

Morfología de Plantas Vasculares

Tema 1: La organización del cuerpo de las Plantas

1.1: Clasificación de las Plantas Vasculares

Son organismos pluricelulares generalmente terrestres, con tejidos de conducción especializados. Reciben también el nombre de embriófitos por desarrollar un embrión pluricelular después de la fecundación. Varios autores consideran que sólo los cormófitos constituyen el reino **PLANTAE**. Incluye los musgos, helechos, coníferas y plantas con flores, en una variedad que supera las 250.000 especies. Está formado por tres grupos principales: Briófitas, Pteridofitas (helechos) y Espermatófitas. Este sistema y denominaciones fueron reemplazados por el denominado **APG III**, publicado en el 2009.

La actual clasificación se denomina APG IV: es la cuarta versión de un moderno sistema de taxonomía de plantas para plantas con flores (angiospermas), en su mayoría de base molecular, que está siendo desarrollado por el Angiosperm Phylogeny Group (APG). Fue publicado en 2016, agrupa a las angiospermas en 415 familias.

CLAVE DICOTÓMICA PARA RECONOCER LOS ORGANISMOS DEL REINO PLANTAE

I. PLANTAS NO VASCULARES:

Plantas sin tejidos vasculares:.....**BRIOPHYTA** (Musgos)

II. TRAQUEÓFITAS:

Plantas con tejidos vasculares diferenciados en xilema y floema.

A. Plantas sin flores ni semillas, esporangios en soros, sifonoestela **HELECHOS**

A''. Plantas con flores y semillas.

B. Los óvulos, que se transformarán en semillas, están desnudos, desprotegidos, ubicados sobre el carpelo abierto, semillas con endosperma primario (haploide) **GIMNOSPERMAS**

C. Anterozoides ciliados **Cicadales + Ginkgo**

C''. Gametas masculinas inmóviles..... **Coníferas**

B''. Los óvulos están encerrados en uno/varios carpelos; a la madurez se transforman en semillas encerradas en el fruto..... **ANGIOSPERMAS**

D. Plantas que no desarrollan cámbium

E. Gineceo dialicarpelar, piezas florales dispuestas de manera espiralada, 2 cotiledones..... **ANGIOSPERMAS BASALES**

E''. Gineceo gamocarpelar, piezas florales dispuestas de manera verticilada, verticilos trímeros, 1 cotiledón..... **MONOCOTILEDÓNEAS**

D''. Plantas que desarrollan cambium.

F. Gineceo dialicarpelar, estambres generalmente sin diferenciación entre antera y filamentos..... **MAGNOLÍDEAS**

F''. Gineceo gamocarpelar (raro dialicarpelar), estambres con antera y filamentos diferenciados..... **EUDICOTILEDÓNEAS**

La clasificación previa al sistema APG reconocía los siguientes grupos taxonómicos:

■ **Pteridophyta**. Comprende los licopodios y selaginelas, los equisetos (colas de caballo) y los helechos propiamente dichos. La reproducción tiene lugar por medio de esporas producidas en esporangios, no hay flores ni semillas, razón por la cual se las denominaba antiguamente criptógamas vasculares (12.000 especies).

Representantes de Pteridophyta

Selaginella willdenowii



Equisetum sp.



Blechnum brasiliense



Cybotium, helecho arborescente



■ **Spermatophyta** (235.760 especies). La reproducción se produce con formación de flores y semillas. Por la posesión de flores estas plantas se denominan fanerógamas o **antófitos**.

La división Spermatophyta incluye: Gimnospermae y Angiospermae.

■ **Gymnospermae** (760 especies). Sus semillas se encuentran desnudas en la axila de brácteas o directamente sobre el eje de la inflorescencia. Incluye los pinos, abetos, cipreses, *Cycas*, *Ginkgo*, etc.

Representantes de Gymnospermae

Pinus sp.



Cupressus sempervirens



Ginkgo biloba



Cycas revoluta



■ **Angiospermas** (235.000 especies)

Constituyen el grupo vegetal dominante en la actualidad. Presentan sus óvulos o futuras semillas encerrados en un recipiente que es el ovario, que se transformará en fruto. Los grupos más importantes en esta materia:

1. **Eudicotyledoneae** (170.000 especies). Plantas herbáceas a árboles de gran desarrollo. Ejs.: lechuga, remolacha, tomate, lapacho, chivato, etc.
2. **Monocotyledoneae** (65.000 especies). Principalmente plantas herbáceas. Ejs.: cebolla, trigo, lirios, palmeras, orquídeas.

Representantes de Angiospermae

Eudicotiledóneas	Monocotiledóneas
------------------	------------------

Delonix regia (chivato) *Podranea ricasoliana*

Triticum aestivum
(trigo)

Washingtonia filifera
(palmera)



Tema 1.2: Organización del Cuerpo de las Plantas

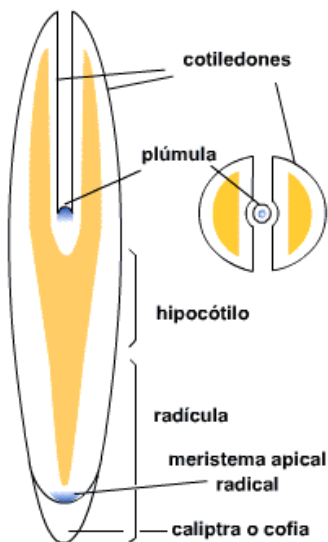
DIFERENCIACIÓN MORFOLÓGICA DE TALLO, HOJA Y RAÍZ

El cuerpo de las plantas vasculares está marcadamente polarizado y formado por dos porciones básicas que viven en ambientes diferentes (Ingrouille, 1992): un **vástago** orientado hacia la luz, que vive en ambiente aéreo, compuesto por **tallo** y **hojas**, y una **raíz**, órgano de fijación y absorción que vive en el suelo. Este tipo de cuerpo vegetativo se llama **cormo** y se presenta en pteridófitas y espermatófitas, que por eso se llaman también **cormófitos**.

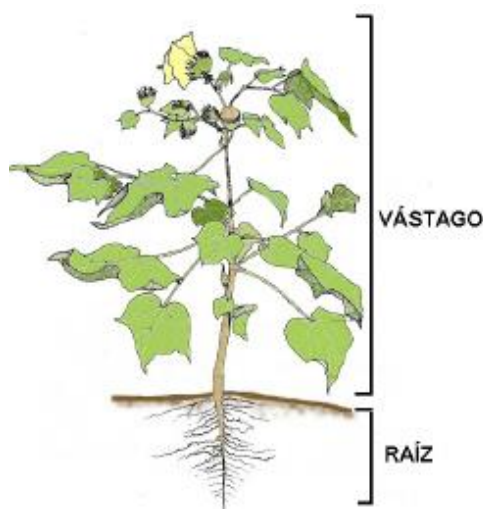
Es difícil hacer una distinción entre tallo y hojas, ambos órganos tienen origen común en el meristema apical caulinar, y están relacionados con estrecha dependencia a lo largo de todo su período de crecimiento. Por eso tallo y hojas se consideran como una unidad que constituye el **vástago**.

