Tema 4: MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA (continuación)

MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA DE RAÍCES, TALLOS Y HOJAS (ESTRUCTURAS BÁSICAS Y ADAPTACIONES FUNCIONALES)

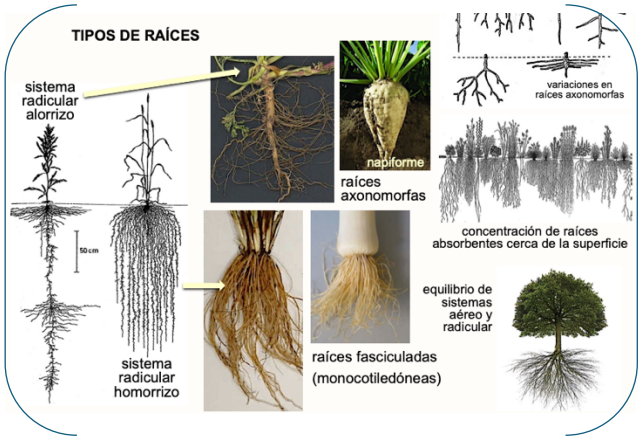
🌱 ÍNDICE TEMÁTICO

1. **Raíces**
   1.1. Tipos y estructuras
   1.2. Adaptaciones morfológicas
2. **Hojas**
   2.1. Tipología morfológica
   2.2. Anatomía interna
3. **Tallos y hojas**
   3.1. Adaptaciones funcionales

🌿 1.1. TIPOS Y ESTRUCTURAS DE RAÍCES

🔷 Tipos de sistemas radiculares

Existen dos grandes tipos de sistemas radiculares según el origen y organización:



✅ **Sistema alorrizo (dicotiledóneas):**

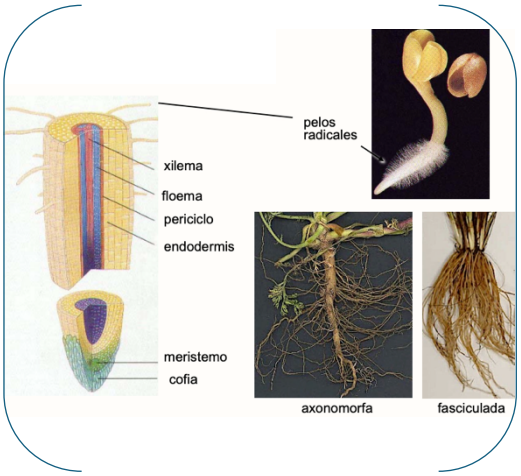
- Con raíz principal o **axonomorfa**, que da lugar a raíces secundarias.
- Puede especializarse:
  - En **raíz napiforme** (engrosada para reserva), como en la zanahoria.
  - Con raíces más absorbentes cerca de la superficie.
- Se adapta bien al **equilibrio entre parte aérea y subterránea**.

✅ **Sistema homorrizo (monocotiledóneas):**

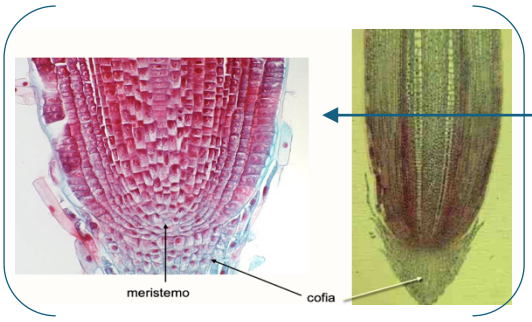
- Sin raíz principal persistente.
- Conjunto de **raíces fasciculadas** que surgen desde la base del tallo.
- Común en gramíneas como el maíz.

🔷 Estructura general de la raíz

La raíz muestra zonas diferenciadas, de fuera a dentro:

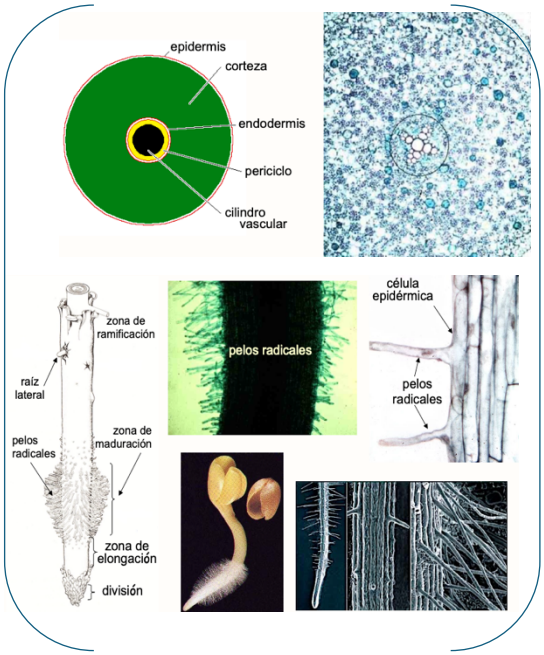


- **Pelos radicales**: aumentan la superficie de absorción.
- **Epidermis**
- **Corteza**
- **Endodermis**: capa que regula el paso de sustancias hacia el interior.
- **Periciclo**: capa generadora de raíces laterales.



- **Cilindro vascular**: donde están el xilema y floema

🔍 En esta imagen se aprecia la **cofia** (protección apical) y el **meristemo apical**, encargado del crecimiento en longitud.

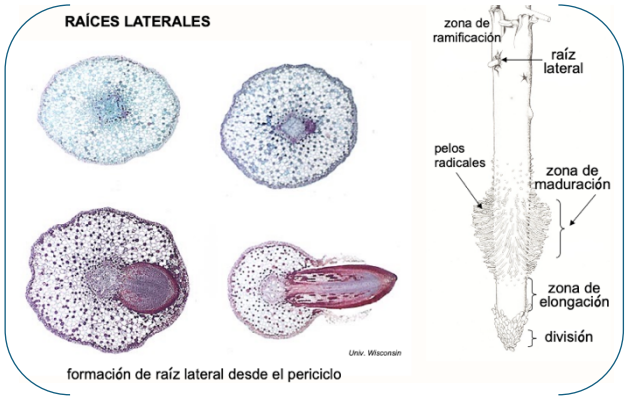


🔷 Zonas funcionales de la raíz

El crecimiento de la raíz se organiza en zonas:

ZONA	FUNCIÓN PRINCIPAL
Cofia	Protege el meristemo apical
Meristemo apical	División celular
Zona de elongación	Alargamiento celular
Zona de maduración	Diferenciación de tejidos y aparición de **pelos radicales**
Zona de ramificación	Formación de raíces laterales

