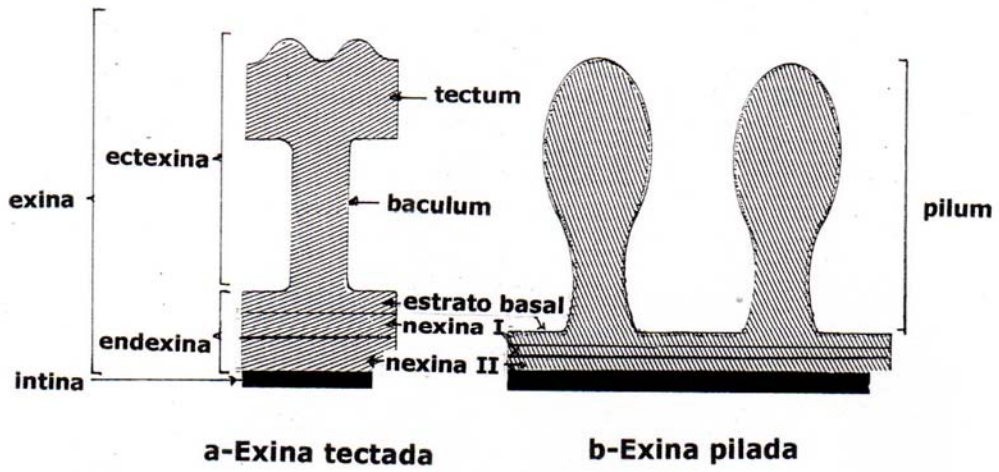
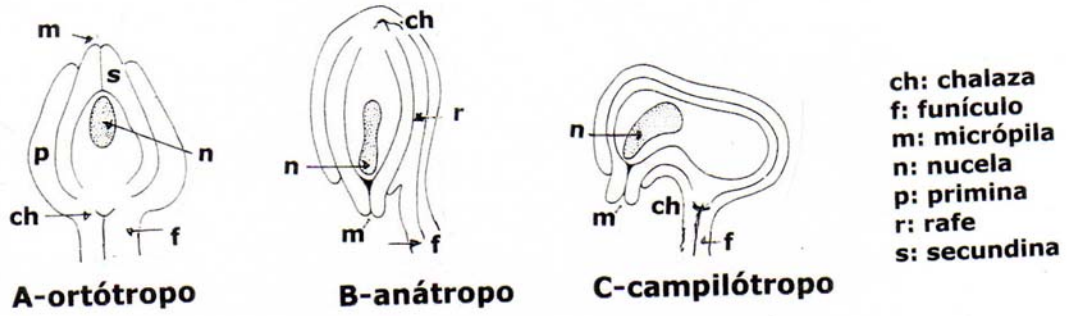
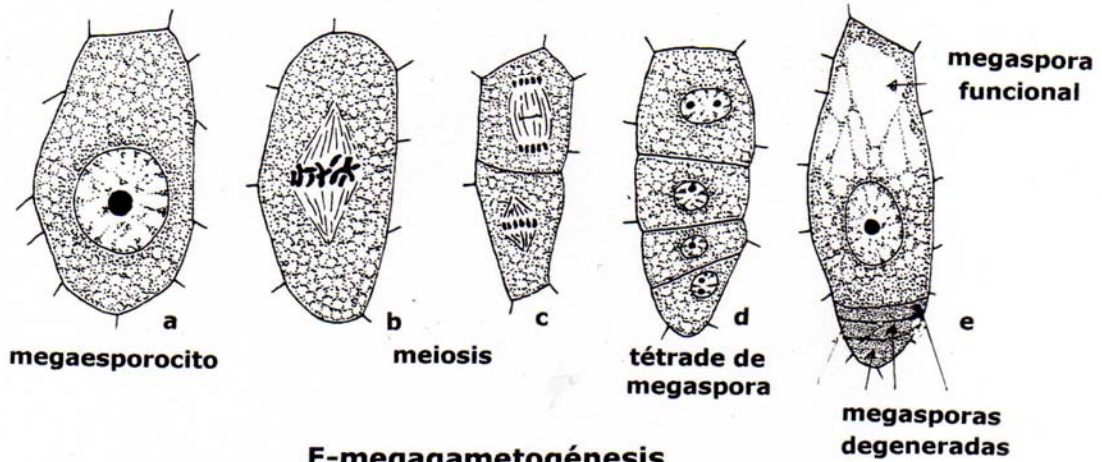