En las espermatófitas la diferenciación en raíz y vástago aparece ya en el embrión joven. Las partes del embrión son **radícula**, **hipocótilo**, **cotiledones** y **plúmula**. En algunos casos se distingue también el primer entrenudo, entre el nudo cotiledonar y la plúmula: el **epicótilo**. Durante la germinación el embrión crece, la radícula formará la raíz primaria, y la plúmula formará el vástago.

Embrión de espermatófitas



Esquema del cormo



EL TALLO

Es el eje que sostiene las hojas, órganos de asimilación con forma aplanada para una absorción lumínica óptima, y les asegura mediante una **filotaxis** adecuada, una disposición favorable para captar la mayor radiación con el mínimo sombreado mutuo.

En plantas sin hojas, como la mayoría de las Cactaceae, el tallo se encarga de la fotosíntesis. En el momento de la reproducción, el tallo lleva también las flores y los frutos.

El tallo es además la vía de circulación entre raíces y hojas y almacena sustancias de reserva y agua. Puede tener muchos metros de altura, el tallo leñoso más largo que se conoce es el de la palma trepadora *Calamus manan* de 185 m.

El lugar de inserción de la hoja en el tallo es el **nudo**, y la parte del tallo comprendida entre dos nudos sucesivos es el **entrenudo** o **internodio**.

En árboles caducifolios, los nudos quedan marcados por las cicatrices foliares.

El vástago de las Gramineae es repetitivo, y se lo ha interpretado como compuesto de unidades repetitivas llamadas **fitómeros**, que los investigadores definen de manera diferente, pero cada una incluye al menos un nudo, un entrenudo, una hoja y una raíz adventicia (Clark & Fisher, 1987).

Porción de rama de *Gossypium hirsutum*, algodónero



Dimorfismo de las ramas: macroblastos y braquiblastos

En los vegetales leñosos el crecimiento de un tallo se efectúa en dos tiempos bien separados:

- 1) En la yema tiene lugar el crecimiento terminal, por multiplicación de las células meristemáticas. Se forman primordios foliares separados por entrenudos extremadamente cortos.
- 2) Cuando la yema se desarrolla, el tallo crece por crecimiento intercalar de los entrenudos, primero los basales y luego los apicales. Este crecimiento ocurre por elongación celular más que por división. Según el grado de desarrollo de los entrenudos se distinguen dos tipos de ramas:

■ **Macroblastos** o ramas largas, ejes con importante crecimiento de entrenudos y por lo tanto hojas bien separadas entre sí

■ **Braquiblastos** o ramas cortas, son ejes con crecimiento internodal reducido y por lo tanto hojas muy próximas entre sí, dispuestas muchas veces en roseta. Las plantas brevicaules en roseta o rosuladas (mal llamadas acaules) son ejemplos de braquiblastos: *Brassica oleracea* var. *Capitata*, repollo; *Beta vulgaris*, remolacha; *Raphanus sativus*, rábano; *Lactuca sativa*, lechuga; especies de *Agave* y *Plantago*, llantén.

Macroblasto en *Brunfelsia australis*
(azucena del monte)



Braquiblasto en planta brevicaule de
Plantago tomentosa (llantén)



Pueden darse los dos tipos de ramas en la misma planta. En *Pinus* las ramas largas tienen hojas escuamiformes en cuyas axilas se producen braquiblastos que llevan las hojas aciculares. En *Ginkgo* los braquiblastos llevan hojas flabeladas y estructuras reproductivas masculinas. En *Pyrus communis*, peral; y *Malus sylvestris*, manzano, las flores nacen sobre braquiblastos.

Plantas con ramas diferentes

Rama larga con braquiblastos en *Pinus sp.*



Macroblasto y braquiblastos en *Ginkgo biloba*



DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL CRECIMIENTO DEL EJE Y SIMETRÍA

Cuando el eje principal se eleva verticalmente sobre el suelo, la planta es erecta y el eje **ortótropo**. En tal caso las ramas suelen desarrollarse radialmente alrededor del eje y cada rama crece horizontalmente y muestra dorsiventralidad. Cuando el eje principal crece en dirección horizontal, el eje es **plagiótropo**. La planta en este caso se llama **postrada** o reptante, y su simetría suele ser dorsiventral.

a) Eje ortótopo en *Helianthus annuus* (girasol)



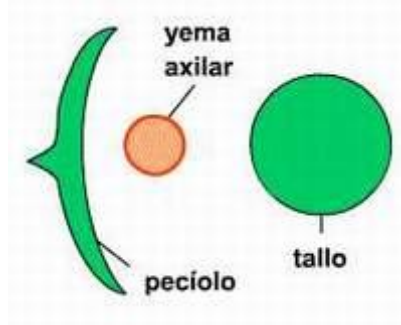
b) Eje plagiótopo en *Dichondra microcalyx* (oreja de ratón)



Tema 1.3: Yemas

Las estructuras encargadas del crecimiento del tallo son las yemas, que también producen hojas y ramificaciones. Una yema es el extremo joven de un vástago, y por lo tanto además del meristema apical, lleva hojas inmaduras o primordios foliares. La yema situada en el extremo del eje es la **yema terminal**.

Yemas axilares en *Quercus robur*, roble



Se distinguen dos tipos de yemas por su estructura:

■ **Yemas escamosas.** El ápice está protegido por hojas modificadas con aspecto escamoso, dispuestas apretadamente. Generalmente estas **escamas**, **pérulas** o **tegmentos** son oscuras y coriáceas, cumplen el rol de protección del ápice vegetativo. Las escamas, estrechamente aplicadas unas sobre otras y provistas de una gruesa cutícula, impiden la desecación de los tejidos embrionales durante el invierno, cuando la circulación de la savia es más lenta. Se encuentran con frecuencia en especies tropicales siempreverdes y también en especies deciduas.

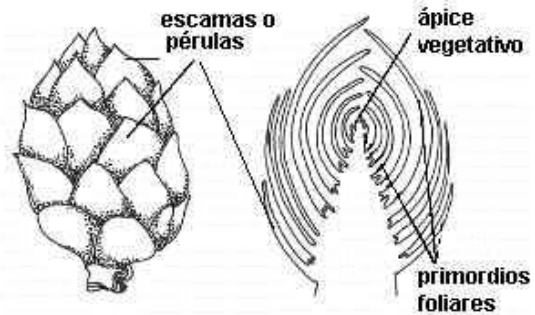
Si se hace un corte longitudinal de la yema, se observa, por debajo de las escamas protectoras, el **ápice vegetativo**, asiento del meristema apical caulinar, y los primordios foliares. Cuando en la primavera el meristema inicia su actividad, las escamas caen, y los primordios foliares se desarrollan en hojas adultas. En *Eucalyptus* las yemas pueden tener hasta 50 pares de primordios foliares.

Suelen tener pelos en abundancia que retienen aire y constituyen un abrigo para el meristema, protegiéndolo de las variaciones térmicas bruscas. Las escamas pueden tener coléteres, estructuras glandulares secretoras de sustancias pegajosas como mucílagos y resinas, que contribuyen a la defensa contra la desecación al asegurar una mayor impermeabilidad; son comunes sobre todo en las plantas de hojas caducas.

