

Briofitas



Antoceros

A photograph of a moss plant with long, thin, upright green leaves growing from a brown, textured base.



Musgos

A photograph of a dense, bright green moss carpet covering a dark, textured rock surface.



Hepáticas

A photograph of liverworts with flat, green, lobed leaves growing in a dense cluster.

*Farmacobotánica
Facultad de Cs. Naturales y Cs. de la Salud
Departamento de Biología y Ambiente
U.N.P.S.J.B*

Sistemática:
estudio científico de la diversidad de los organismos y de sus interrelaciones
'Interpretar la diversidad orgánica'

Taxonomía

Filogenia

Clasificación

Estudio teórico de la clasificación

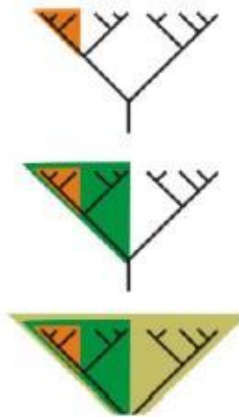
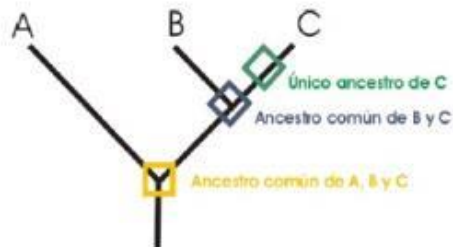
Establecer las relaciones de parentesco entre las especies

Ordenar las especies de acuerdo a su filogenia

Descubrir y Describir

especies o grupos de especies

(= TAXA)

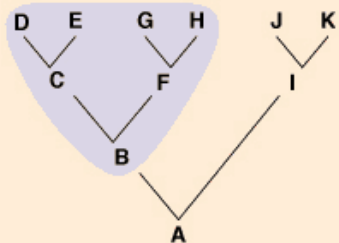


Árbol filogenético es un árbol que muestra las relaciones evolutivas entre varias especies u otra entidad que se cree tienen ascendencia común

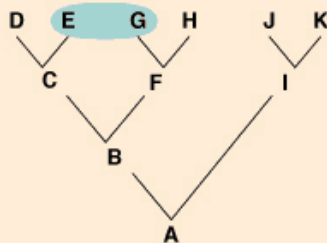
monofilético si todos los organismos incluidos en un grupo han evolucionado a partir de una población ancestral común, y todos los descendientes de ese ancestro están incluidos en el

Un grupo que contiene algunos pero no todos los descendientes del ancestro común más reciente se llama **parafilético**, y un grupo taxonómico que contiene organismos pero carece de un ancestro común se llama **polifilético**.

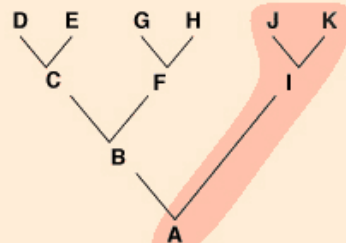
Taxón 1
Monofilético



Taxón 2
Polifilético



Taxón 3
Parafiletico



Cavalier-Smith (1998) el factor más importante en la evolución de las plantas está en el **origen de la primera célula vegetal por simbiogénesis** entre un **protozoo heterótrofo fagótrofo biflagelado** y una **cianobacteria**.