Figura 30

TIPOS DE RUDIMENTOS SEMINALES



D-megaesporogénesis



E-megagametogénesis

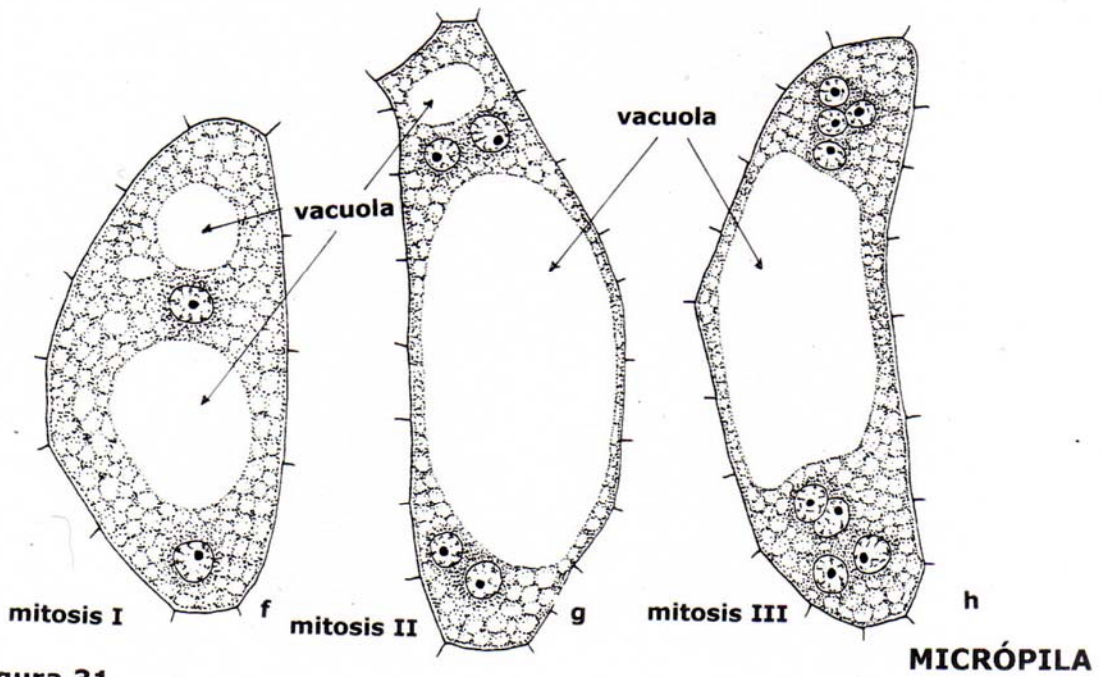