Detalle de yema escamosa de *Quercus robur*, roble



Esquema de morfología externa y corte de yema escamosa



■ **Yemas desnudas.** Están desprovistas de escamas protectoras y en este caso generalmente están protegidas por las hojas jóvenes. Estas yemas se presentan generalmente en vegetales herbáceos. En ciertos casos es difícil distinguir las yemas del resto del tallo, especialmente cuando los primordios no están claramente agrupados, como sucede en el espárrago y en grandes monocotiledóneas como *Agave* y *Pandanus*.

Yemas desnudas

a) Corte long, de *Brassica oleracea* var. *capitata*, repollo



b) Corte longitudinal de *Lactuca sativa*, lechuga



c) Morfología externa de *Asparagus officinalis*, espárrago



NÚMERO DE YEMAS AXILARES

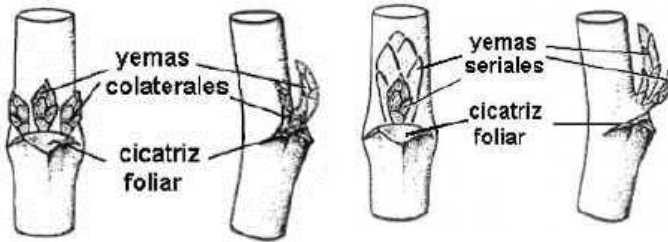
Las yemas axilares son generalmente únicas, es decir que en la axila de cada hoja nace una sola yema; en algunas especies pueden presentarse yemas axilares múltiples o supletorias que originan flores, ramas, espinas o zarcillos. En algunas plantas como *Gossypium* y *Bambusa* hay yemas múltiples que se forman por fragmentación de un meristema axilar único (Lindorf *et al.*, 1991).

Según como estén dispuestas, hay dos tipos de yemas múltiples:

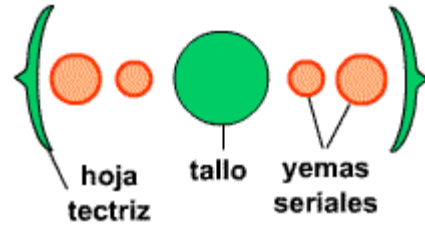
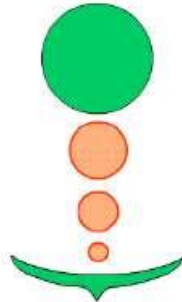
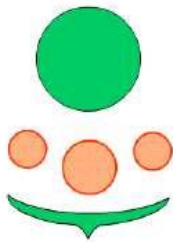
■ **Yemas seriales:** situadas una por encima de la otra en la axila de la hoja tectriz, formando una fila vertical. Ejs: *Passiflora caerulea*, mburucuyá; *Lonicera japonica*, madreselva, *Bougainvillea spectabilis*, Santa Rita, *Turnera orientalis*. También están presentes en Bignoniaceae, Fabaceae, Rubiaceae.

■ **Yemas colaterales o adyacentes:** situadas una al lado de la otra en la axila de una misma hoja formando una fila horizontal. En el ajo, *Allium sativum*, cada diente es una yema axilar; en las inflorescencias del bananero cada conjunto de yemas originará una "mano" de bananas. También están presentes en Araceae y Palmae.

Disposición de yemas múltiples en vista frontal y lateral del nudo



Yemas seriales de *Lonicera japonica*

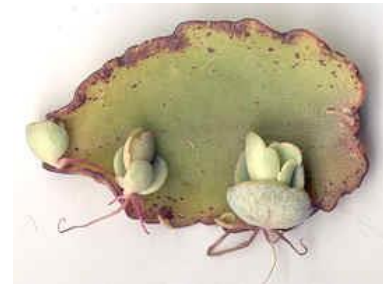


Yemas adventicias

Se forman sin relación con los meristemas apicales sobre raíces, tallos, hipocótilos y hojas. Las hojas de *Kalanchoe* forman yemas adventicias en las escotaduras del margen foliar.

Pueden ser superficiales, formándose en la epidermis o profundas, en tejidos corticales o cámbium. En algunas plantas son yemas floríferas.

Yemas adventicias en hojas de *Kalanchoe fedtschenkoi*



Yemas Durmientes

El fenómeno de la **cauliflora** se debe al desarrollo tardío (años o décadas después) de yemas durmientes que quedan en la corteza.

Cauliflora en *Theobroma cacao*, cacao



Cauliflora en *Myrciaria cauliflora*, guapurú: árbol, flores y frutos.

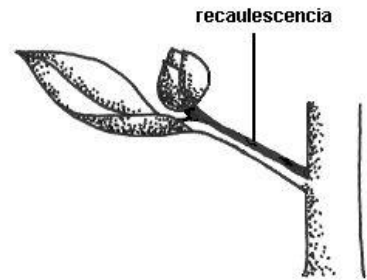
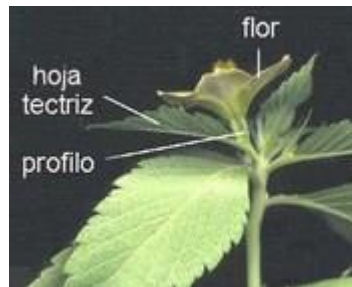
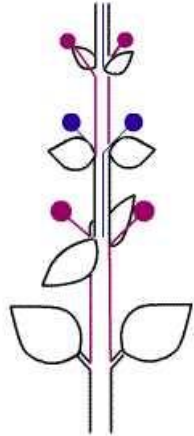
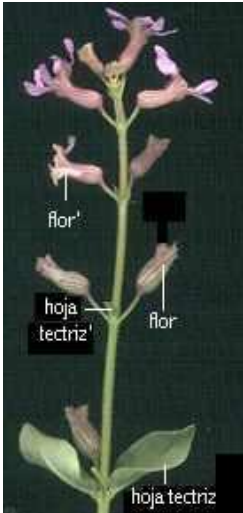


Concaulescencia y Recalescencia

Las yemas se originan sobre el tallo, en la axila foliar, y mediante reajustes en el crecimiento en algunos casos atípicos se desplazan sobre el tallo o sobre la misma hoja. A veces el tallo, al crecer, arrastra a la yema que parece insertarse más arriba de la hoja tectriz: **concaulescencia**, como por ejemplo en *Cuphea* y algunas Solanaceae. La yema puede desplazarse sobre la hoja tectriz: **recalescencia**, como sucede en *Turnera*, *Tilia* y *Boungainvillea spectabilis*.

Concaulescencia en *Cuphea*

Recalescencia: flor epifila de *Turnera orientalis*



Tema 1.4: Sistema de Ramificación

A. Plantas monocaules

Son los cormófitos cuyo vástago no se ramifica, excepto en la inflorescencia. Ejs.: *Zea mays*, el maíz, *Lilium longiflorum* (azucena), *Agave sp.* (pita), etc.