🔷 Formación de raíces laterales

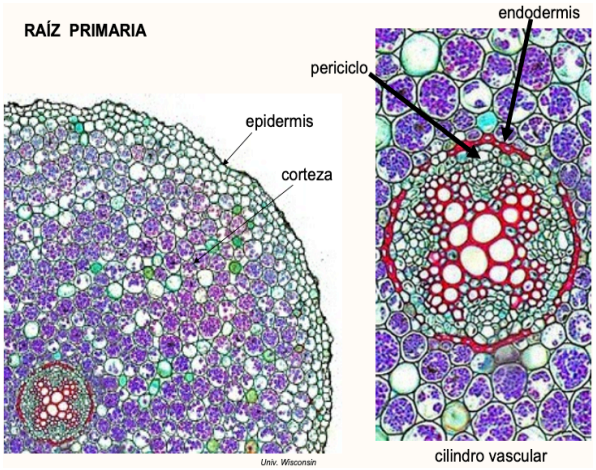


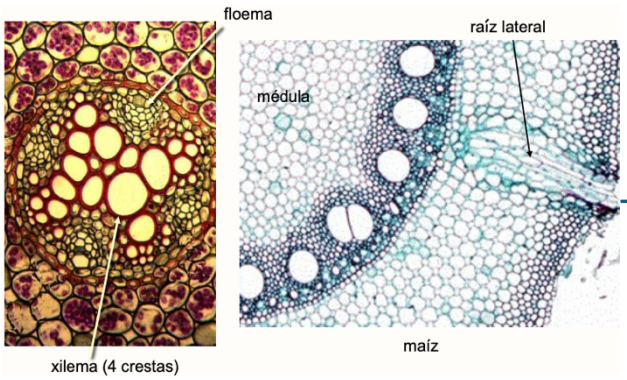
- Las **raíces laterales se originan en el periciclo** (capa interna de la corteza).
- Las imágenes muestran cómo esta raíz lateral rompe hacia fuera a través de las capas más externas.
- Esta formación ocurre en la **zona de maduración**, no en la punta.

🔷 Corte transversal de raíz primaria

En el corte de raíz se identifican:

- **Epidermis**
- **Corteza**
- **Endodermis**
- **Periciclo**
- **Xilema** (en forma de estrella en dicotiledóneas; en crestas en monocotiledóneas)
- **Floema**



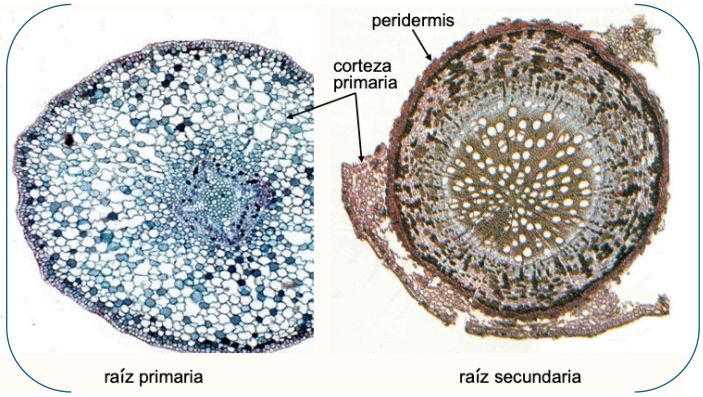


Raíz de maíz con **xilema** de 4 crestas, médula bien visible y raíz lateral en desarrollo.

🔷 Raíz secundaria

En plantas leñosas, la raíz también puede desarrollar crecimiento secundario:

- El **cambium** produce xilema y floema secundarios.
- Se forma una **peridermis**, sustituyendo a la epidermis.
- En la imagen se comparan raíz primaria y raíz secundaria.



🌱 1.2. ADAPTACIONES MORFOLÓGICAS DE LAS RAÍCES

Las raíces, además de anclar la planta y absorber agua y nutrientes, pueden **modificarse para cumplir funciones especiales**, como soporte, respiración o almacenamiento.

🔶 Raíces de soporte

1. Raíces fúlcreas (o zancos)

- Se desarrollan desde el tallo hacia el suelo.
- Proporcionan **estabilidad estructural** en suelos poco firmes o en plantas muy grandes.
- Ejemplos:
  - *Maíz*
  - *Ficus sp.* (ficus estranguladores)
  - **Manglares** como *Rhizophora*



2. Raíces tabulares

- Largas y aplanadas.
- Forman "aletas" radiales que aumentan el anclaje.
- Muy visibles en árboles tropicales.