Figura 31

GAMETÓFITO FEMENINO MADURO

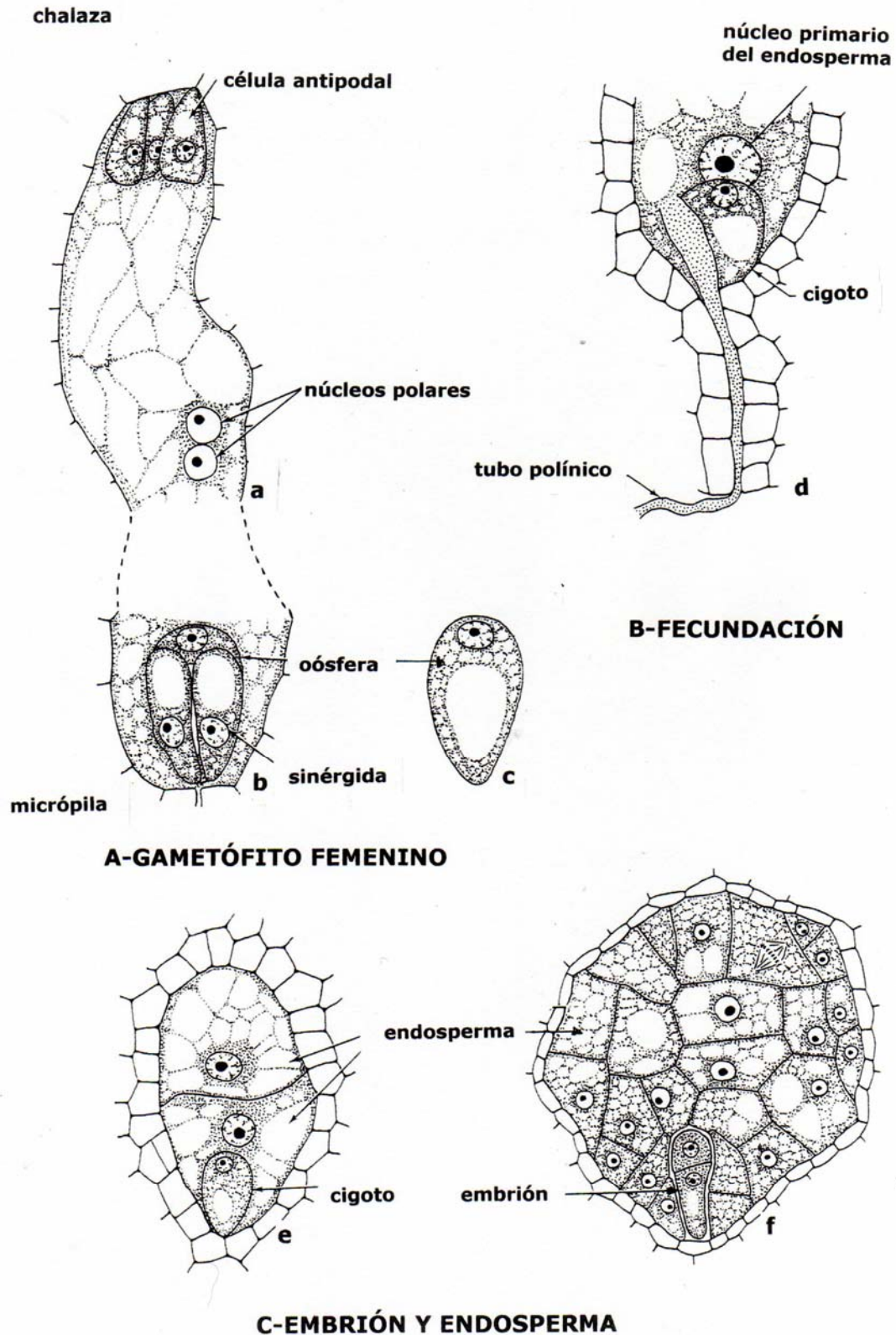
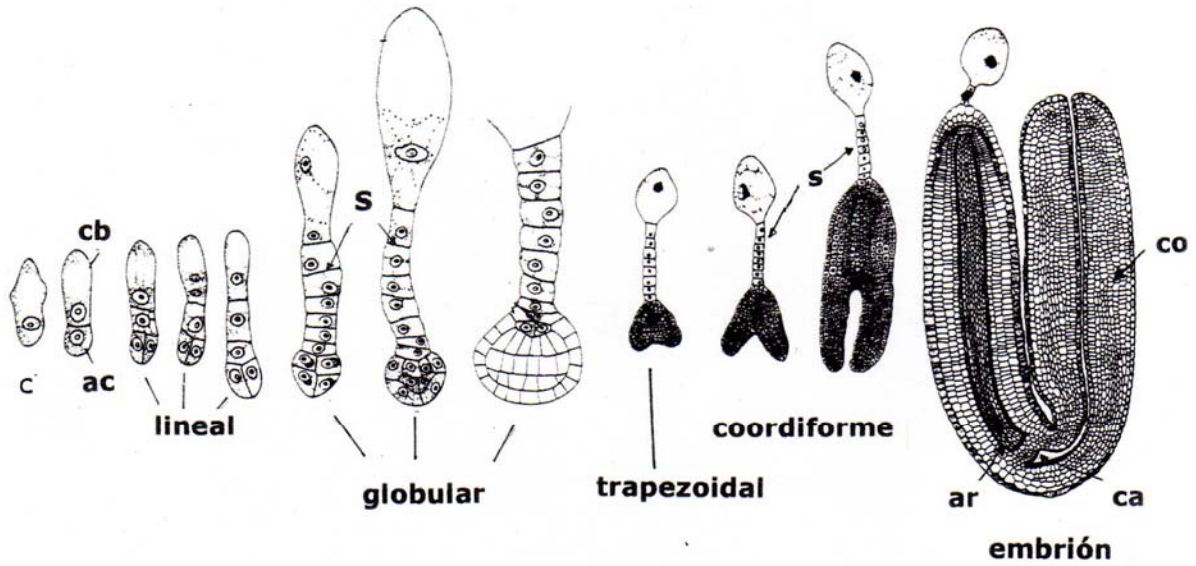