B. Plantas pluricaules.

Son los cormófitos cuyo vástago se ramifica. Hay varios tipos de ramificación:

1. Ramificación dicotómica
2. Ramificación lateral

■ Sistema monopódico

■ Sistema simpódico

■ Monocasio

■ Dicasio

Planta monocaule: *Zea mays*, *maiz*

Ramificación dicotómica en *Psilotum nudum*



1. Ramificación dicotómica. El ápice se divide en dos por división de la célula apical. Se presenta en algunas pteridófitas como *Lycopodium* y *Psilotum*. En otros casos (ej.: *Lycopodium complanatum*), el ápice cesa de crecer, en la periferia se diferencian 2 células en células apicales y cada una origina un nuevo ápice.

En las espermatófitas la ramificación dicotómica es muy rara, sólo ha sido confirmada en: 1) Palmeras: *Nypa*, *Hyphaene* y *Chamaedorea*. 2) Cactaceae: en *Mammillaria* (Mauseth, 1988) ocurre algo similar a lo de *Lycopodium*. 3) Flagellariaceae (lianas monocotiledóneas del viejo mundo, del orden Restionales).

2. Ramificación lateral. Es el tipo dominante en las espermatófitas. Las ramas se originan en yemas axilares, a partir de la segunda o tercera hoja desde el ápice. En pteridófitas lo más común es que las yemas se originen sobre la cara abaxial de las hojas o del pecíolo. En algunas especies con rizomas dorsiventrales las yemas surgen sin relación con las hojas (ramificación acrógena). *Equisetum* es un caso único entre las plantas vasculares: tiene ramificación monopodial y las yemas alternan con las hojas fusionadas en cada verticilo (Gifford & Foster, 1989).

SISTEMAS BÁSICOS DE RAMIFICACIÓN LATERAL

■ Sistema monopódico

La ramificación monopódica es típica de las coníferas de forma piramidal o cónica: *Pinus*, *Picea*, *Abies*. El ápice del eje principal crece indefinidamente, los ejes laterales se desarrollan menos que el eje principal y quedan subordinados a él.

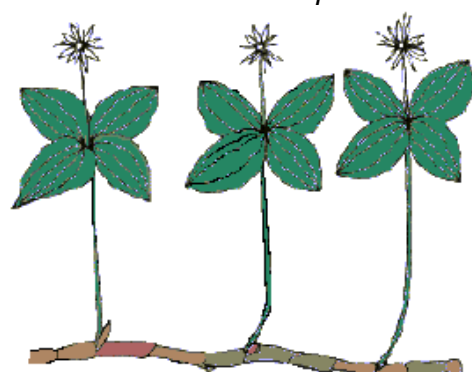
El eje principal crece más intensamente que los ejes laterales de primer orden, y éstos a su vez más intensamente que los de segundo orden, y así sucesivamente. Todo el sistema es atravesado por un eje principal único o monopodio, con crecimiento indefinido. Estos procesos están relacionados con la dominancia apical, o sea el efecto inhibitor que ejerce la yema apical sobre las yemas laterales.

También puede observarse este tipo de ramificación en plantas herbáceas. Algunos rizomas crecen principalmente de manera monopódica: el eje principal se desarrolla en forma subterránea y más o menos rápidamente, y los vástagos aéreos se originan en yemas axilares. Debido a estas características estas plantas tienen tendencia a ser muy invasoras.

Ramificación monopódica
en *Pinus sp.*



Crecimiento monopodial
del rizoma en *Paris quadrifolia*



■ Sistema simpódico

Las ramas laterales se desarrollan más que el eje principal. El eje madre puede incluso interrumpir por completo su crecimiento, porque su yema apical quede en reposo o se transforme en una flor o muera. Entonces una o varias yemas axilares, generalmente las superiores, se encargan de continuar el crecimiento y de formar nuevos brotes laterales o sea de proseguir su ramificación.

■ **Monocasio:** cuando la ramificación se continúa constantemente por una sola rama lateral. Con frecuencia esta rama se dispone en la prolongación de su brote madre, desviando el extremo de éste hacia un lado. Así se origina un sistema de ramificación con un eje aparente: **simpodio**, que se compone de ramas laterales de orden diferente. Este sistema puede parecerse al monopodio cuando el eje aparente crece recto, y los extremos de las ramas que detienen su desarrollo se disponen de modo semejante a ramas laterales y oblicuas, como sucede en los ejes con zarcillos de la vid, *Vitis vinifera*.

■ **Dicasio:** cuando son dos las ramas laterales del mismo orden que continúan el crecimiento (suelen estar opuestas entre sí). Un dicasio puede parecer una dicotomía, pero las ramas laterales no se disponen en un plano sino en distintas direcciones del espacio. Ej.: *Datura ferox*, chamico.

Eje simpódico con zarcillos en *Vitis vinifera*, vid



Dicasio (esquema)



En regiones extratropicales, en las montañas de zonas tropicales y en climas tropicales secos, muchas plantas presentan crecimiento simpodial: la yema terminal muere pronto y es reemplazada por yemas laterales. La ramificación simpodial está ampliamente extendida en las dicotiledóneas herbáceas y se observa en prácticamente todas las monocotiledóneas (Takhtajan, 1991)

Tema 1.5: Porte

En las plantas perennes leñosas podemos distinguir dos tipos básicos: tipo **árbol** y tipo **arbusto**, y además los denominados **subarbustos** o **sufrútices** en los que sólo está lignificada la porción basal del tallo.

■ **Tipo arbusto.** Presenta un conjunto apretado de tallos donde no se puede diferenciar un tronco.

■ **Tipo árbol.** Presenta un tronco y una copa.

■ **Árboles no ramificados o monocaules.** No tienen ramas laterales.

■ **Árboles ramificados o pluricaules.** Tienen ramas laterales.

1. **Árboles con ramas equivalentes.** No tienen un eje principal.

2. **Árboles diferenciados en tronco y ramas.** Se puede diferenciar el tallo principal engrosado o tronco y ramas laterales. Hay tres variantes:

a. **Ramificación simpódica**

b. **Ramificación monopódica**

c. Ramificación combinada

■ **Tipo arbusto:** El arbusto es un cormófito pluricaule que presenta un conjunto apretado de tallos, creciendo desde el suelo sin que se pueda distinguir entre ellos un tronco. El primer año de su desarrollo el tallo principal del arbusto se eleva bastante poco del suelo. El segundo año forma ramas vigorosas que sobrepasan al tallo principal. Este crecimiento dominante de las ramas de la base del tallo se llama **ramificación basítona**. Las ramas así formadas se incurvan o se inclinan hacia el suelo. Sobre estas ramas arqueadas u oblicuas, las ramificaciones dominantes aparecen al tercer año en la base de cada una de ellas y sobre la cara superior: **ramificación epítona**.