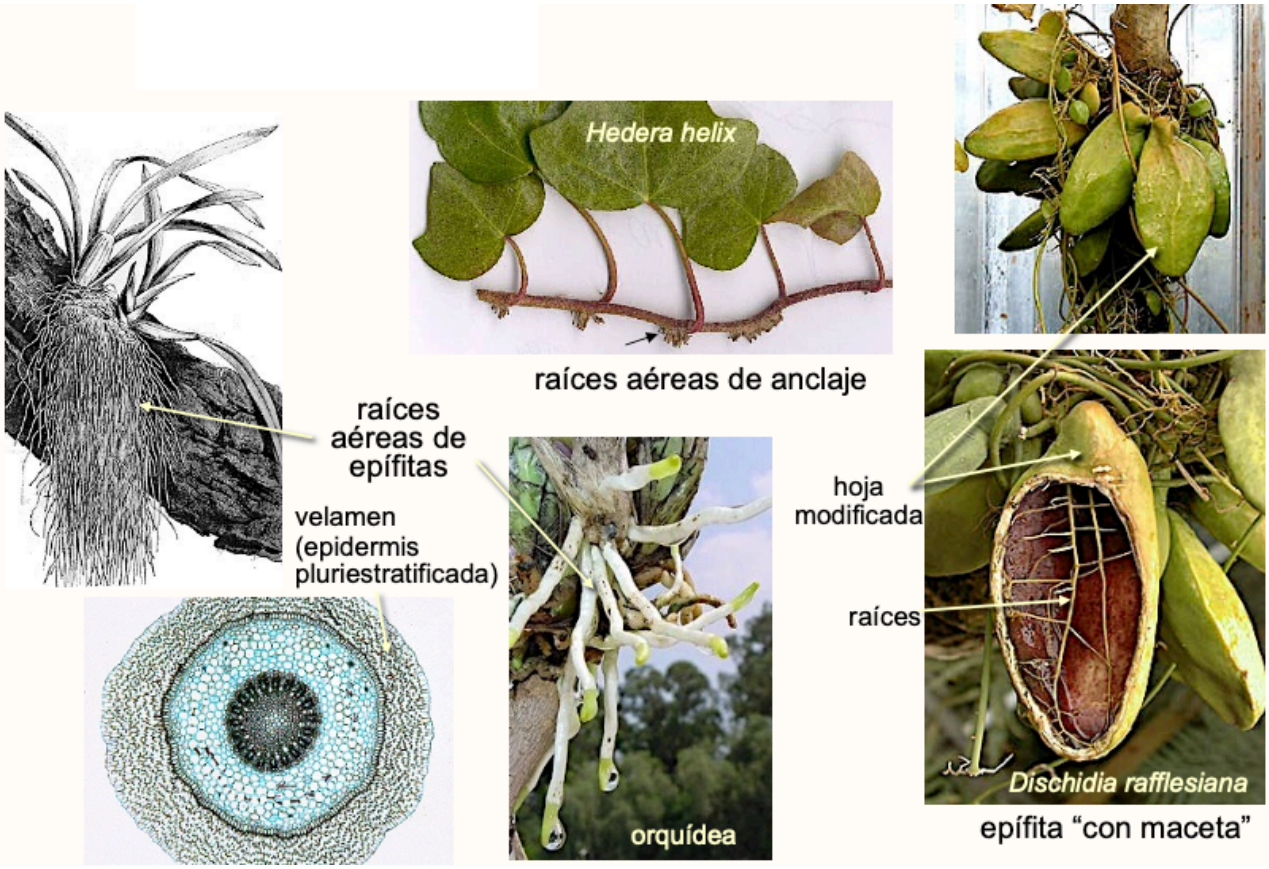
3. Neumatóforos

- Raíces verticales que emergen del suelo o del agua.
- Permiten el **intercambio gaseoso en suelos anegados**.
- Ejemplo: *Avicennia* (mangle negro).

🔶 Raíces aéreas

1. Raíces de epífitas

- Plantas que viven **sobre otras plantas**, pero no las parasitan.
- Ej.: orquídeas, *Dischidia rafflesiana*.
- Tienen **velamen**: epidermis multiestratificada que absorbe humedad del aire.



2. Raíces de anclaje

- En plantas trepadoras como *Hedera helix* (hiedra).
- Sirven para **fijarse a superficies verticales**.

3. Raíces adaptadas como "macetas"

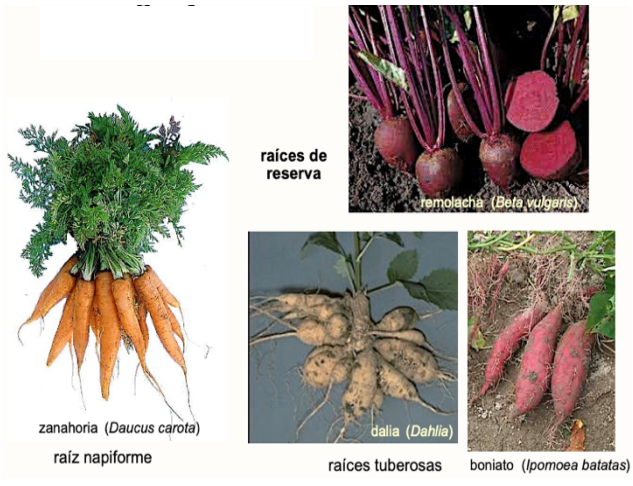
- En *Dischidia rafflesiana*, algunas hojas modificadas forman cavidades para retener agua y humus, donde crecen sus propias raíces.

🔶 Raíces de almacenamiento

Se engrosan para **acumular sustancias de reserva**, principalmente carbohidratos.

Ejemplos:

- **Napiformes** (forma de nabo):
  - *Daucus carota* (zanahoria)
  - *Beta vulgaris* (remolacha)
- **Tuberosas**:
  - *Ipomoea batatas* (boniato)
  - *Dahlia* (dalia)



Estas modificaciones son ejemplos de cómo las raíces se adaptan a **diferentes condiciones ecológicas** o necesidades fisiológicas.

🌱 HOJAS Y RAMAS

La **rama** y la **hoja** son dos partes muy distintas de una planta, tanto en estructura como en su función.

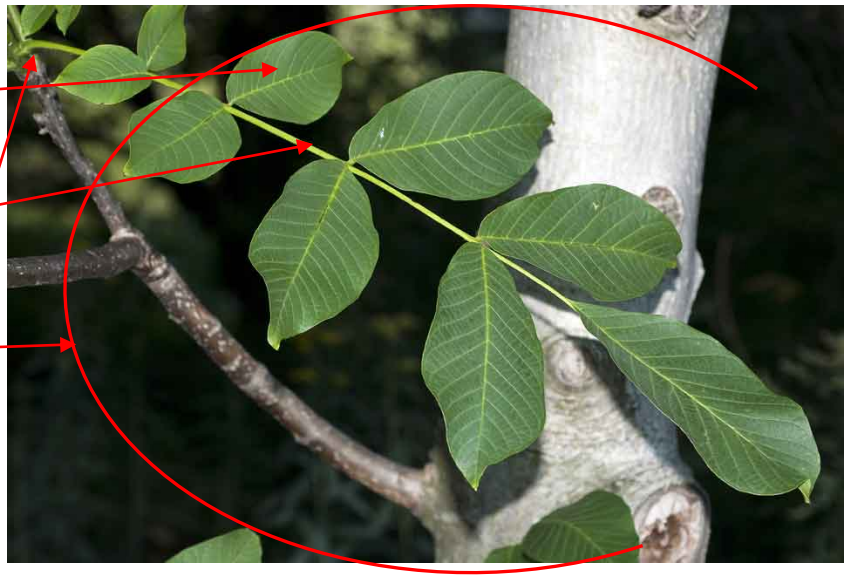
Para conocer si se trata de una **rama** o de una **hoja**, puede ayudarnos el saber que **todas las hojas nacen en un nudo del tallo o rama**, y que **las ramas suelen terminar en una yema apical**. Además, en la axila (ángulo entre tallo y hoja) puede encontrarse una yema que dará lugar a una rama. En cambio, si no hay yema terminal y la estructura se origina en un nudo, es más probable que sea una hoja (posiblemente compuesta) y no una rama.

Veamos un ejemplo **clásico de confusión** entre **rama con hojas** y **hoja compuesta** usando el **nogal** y el **fresno**, que tienen hojas grandes y divididas que pueden parecer ramitas con hojitas.