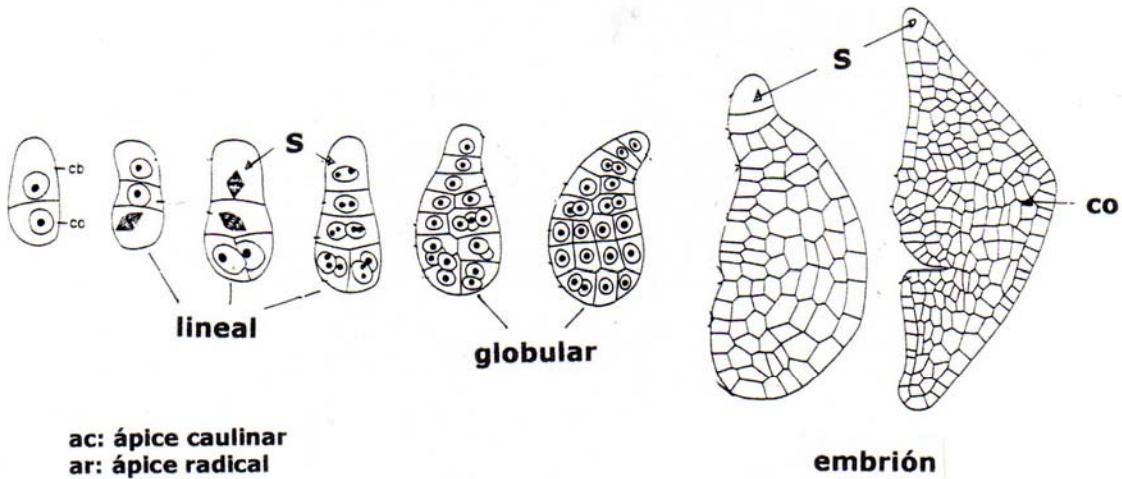
Figura 32

EMBRIOGÉNESIS

A-Dicotiledóneas



B-Monocotiledóneas



ac: ápice caulinar
 ar: ápice radical
 c: cigoto
 ca: célula apical
 cb: célula basal
 co: cotiledones

Figura 33

CICLO DE VIDA DE UNA ESPERMATÓFITA-ANGIOSPERMA

En las Angiospermas como en las Traqueófitas Inferiores, los gametófitos de uno y otro sexo se hallan separados. Los femeninos están contenidos en el ovario y están formados por siete células (saco embrionario). El gametófito masculino está contenido en el grano de polen, producido por el estambre y está constituido por dos células.

El gametofito (n) se vuelve dependiente del esporofito ($2n$), por lo que, todo lo que observamos de una Espermatófito, corresponde al esporofito diploide (Fig. 34).