Ramificación tipo arbusto, basitonía

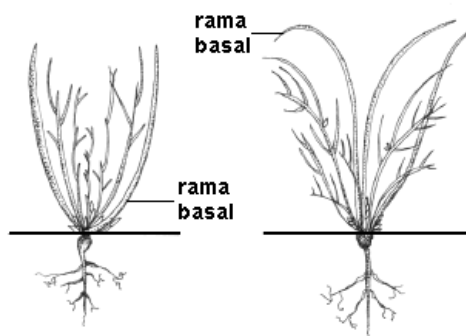
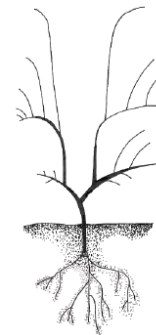


Imagen modificada de Strasburger 1994

Epitonía



Esquema tomado de Camefort 1972.

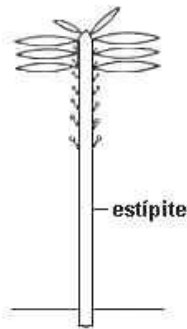
Arbusto: *Ligustrum sinense* (ligustrina)



■ **Tipo árbol:** Posee generalmente un tronco o tallo principal engrosado y una copa. La arquitectura de los árboles depende de su sistema de ramificación (Lindorf y col., 1991).

1. Árboles no ramificados: son cormófitos **monocaulés**, carecen de ramas laterales. Forman un eje único llamado **estípite**, que a veces puede ser muy largo, terminado en una roseta o corona de hojas. Ejs.: helechos arborescentes, palmeras. Algunas palmeras como el cocotero carecen de yemas axilares vegetativas pero tienen yemas axilares reproductivas. Hay algunas dicotiledóneas monocaulés como *Carica papaya* (mamonero) y *Espeletia schultzii*. Tienen yemas axilares inhibidas, que pueden desarrollarse si se daña la yema apical (Lindorf, 1991).

Esquema de árbol monocaule



Esquema tomado de Tomlison 1990

Acrocomia totai (mbocayá, cocotero)



Carica papaya (mamonero)



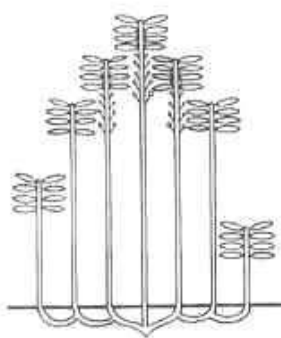
Ciertas plantas como los individuos masculinos de *Cycas revoluta* y *C. circinalis* (Gymnospermae), *Talisia mollis* (Sapindaceae), *Jatropha multifida* (Euphorbiaceae) son aparentemente no ramificadas. En realidad el tronco se origina de manera simpódica (Lindorf, 1991).

2. Árboles ramificados (pluricaules)

■ **Árboles con ramas equivalentes.** En este caso se forman varios ejes equivalentes, no hay un tronco principal. Dichos ejes nacen en rizomas profusamente ramificados como en el caso de los bambúes, ciertas palmeras cespitosas como *Areca lutescens*, y algunos helechos arborescentes. En monocotiledóneas como *Musa paradisiaca*, el bananero, cada eje aéreo se origina sobre un eje principal subterráneo: un rizoma. La porción columnar que lleva las hojas es un pseudotronco, formado por las vainas foliares concéntricas dispuestas alrededor del eje florífero. Por esta razón muchos autores no lo consideran como árbol.

Árbol ramificado con ramas equivalentes

esquema



Esquema tomado de Tomlison 1990

Areca lutescens



Musa paradisiaca, bananero



■ **Árboles diferenciados en tronco y ramas:** El tronco puede edificarse en forma monopodial (desarrollo continuado de la yema apical) o simpodial (desarrollo sucesivo de yemas axilares que reemplazan a la yema apical).

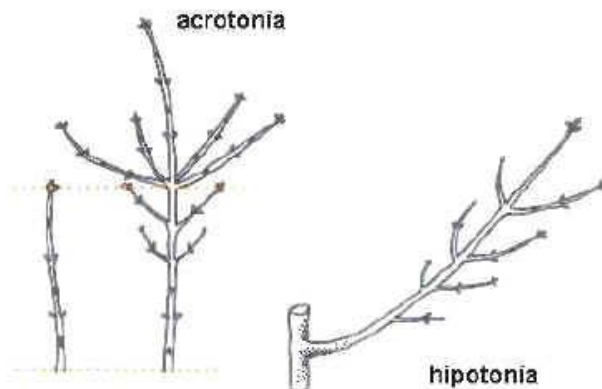
- a. **con ramificación simpódica** (Ejs. *Tabebuia heptaphylla*, lapacho; *Plumeria rubra*, jazmín magno). Las primeras ramificaciones que aparecen son poco importantes,

se secan y caen rápidamente. Para formarse la ramificación definitiva, la yema terminal se inactiva o muere y las yemas axilares más próximas al ápice (**acrotonía**) originan ramas que se alargan oblicuamente. A su vez, las ramas laterales oblicuas se ramifican mediante el desarrollo de yemas axilares próximas a la yema terminal, pero se desarrollan más las de la cara inferior de la rama. Este crecimiento preponderante de las ramas situadas sobre la cara inferior se denomina **hipotonía**. Impide la presencia de ramas vigorosas en el centro del árbol, y contribuye a una mejor exposición de las hojas.

Árbol con ramificación simpódica

a, esquemas

b, *Plumeria rubra* (jazmín magno)



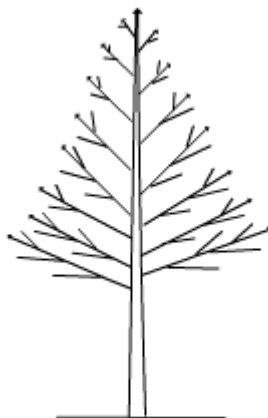
Esquema tomado de Camefort 1972

- b. **con ramificación monopódica.** Es típica de coníferas como *Pinus* y *Araucaria*, pero se encuentra también en dicotiledóneas como *Grevillea robusta* (roble sedoso), *Eucalyptus spp.*, *Magnolia grandiflora* y *Pachira insignis*. Es característica también en muchos árboles del subtrópico húmedo, y particularmente de la selva húmeda tropical; en estos climas el meristema apical se preserva durante largo tiempo, y se forma un eje principal vigoroso y pocas ramas laterales (Takhtajan, 1991).

Árbol diferenciado en tronco y ramas con ramificación monopódica

a, esquema

b, *Grevillea robusta*, roble sedoso



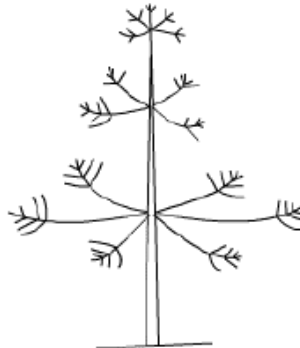
- c. En *Araucaria* sobre las ramas principales se forman ramas laterales casi horizontales por desarrollo dominante de yemas laterales: desarrollo **anfítono**.