🌿 Ejemplo: hoja compuesta del nogal

El **nogal (Juglans regia)** tiene **hojas compuestas imparipinnadas**, es decir:

- Una sola hoja está dividida en varios **folíolos** (de 5 a 9).
- Todos los folíolos están unidos al mismo eje central, llamado **raquis**.
- El conjunto **parece una ramita con hojitas**, pero **no lo es**: es **una sola hoja**.



🔎 Cómo saber que no es una rama:

- Esta hoja **nace en un nudo** del tallo.
- En la base de esta hoja puede haber una **yema axilar** (entre el tallo y el pecíolo).
- Pero **en la punta del raquis no hay yema apical**, porque **no es una rama**.

🌳 Comparación con una rama verdadera

Una **rama verdadera**:

- Puede tener **varios nudos**.
- De esos nudos nacen hojas (o más ramas).
- **Termina en una yema apical**, que permite su crecimiento longitudinal.

🧠 Truco para diferenciar hoja compuesta vs. ramita:

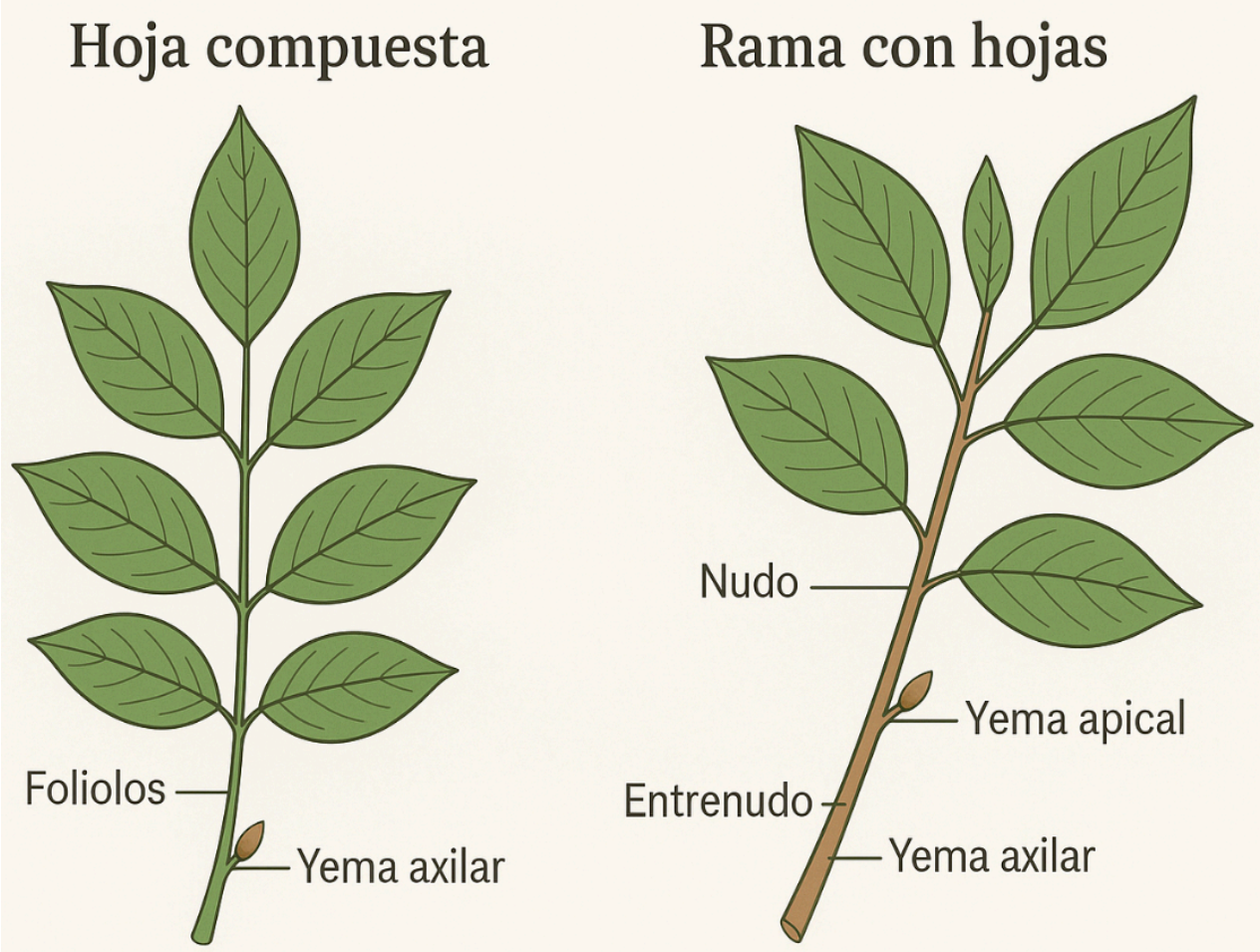
CARACTERÍSTICA	HOJA COMPUESTA	RAMA CON HOJAS
¿Dónde nace?	En un solo nudo del tallo o rama	De otro tallo o rama
¿Tiene yema apical?	❌ No	✅ Sí
¿Tiene yema en la base (axilar)?	✅ Sí	✅ Sí
¿Tiene entrenudos?	❌ No	✅ Sí
¿Los “segmentos” se caen juntos?	✅ Sí (toda la hoja)	❌ No (hojas se caen, rama queda)

Aquí vemos una explicación comparativa que puede servir para aclaralo:

ELEMENTO	RAMA	HOJA
Definición	Estructura leñosa o semileñosa que se desprende del tallo principal.	Órgano generalmente plano y delgado que brota de los tallos o ramas.
Naturaleza	Parte del **sistema caulinar** (parte aérea de la planta que incluye tallo y ramificaciones).	Parte del **sistema foliar** (órganos relacionados con la fotosíntesis y el intercambio gaseoso).
Composición	Puede tener nudos, entrenudos, y de ella pueden surgir hojas, flores o frutos.	Formada por limbo (parte plana), pecíolo (rabillo) y a veces una vaina.
Función principal	Sostener y distribuir las hojas, flores y frutos, y transportar agua y nutrientes.	Realizar la **fotosíntesis**, la **transpiración** y el **intercambio gaseoso**.
Duración	Suele ser más duradera y leñosa (aunque hay ramas verdes en plantas jóvenes o herbáceas).	Por lo general, de vida más corta, renovándose según la estación.
Color	Normalmente marrón o verde si es joven.	Típicamente verde por la clorofila, aunque puede cambiar en otoño.