CICLO DE VIDA DE UNA ANGIOSPERMA

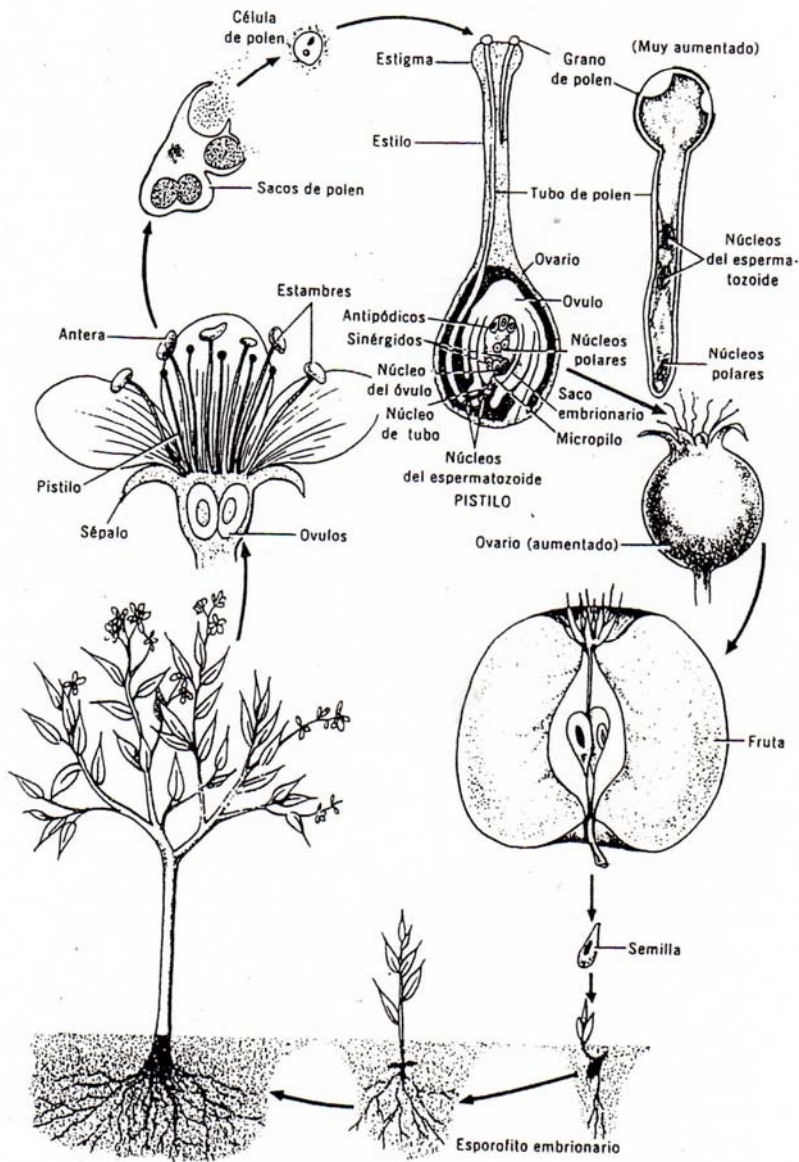


Figura 34

BIBLIOGRAFÍA

- Buvat, R. 1989. *Ontogeny, Cell Differentiation and Structure of Vascular Plant*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Cocucci, A. E. 1961. Embriología de *Trianthema argentina* (Aizoaceae): *Kurtziana* 1: 105-122.
- Eames, A. & L. Mac Daniels. 1977. *An Introduction to Plant Anatomy*. Ed. Robert Krieger Publishing Company Huntington, New York.
- Echlin, O. 1968. Polen. *Scientif American*: 81-90.
- Esau, K. 1976. *Anatomía Vegetal*. Ed. Omega S.A., Barcelona.
- Esau, K. 1982. *Anatomía de las Plantas con Semillas*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.
- Fahn, A. 1985. *Anatomía Vegetal*. Ed. Piramide, Madrid.
- Flores Vindas, E. 1999. *La Planta: Estructura y Función*. Vol I. Ed. LUR, Costa Rica.
- Flores Vindas, E. 1999. *La Planta: Estructura y Función*. Vol II. Ed. LUR, Costa Rica.
- Mauseth, J. 1988. *Plant Anatomy*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California.
- Metcalfe, C. R. & L. Chalk 1950. *Anatomy of Dicotyledons*. Clarendon Press, Oxford.
- Metcalfe, C. R. & L. Chalk 1957. *Anatomy of Dicotyledons*. Vol. II. Clarendon Press, Oxford.
- Metcalfe, C. R. & L. Chalk 1979. *Anatomy of Dicotyledons*. Vol. I. 2da ed. Clarendon Press, Oxford.
- Raven, P.; Evert, R. F. & S. Eichhorn. 1992. *Biología de las Plantas*. Ed. Reverté S.A., Barcelona.
- Salisbury, F & C. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S. A., México.
- Solereder, H. 1908. *Anatomy of the Dicotyledons*, Clarendon Press, Oxford.
- Stocker, O. 1959. *Compendio de Botánica*. Ed. Labor, Barcelona.
- Strasburger, S.; Noll F.; Schenck, H. & A. F. Schimper. 1991. *Tratado de Botánica*. Ed. Omega, Barcelona.