Ramas de desarrollo anfítono en *Araucaria excelsa*

a, Árbol



b, Esquema de ramificación



c, Verticilo de ramas visto desde el ápice

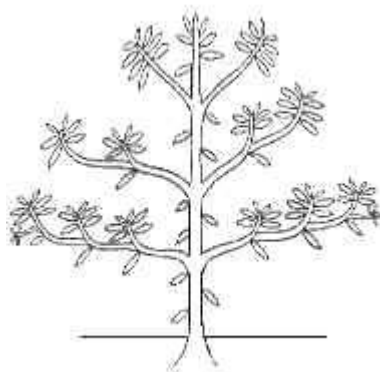


- d. **con ramificación combinada**. El eje principal tiene desarrollo monopodial y las ramas ramificación simpodial. Durante varios años (6-7) después de la germinación de la semilla el tallo principal crece sin ramificarse, se desarrolla sólo la yema terminal, las axilares permanecen inactivas. Luego la yema terminal entra en reposo, y las yemas axilares de las hojas próximas al ápice se desarrollan formando un piso de ramas. Mientras las ramas se alargan la yema principal se activa nuevamente, y cuando entra en reposo el proceso se repite, dando lugar a varios pisos de ramas laterales cuya ramificación es simpodial.

Árbol pluricaule con ramificación combinada

Achras sapota

Terminalia catappa



Esquema tomado de Lindorf 1991

Tema 1.6: Duración de la vida de las Plantas

PLANTAS HAPAXÁNTICAS (Guédès, 1979) también llamadas monocárpicas (Lindorf *et al.*, 1991): son las que florecen sólo una vez y después mueren. Si florecen y mueren en el primero y único año de su vida, son **anuales** (arveja, soja, tabaco, zapallo, zapallito), pero si florecen en el segundo año son **bienales** (zanahoria, cebolla, lechuga, remolacha). También pueden ser **pluriennales**: algunas demoran varios años hasta florecer, como *Digitalis purpurea*, *Agave spp.* y otras pueden demorar varias décadas o incluso centurias como *Agave americana* (varias décadas a 100 años), *Phyllostachys bambusoides* (120

años) o *Fourcroya gigantea*, Agavaceae (400 años). Las plantas hapaxánticas pueden ser monocaules como *Agave* o pluricaules como algunas bambúseas. Muchas dicotiledóneas hapaxánticas se ramifican (ramificación basítona) pero siempre son herbáceas, los tallos forman poco leño secundario y no tienen peridermis.

Plantas hapaxánticas o monocárpicas

anuales

Cucurbita maxima, zapallo



bienales

Lactuca sativa, lechuga



Pluriennales

Agave sp. planta viva y senescente, después de la floración



■ **PLANTAS POLACÁNTICAS** (Guédès, 1979) también llamadas pleonánticas (Tomlinson, 1990), policárpicas (Lindorf *et al.*, 1991) o **perennes**: florecen repetidamente, cada floración al final de cada período de crecimiento.

■ Si la parte aérea muere cada año y quedan sólo los órganos subterráneos, la planta es **perenne herbácea**; la parte subterránea puede ser un rizoma, una raíz tuberosa, un sistema de raíces adventicias, o un bulbo; la ramificación puede ser simpodial o monopodial.

■ En las **perennes leñosas** la parte aérea no muere después de la floración, se lignifica y soporta condiciones adversas; las yemas permanecen como yemas durmientes y reanudan el crecimiento en la próxima estación. Pueden desarrollarse como subarbustos, arbustos o árboles (Guédès, 1979), monocaules (algunas Cycadales, *Phoenix canariensis* y otras Palmae) o pluricaules con ramas equivalentes, como en *Areca lutescens*, o con tronco y ramas con ramificación simpodial (*Tabebuia heptaphylla*, lapacho rosado; *Plumeria rubra*, jazmín magno) o monopodial (*Pinus*, *Grevillea robusta*).

Plantas polacánticas o perennes herbáceas

Sansevieria thyrsiflora



Canna sp. (achira)



Plantas perennes leñosas

Arbusto: *Nerium oleander*,
laurel blanco



Árbol simpodial:
Tabebuia heptaphylla, lapacho



Tema 1.7: Raíz

La raíz es el órgano generalmente subterráneo, especializado en:

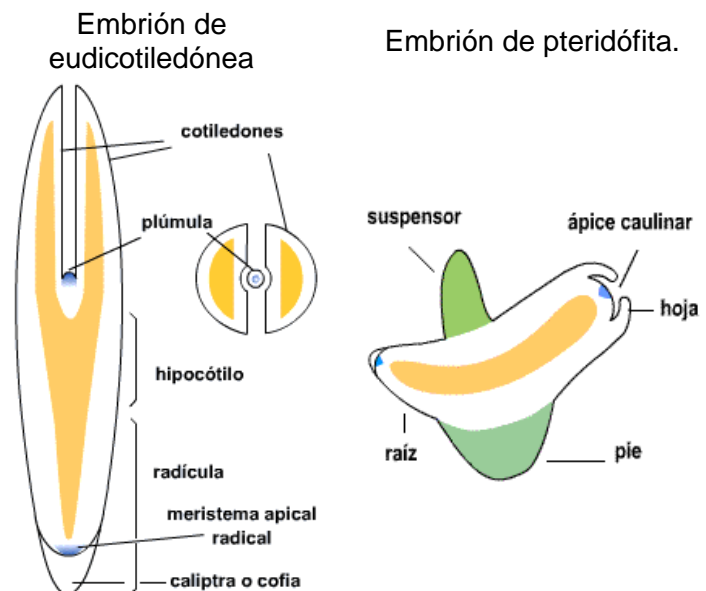
- Fijación de la planta al substrato.
- Absorción de agua y sustancias disueltas.
- Transporte de agua y solutos a las partes aéreas.
- Almacenamiento: las plantas bienales como la zanahoria almacenan en la raíz durante el primer año reservas que utilizarán el segundo año para producir flores, frutos y semillas.
- En algunas plantas como *Isoetes* (pteridófita) y *Littorella* (Plantaginaceae) las raíces transportan dióxido de carbono (CO₂) para la fotosíntesis, ya que sus hojas usualmente carecen de estomas.

La raíz está presente en todos los vegetales vasculares excepto las Psilotales (pteridófitas) que presentan rizoides. Ciertas espermatófitas especializadas carecen de raíz porque se atrofia el polo radical, el embrión no presenta radícula; entre ellas hay plantas acuáticas como *Wolffia* (lenteja de agua), *Utricularia* y *Ceratophyllum demersum* y plantas epífitas como *Tillandsia usneoides* y algunas orquídeas. Algunas de ellas pueden formar raíces adventicias (Lindorf *et al.*, 1991). En *Salvinia*, pteridófita acuática, la función radical es desempeñada por hojas modificadas.

Sistemas de raíces: Origen

En las espermatófitas la radícula o raíz embrional situada en el polo radical del embrión origina la raíz primaria después de la germinación.