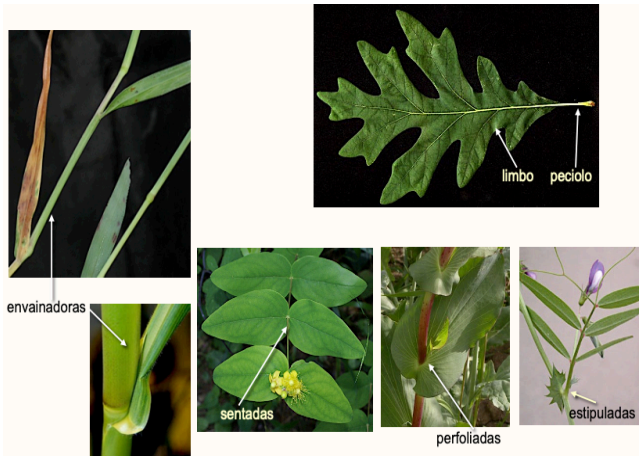
Ejemplo práctico:

- En un manzano, las **ramas** son las estructuras que salen del tronco y de las que brotan las **hojas**, **flores** y **frutos**.
- Las **hojas** capturan la luz solar para producir azúcares mediante la fotosíntesis, y no pueden sobrevivir separadas mucho tiempo.



🌿 2.1. MORFOLOGÍA DE LAS HOJAS

🔷 Partes de una hoja



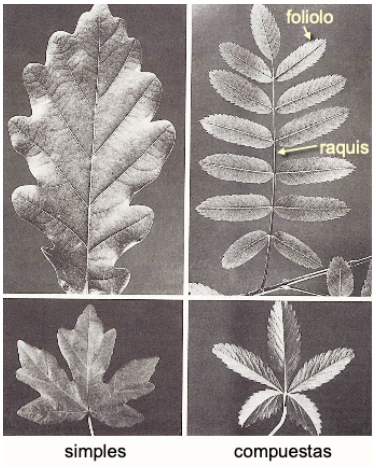
Una hoja típica está compuesta por:

- **Limbo**: parte ancha y plana, donde se realiza la fotosíntesis.
- **Peciolo**: rabillo que une el limbo al tallo.
- **Estípulas**: apéndices a los lados del peciolo, no siempre presentes.

Según cómo se insertan en el tallo:

- **Pecioladas**: con peciolo.
- **Sentadas**: sin peciolo.
- **Envainadoras**: envuelven el tallo.
- **Perfoliadas**: el tallo parece atravesar el limbo.
- **Estipuladas**: con estípulas evidentes.

🔷 Hojas simples y compuestas



Hojas simples:

- El limbo es una unidad entera (aunque puede estar lobulado o dividido superficialmente).

Hojas compuestas:



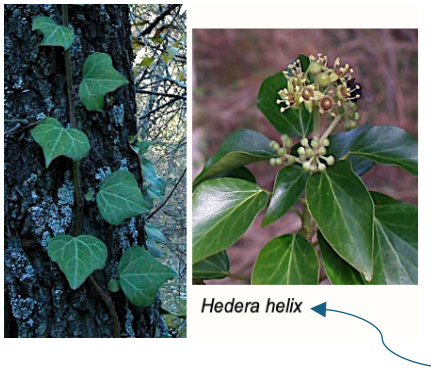
- El limbo está dividido completamente en **foliolos** o **hojuelas**.

Tipos de hojas compuestas:

- **Pinnaticompuestas**:
  - **Paripinnadas**: número par de foliolos (sin foliolo terminal).
  - **Imparipinnadas**: número impar (con foliolo terminal).
- **Palmaticompuestas**: los foliolos parten de un punto común, como los dedos de una mano.

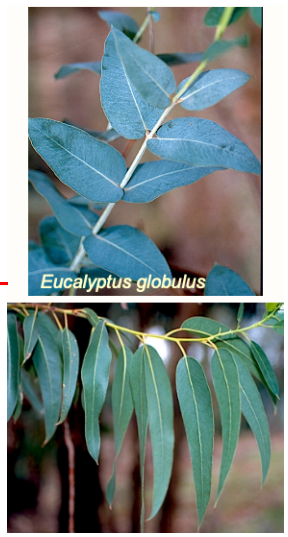
🔷 Heterofilia

La **heterofilia** es el fenómeno por el cual una planta puede tener hojas que varían en tamaño, forma, color o textura dependiendo de su ubicación en la planta, o de su etapa de desarrollo.



Ejemplos:

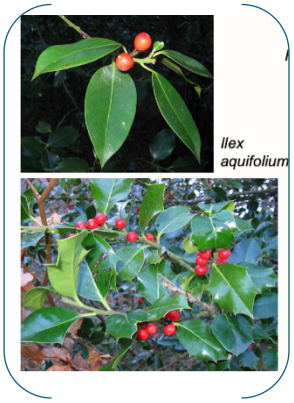
→ *Eucalyptus globulus*: hojas juveniles y adultas muy diferentes.



→ *Hedera helix* (hiedra): hojas lobuladas o enteras según la posición.

→ *Ranunculus aquatilis*: hojas aéreas vs. sumergidas, adaptadas al medio.





→ *Ilex aquifolium*: hojas con o sin espinas según la edad o altura.

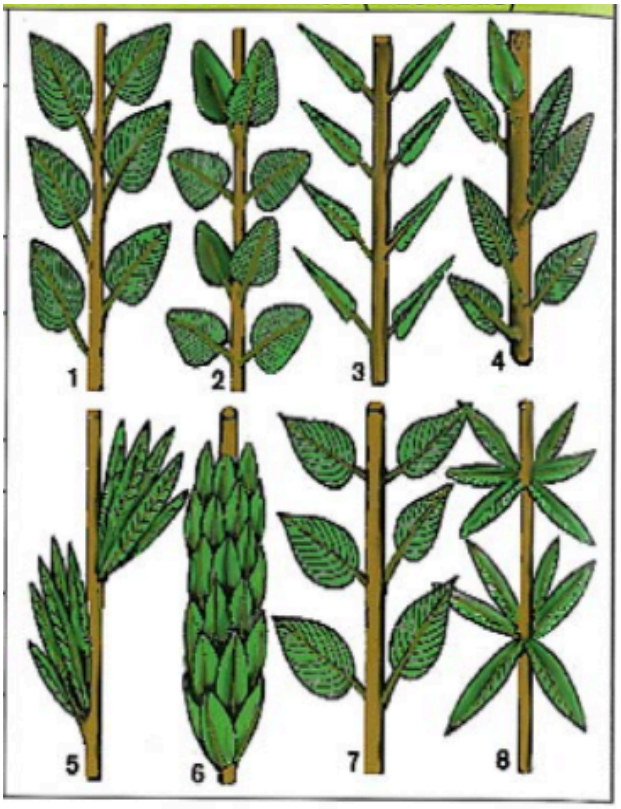
→ *Quercus ilex* subsp. *ballota*: variabilidad foliar según exposición.