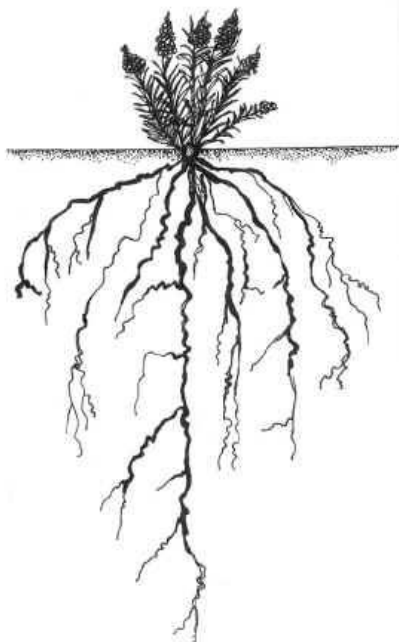
En las pteridófitas el embrión no es bipolar, generalmente la raíz embrional es lateral con respecto al vástago. En *Psilotum* cuyo embrión no tiene radícula, sólo se formarán rizoides.



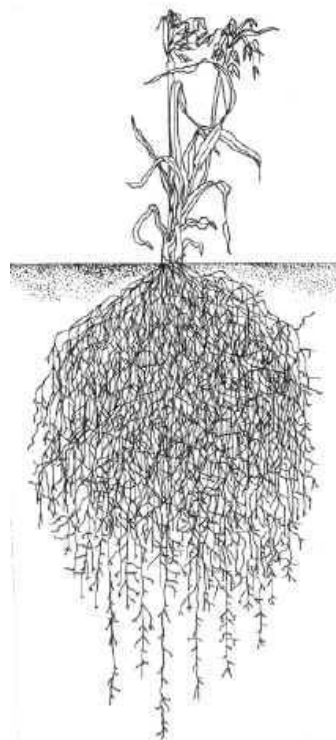
Sistema radicular

En las gimnospermas y dicotiledóneas la raíz primaria produce, por alargamiento y ramificación, el sistema radical **alorrizo**, caracterizado porque hay una raíz principal y raíces laterales no equivalentes morfológicamente. El sistema radical generalmente es unitario, presenta ramificación racemosa, acrópeta, la raíz es **axonomorfa** o **pivotante**, tiene raíces de 2°- 5° orden, y crecimiento secundario. En las monocotiledóneas igual que en las pteridófitas, la raíz embrional por lo general muere pronto. El sistema radical de la planta adulta se forma por encima del lugar de origen de la raíz primaria, en las gramíneas o Poaceae sobre el tallo o sobre el hipocótilo. El sistema radical es **homorrizo**, está formado por un conjunto de **raíces adventicias**.

Sistema radical alorrizo



Sistema radical homorrizo



Imágenes modificadas de Strasburger (1994)

Raíces adventicias

Son las que no se originan en la radícula del embrión, sino en cualquier otro lugar de la planta, pueden surgir de partes aéreas de la planta, en tallos subterráneos y en raíces viejas. Pueden tener o no ramificaciones, pero tienen forma y tamaño relativamente homogéneo. No tienen crecimiento secundario generalmente. Son raíces fasciculadas o sistemas radicales fibrosos. Su duración varía, en algunos pastos perennes pueden durar varios años (Clark & Fisher, 1986).

En muchas monocotiledóneas como la gramilla (*Cynodon dactylon*) y dicotiledóneas como la frutilla (*Fragaria*) que presentan tallos postrados, frecuentemente el sistema radical no es unitario, pues en cada nudo nace un fascículo de raíces adventicias.

Algunos cormófitos monocaules como la palma *Socratea* y *Pandanus*, monocotiledóneas arbóreas o arbustivas, logran mayor estabilidad desarrollando raíces adventicias llamadas **raíces fúlcreas** o **raíces zancos**. Dichas raíces también aparecen en gramíneas como el maíz y el sorgo. Son gruesas, se forman en los nudos basales, y penetran al suelo donde cumplen doble función: sostén y absorción.

Rizoma de Sansevieria
thyrsoiflora con raíces
adventicias



Raíces adventicias
en tallo de *Oplismenus
hirtellus*



Raíces fúlcreas o zancos
en *Zea mays*, maíz



En el Parque Mitre de la ciudad de Corrientes (Argentina) hay un ejemplar cultivado de *Ficus benghalensis*, la "higuera de la India" o "banyan tree", caracterizado por desarrollar raíces fúlcreas. Dichas raíces nacen sobre ramas extendidas horizontalmente, se extienden hacia el suelo y finalmente lo penetran. Se desarrollan formando columnas que crecen en diámetro y además pueden unirse por concrecencia, adquiriendo el aspecto de nuevos troncos. Como las ramas quedan sostenidas por estas raíces columnares, pueden alcanzar una longitud mucho mayor que las ramas de otras especies, que tienen soporte sólo en el punto de unión con el tronco. De esta manera una sola planta puede cubrir una enorme extensión: hay casos registrados en India de árboles cuya copa cubre una superficie de más de 20.000 m². El tronco inicial también puede unirse por concrecencia con las raíces fúlcreas, y va aumentando de tamaño; se conocen troncos de cerca de 3 m de diámetro.

Ficus benghalensis, higuera de la India

Aspecto general del árbol



Raíces fúlcreas en desarrollo y fijadas al suelo

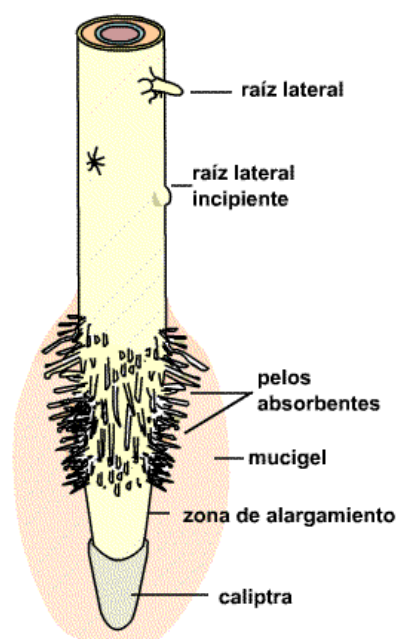


Algunas plantas tienen raíces gemíferas: se forman yemas en las raíces que permiten la propagación vegetativa de la planta (*Linaria vulgaris*, *Rumex acetosella*, *Populus spp.*).

MORFOLOGÍA EXTERNA DE UNA RAÍZ PRIMARIA

- **Caliptra, cofia o piloriza:** se encuentra en el ápice protegiendo al meristema apical
- **Zona de crecimiento o alargamiento,** zona glabra de 1-2 mm long. En raíces aéreas de *Rizophora mangle* sobrepasa los 15 cm de longitud.
- **Zona pilífera,** región de los pelos absorbente.
- **Zona de ramificación,** región sin pelos, donde se forman las raíces laterales. Se extiende hasta el cuello, que la une al tallo. El extremo de la raíz está revestido de **mucigel**, envoltura viscosa constituida por mucílago (polisacáridos), que la protege contra productos dañinos, previene la desecación, es la interfase de contacto con las partículas del suelo y proporciona un ambiente favorable a los microorganismos.