🔷 Disposición de las hojas o filotaxis

La **filotaxis** describe cómo se disponen las hojas en el tallo. Esto influye en la **captación de luz** y el equilibrio de la planta.

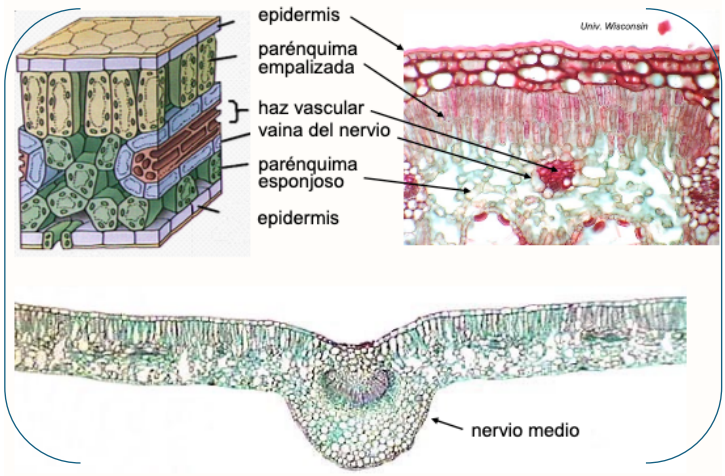
Nº	TIPO	CARACTERÍSTICA
1	**Alterna**	Una sola hoja en cada nudo del tallo, dispuestas alternativamente unas sobre otras.
2	**Decusada**	Hojas dispuestas en parejas opuestas y cruzadas a 90° entre sí, formando una cruz en cada par sucesivo, con el fin de recibir la luz por más sitios.
3	**Dística**	Hojas dispuestas en dos filas, una a cada lado del tallo o rama.
4	**Helicoidal**	Hojas dispuestas en espiral a lo largo del tallo, siguiendo una línea imaginaria en hélice.
5	**Fasciculada**	Hojas agrupadas en un punto, formando un haz o fascículo.
6	**Imbricada**	Hojas muy próximas que se superponen parcialmente, como las tejas de un tejado.
7	**Opuesta**	Dos hojas por nudo, situadas una frente a otra en el mismo plano.
8	**Verticilada**	Tres o más hojas nacen del mismo nudo, dispuestas en círculo alrededor del tallo.



🔬 2.2. ANATOMÍA INTERNA DE LA HOJA

🔷 Estructura en corte transversal

En una hoja típica se observan tres capas principales:

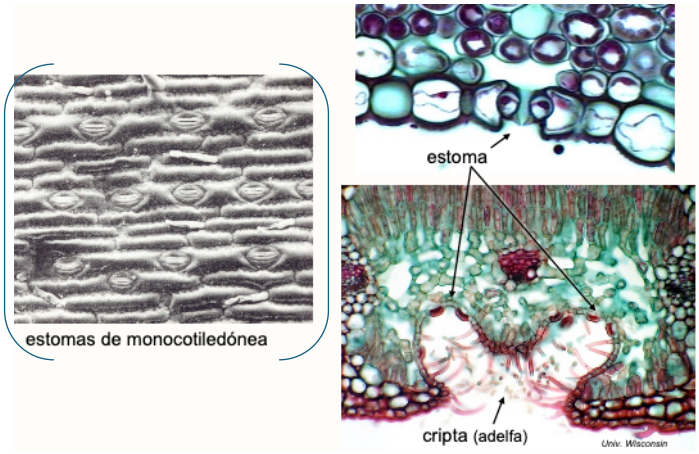


1. **Epidermis (superior e inferior)**:
   - Capa protectora.
   - Puede presentar cutícula, tricomas y estomas.
2. **Mesófilo**:
   - **Parénquima en empalizada**: células alargadas y ordenadas; principal zona de fotosíntesis.
   - **Parénquima esponjoso**: células irregulares con espacios intercelulares que facilitan el intercambio gaseoso.
3. **Haces vasculares (nervios)**:
   - Recubiertos por una **vaina de células** (vaina vascular).
   - Transportan agua (xilema) y productos fotosintéticos (floema).

Esta organización corresponde al modelo típico de hoja de **dicotiledónea**.

🔷 Estomas

- Son **poros regulables** por dos células oclusivas.
- Permiten el **intercambio de gases** (entrada de CO_2, salida de O_2 y vapor de agua).



Ejemplos:

- **Monocotiledóneas**: estomas dispuestos en filas regulares.
- **Criptas estomáticas**: en plantas xerófitas como la **adelfa**, donde los estomas están hundidos para reducir la pérdida de agua.

🔷 Tipos de mesófilo (tejido que se encuentra entre las epidermis del haz y del envés de las hojas)

Según la distribución de tejidos fotosintéticos:

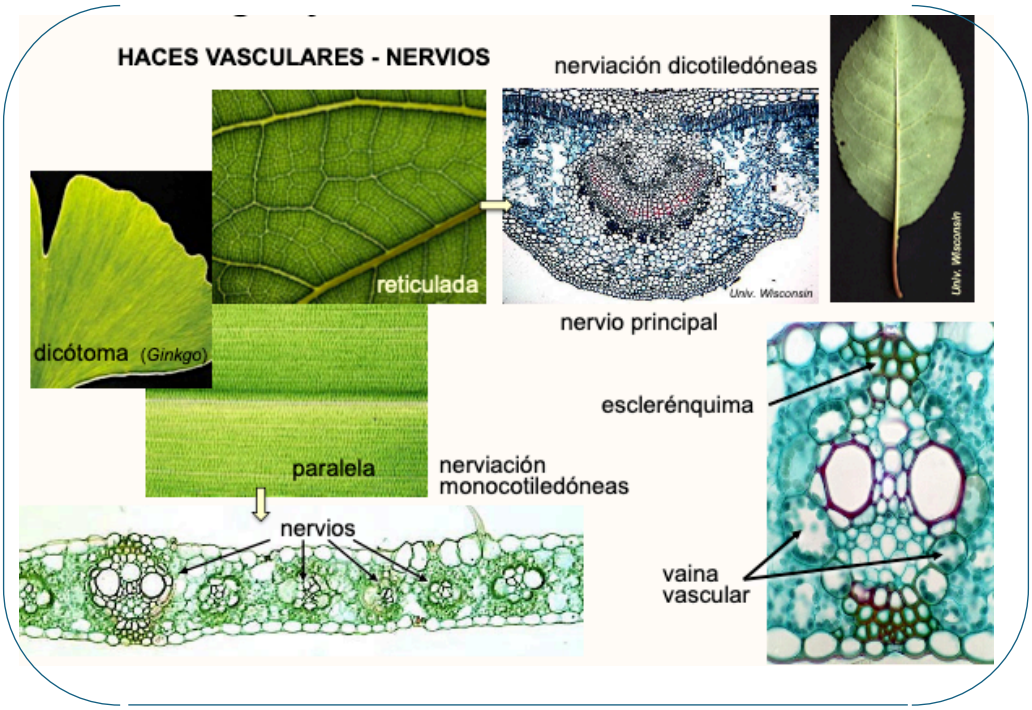
- **Dicotiledóneas**: mesófilo diferenciado en empalizada y esponjoso.
- **Monocotiledóneas (ej. maíz)**: **parénquima indiferenciado** (todas las células similares).
- Esto se relaciona con las diferencias en **forma y función foliar**.

🔷 Nerviación y haces vasculares (pág. 19)

Los haces vasculares están reforzados por **esclerénquima** para sostén y protección.

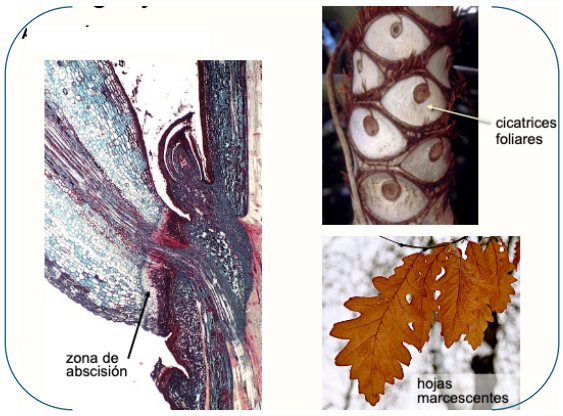
Las hojas presentan distintas **disposiciones del sistema vascular**:

TIPO DE NERVIACIÓN	GRUPO VEGETAL	CARACTERÍSTICAS
Paralela	Monocotiledóneas	Nervios paralelos (ej. maíz, gramíneas)
Reticulada	Dicotiledóneas	Nervios ramificados en red
Dicótoma	*Ginkgo biloba*	Nervios que se bifurcan repetidamente



Abscisión foliar

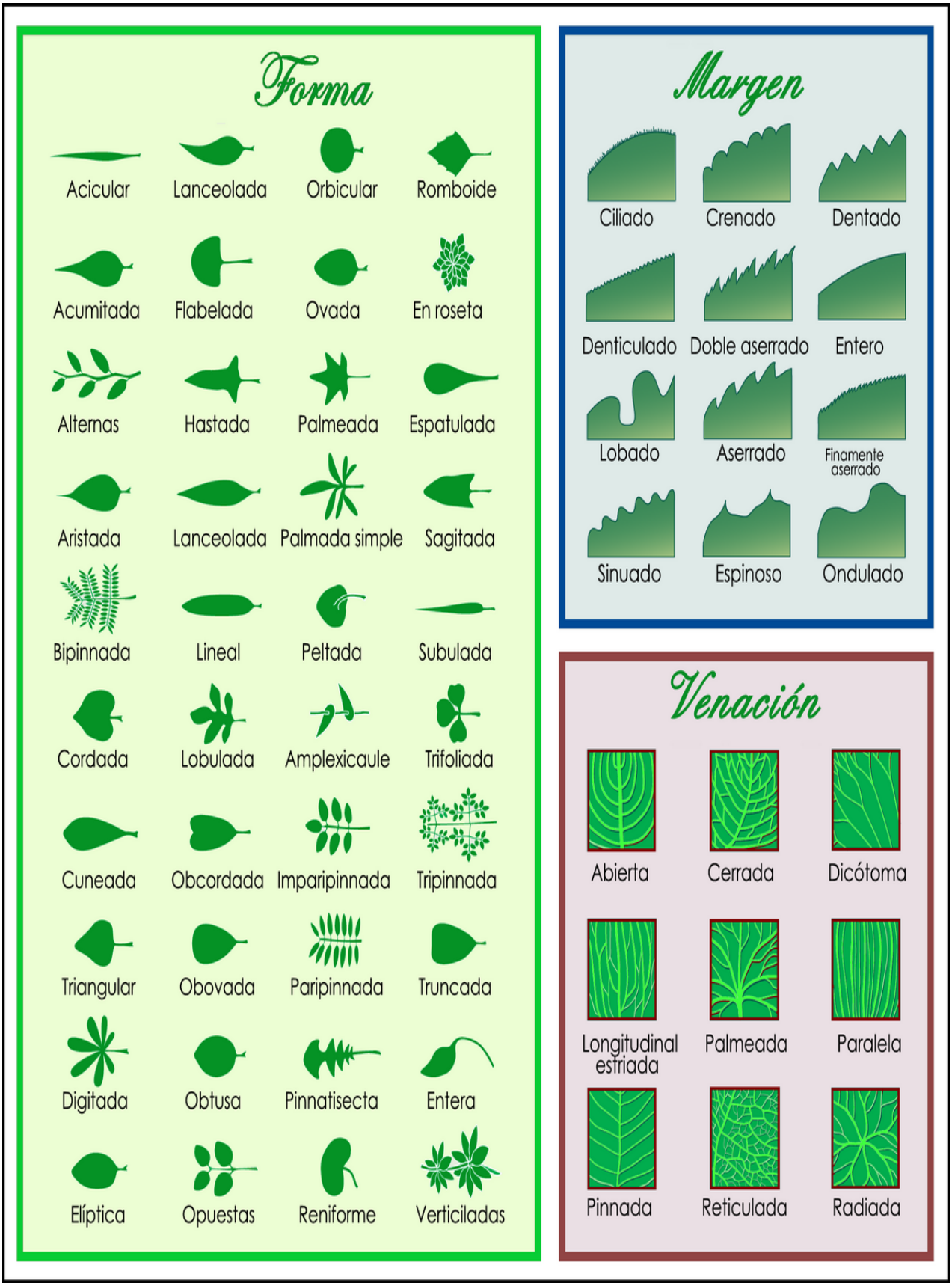
- La **abscisión** es la caída natural de las hojas. No es simplemente que la hoja se caiga porque está vieja o débil; es un proceso cuidadosamente regulado por la planta para su supervivencia y beneficio.