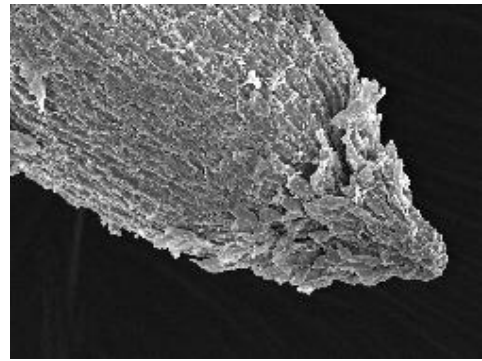
Morfología externa de la raíz



CALIPTRA

Protege al meristema evitando el contacto con partículas sólidas del suelo y evitando lesiones. A pesar de que continuamente se forman nuevas células en la parte profunda de la caliptra, ésta no aumenta de tamaño porque las células externas se desprenden, se descaman, por gelificación de las laminillas medias. Las células externas juegan el papel de lubricante que facilita la penetración de la raíz en el suelo. Entre la caliptra y la protodermis las paredes se vuelven mucilaginosas, facilitando la separación de la caliptra de los lados de la raíz en crecimiento.

Caliptra de *Potamogeton pedersenii* (foto MEB)



RAMIFICACIÓN DE LA RAÍZ

El grado de ramificación está influenciado por el suelo. Las raíces son escasamente ramificadas si crecen en agua o pantano. En suelos aireados y secos son muy ramificadas. Muchos árboles tienen un sistema radical dividido que les permite aprovechar mejor la provisión de agua: **raíces horizontales**, superficiales para absorber el agua de lluvia, y **raíces profundas verticales** para alcanzar el agua de las capas internas del suelo, cuando baja el nivel freático.

En **dicotiledóneas tropicales** se han descrito cuatro patrones de ramificación de raíces para árboles viejos:

- Sistema sin raíz principal, con raíces tabulares: raíces superficiales gruesas horizontales formando grandes contrafuertes o aletones parietiformes, con puntos de anclaje vertical débiles. Árboles de selva tropical: *Ficus elastica*.
- Sistema formado por raíces superficiales gruesas horizontales con zonas de anclaje y raíz principal bien desarrollada.
- Raíz principal prominente, con raíces oblicuas muy desarrolladas, raíces superficiales débiles.
- Raíces zancos prominentes y raíces subterráneas débiles.

Para **árboles de zonas templadas** se distinguen los siguientes:

- **En forma de estaca**: una raíz principal dominante, de crecimiento vertical: *Quercus*, algunas coníferas.
- **En forma de plato**: raíces horizontales superficiales de las que nacen raíces más o menos verticales: *Abies*, *Fraxinus*, *Populus*.

Glosario

Acrópeta /o: dicese de lo que se desarrolla desde la base hacia el ápice.

Bráctea: órgano foliáceo situado en la proximidad de las flores y distinto por su forma, tamaño, consistencia, color, etc., de las hojas normales y de las que, transformadas constituyen las piezas florales.

Brevicaule: de tallo corto.

Caulifloria: fenómeno relativo a algunos árboles o arbustos que echan las flores en el tronco y en las ramas añosas; se trata de la brotación tardía de yemas durmientes.

Caulógeno: que se origina en el tallo.

Caducifolia /o: árboles y arbustos que no se conservan verdes todo el año, dejan caer sus hojas en épocas desfavorables, estación fría o seca.

Cutícula: capa cerosa o grasa de la pared exterior de las células epidérmicas, formada por cutina y ceras, falta en las raíces y en órganos sumergidos de las plantas acuáticas.

Decidua /o: que deja caer sus hojas en épocas desfavorables.

Dimorfismo: fenómeno relativo a las plantas o a los órganos dimorfos, es decir, que poseen dos formas.

Embrión: rudimento del esporófito joven, cuando la ovocélula después de fecundada ha constituido un cuerpo primordial de células diploides (2n).

- Esporangio:** estructura hueca uni- o pluricelular donde se producen las esporas. En las pteridófitas estas estructuras se hallan en las frondes fértiles o esporofilos.
- Espora:** célula reproductiva especial, provista por lo general de una gruesa pared, habitualmente unicelular, capaz de dar lugar a un adulto sin fusionarse con ninguna otra célula.
- Estoma:** estructura que conforma una pequeña abertura y se halla situada sobre la superficie de las hojas y de los tallos (epidermis), a través de donde circulan los gases; se abre y cierra en determinadas condiciones.
- Filotaxis:** ordenación de las hojas sobre el tallo.
- Gelatinización:** se refiere a las paredes celulares que se transforman parcialmente en mucílago. Gelificación.
- Inflorescencia:** sistema de ramificación que se resuelve en flores.
- Intercalar:** crecimiento localizado en la base o en la parte media de un órgano.
- Laminilla media:** capa de material intercelular, rica en compuestos pécticos, que mantienen unidas las paredes primarias de células adyacentes.
- Meristema apical caulinar:** grupo de células meristemáticas (indiferenciadas) en el ápice del vástago que por división celular produce los precursores de los tejidos primarios.
- Ortótropo:** orientado verticalmente.
- Óvulo:** estructura de las plantas con semillas que contiene el gametófito femenino con la ovocélula, toda ella está rodeada por una nucela y uno o dos tegumentos; cuando madura, el óvulo da lugar a la semilla.
- Parietiforme:** en forma de pared o tabique.
- Perenne:** planta que vive 3 ó más años y produce estructuras reproductoras año tras año.
- Primordio:** estado, todavía rudimentario, de un órgano que empieza a formarse.
- Protodermis:** tejido meristemático primario que da lugar a la epidermis.
- Raíz axonomorfa:** raíz cuyo eje es predominantemente ramificada de manera racemosa, con los ejes secundarios, etc., poco desarrollados en comparación del principal.
- Raíz caulógena:** Que surge o se forma en el tallo, como las raíces de los helechos.

Bibliografía

- Camefort, H.** 1972. *Morphologie des Végétaux Vasculaires*. 2ª ed. Doin, Éditeurs.
- Clark L. G. & J. B. Fisher.** 1986. *Vegetative Morphology of Grasses: Shoots and Roots*. Int.Grass Symp.: 37-45.
- Gifford, E. M. et A. S. Foster.** 1989. *Morphology and Evolution of Vascular Plants*. W. H. Freeman and Company.
- Guédès, M.** 1979. *Morphology of Seed- Plants*. J. Cramer.
- Ingrouille, M.** 1992. *Diversity and Evolution of Land Plants*. Chapman & Hall.
- Lindorf, H., L. de Parisca & P. Rodriguez.** 1991. *Botánica*. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca. Caracas.
- Mauseth, J.** 1988. *Plant Anatomy*. Benjamin/Cummings Pub.Co., Menlo Park, CA.
- Nultsch, W.** 1996. *Botánica General*. Editorial Norma.
- Raven, P. H., R. F. Evert & S. E. Eichhorn.** 1992. *Biology of Plants*, 5th. ed. Worth Publishers.
- Strasburger E. y col.** 1994. *Tratado de Botánica*, 8ª ed. castellano. Ediciones Omega S.A.
- Takhtajan, A.** 1991. *Evolutionary Trends in Flowering Plants*. Columbia University Press.
- Tomlison, P. B.** 1990. *The Structural Biology of Palms*. Clarendon Press Oxford.