Esta estrategia está impulsada por varios motivos:

- **Conservación de agua:** En climas fríos o secos, las hojas transpiran mucha agua. Al desprenderse de ellas, la planta reduce drásticamente la pérdida de agua, evitando la deshidratación y el daño por congelación en invierno.
- **Ahorro de nutrientes:** Antes de la abscisión, la planta recupera nutrientes valiosos (como nitrógeno, fósforo, potasio) de las hojas moribundas y los transporta a las partes perennes (tallos y raíces) para su almacenamiento y uso en la siguiente temporada de crecimiento. Esto se observa en el cambio de color de las hojas en otoño, que se debe a la degradación de la clorofila y la revelación de otros pigmentos.
- **Eliminación de residuos:** Las hojas acumulan productos de desecho metabólicos y toxinas a lo largo de su vida. La abscisión es una forma de deshacerse de estos compuestos perjudiciales.
- **Reducción de daños:** Las hojas dañadas por insectos, patógenos o condiciones ambientales adversas pueden ser desprendidas para prevenir la propagación de enfermedades o el gasto inútil de recursos en su reparación.
- **Preparación para la dormancia:** En regiones templadas, la abscisión foliar es parte del proceso de preparación para el período de dormancia invernal, donde la planta reduce su actividad metabólica.
- Ocurre en una **zona de separación** especializada (zona de abscisión), que deja una **cicatriz foliar** en el tallo.

NOMENCLATURA DE LAS HOJAS



3.1. ADAPTACIONES FUNCIONALES DE HOJAS Y TALLOS

Las plantas han ido realizando modificaciones estructurales que las permite adaptarse a distintos ambientes y funciones.

Veamos esas adaptaciones:

Zarcillos

Son estructuras alargadas que permiten a la planta **sujeción y trepado**:

- **Zarcillos caulinares**: derivados del tallo. Ej.: *Vitis vinifera* (vid).



zarcillo caulinar bífido



zarcillo foliar (leguminosa)

- **Zarcillos foliares**: derivados de hojas o foliolos. Ej.: leguminosas como el guisante (*Pisum*).

- **Zarcillos bífidos y adhesivos**: como en *Parthenocissus* (parra virgen), con ventosas.



zarcillos caulinares "adhesivos"

Órganos fotosintéticos modificados

- **Cladodios**: tallos fotosintéticos planos. Ej.: *Asparagus*.
- **Filoclados**: tallos en forma de hoja. Ej.: *Ruscus*.
- **Filodios**: peciolos ensanchados que sustituyen al limbo. Ej.: *Acacia*.
- **Hojas trampa**: especializadas en atrapar insectos. Ej.: *Nepenthes aculeatus*.







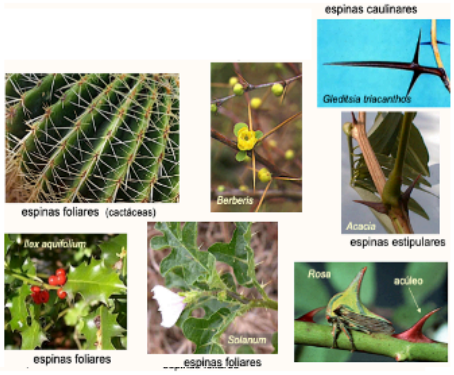




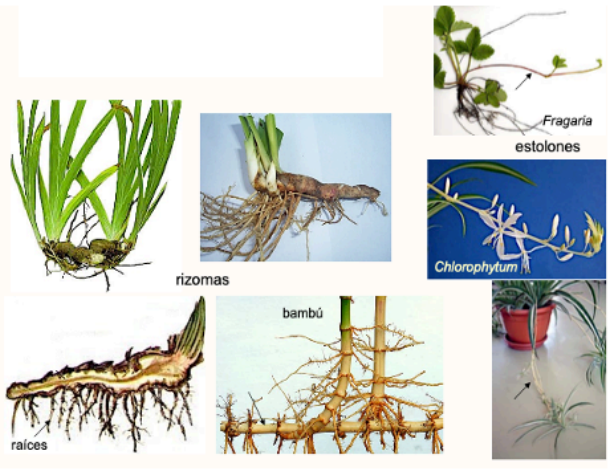
Espinas

Estructuras defensivas con origen diverso:

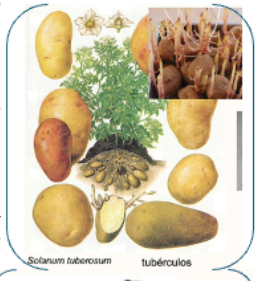
TIPO DE ESPINA	EJEMPLOS
Foliar	*Ilex aquifolium* (acebo), cactáceas
Estipular	*Acacia*
Caulinar (tallo)	*Gleditsia triacanthos*
Acúleos (no verdaderas)	*Rosa*, *Solanum* (superficiales, fácilmente desprendibles)

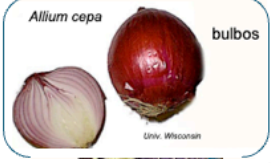


Órganos de reproducción vegetativa o reserva



- **Rizomas**: tallos subterráneos horizontales. Ej.: *Bambú*.
- **Estolones**: tallos rastreros que emiten raíces. Ej.: *Fragaria* (fresa).
- **Tubérculos**: tallos engrosados con yemas: *Solanum tuberosum*-patata.
- **Bulbos**: tallos con hojas carnosas: *Allium cepa* (cebolla), *Crocus*.
- **Bulbos macizos y aéreos**: como en *Gladiolus* y *colinabo*.

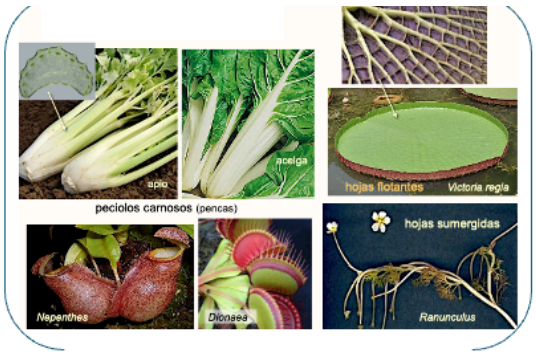




Otras adaptaciones de hojas

- **Peciolos carnosos**: hojas modificadas para reserva: *Acelga*, *Apium graveolens* (apio).
- **Hojas carnívoras**: *Nepenthes*, *Dionaea* atrapamoscas.





- **Hojas flotantes /sumergidas**: *Victoria regia*, *Ranunculus aquatilis*.
- **Hojas suculentas**: especializadas en **almacenar agua**: *Sedum*, *Agave*, *Lithops*, *Pachycereus*.

→ Todas estas adaptaciones muestran la **versatilidad morfológica de las plantas**, y cómo transforman sus órganos para **sobrevivir, defenderse o reproducirse** en distintos ambientes.