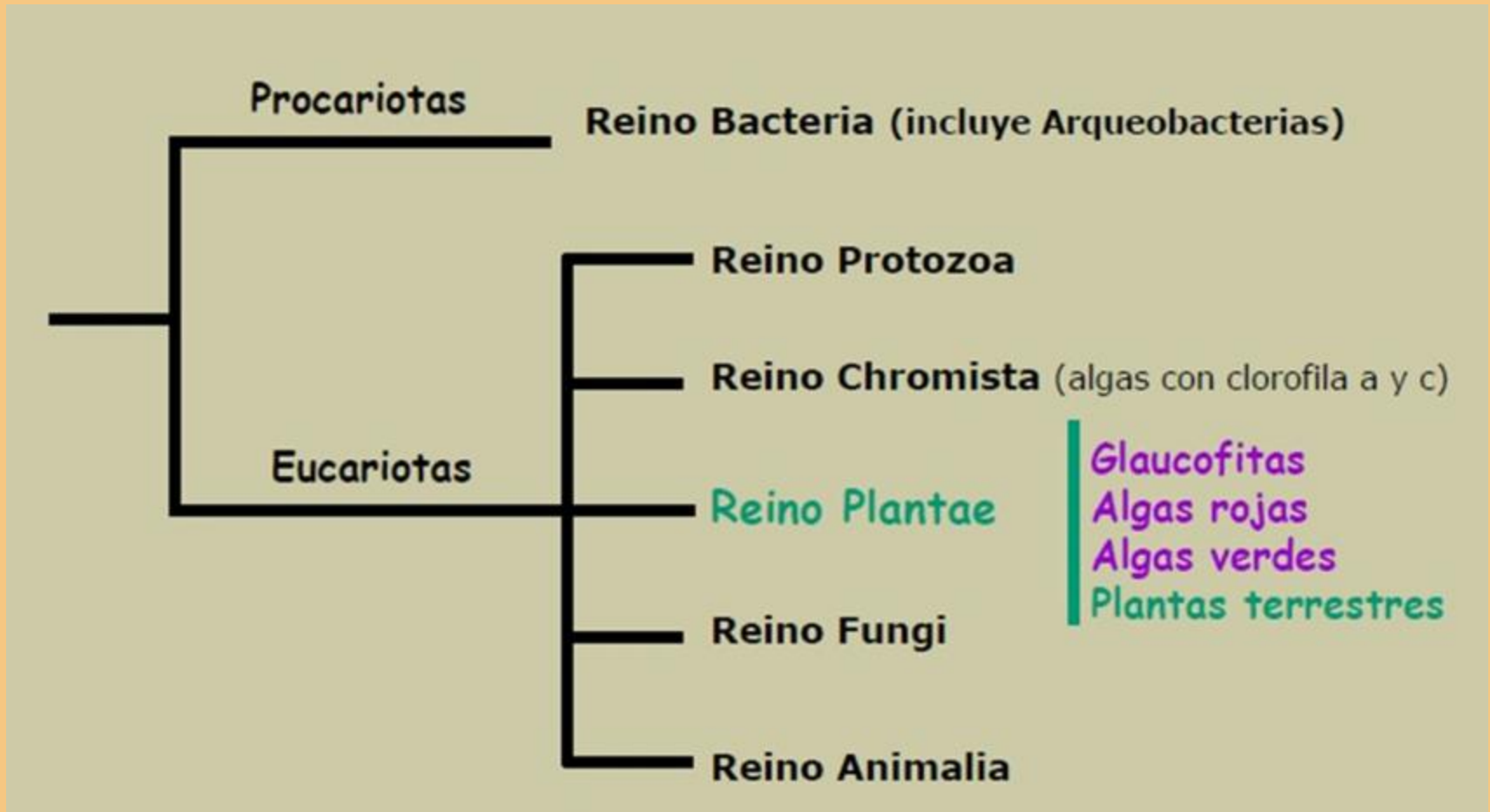


En este proceso de endosimbiosis se origina el primer cloroplasto.

El más antiguo ancestro eucariota fotosintético que incorporó al primer cloroplasto.

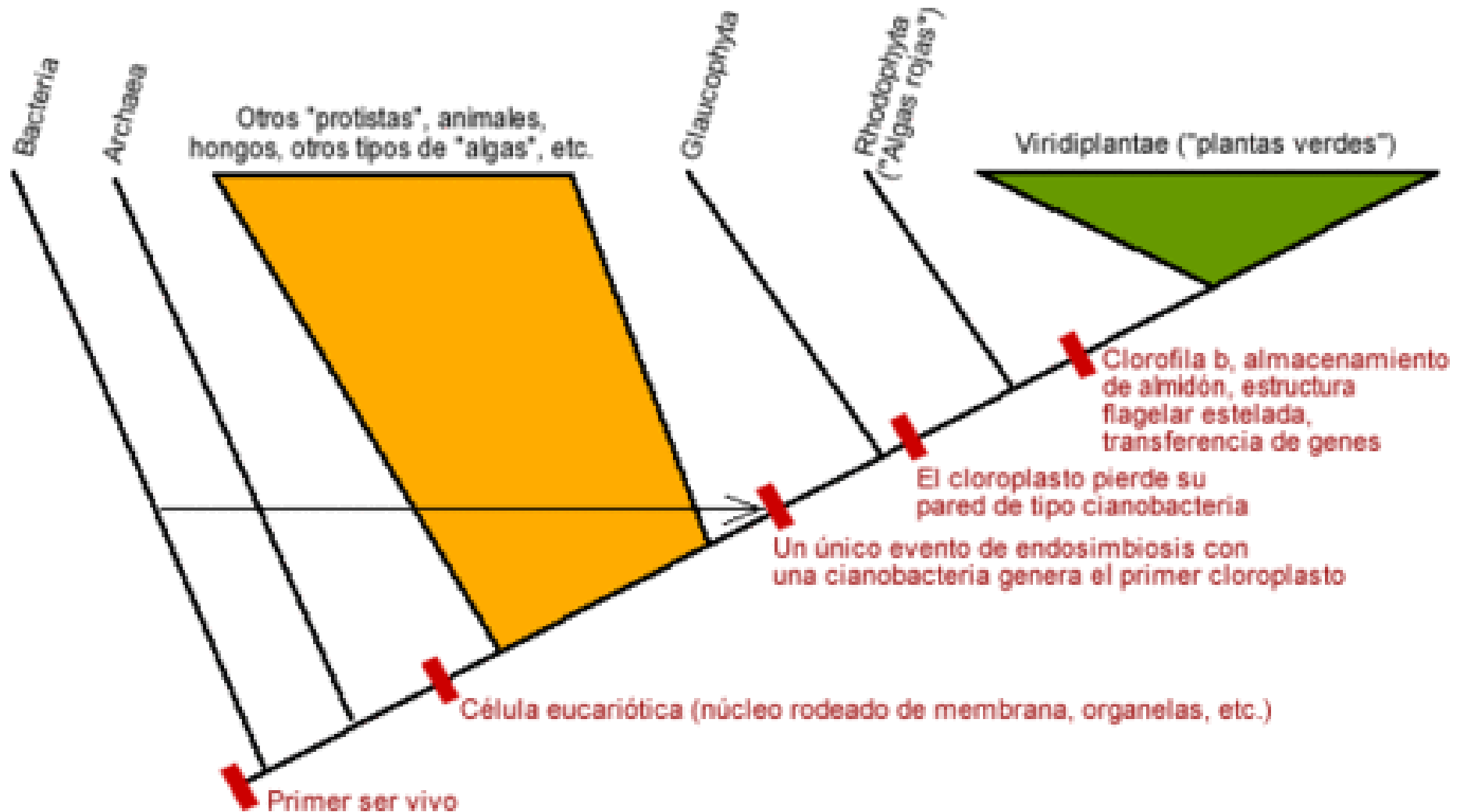
Primoplantae o Archaeplastida

Este primer organismo eucariota fotosintético representa al ancestro del reino Plantae y es llamado **Primoplantae** (primera "planta" sobre la Tierra) o **Archaeplastida** (el antiguo plasto), cuyo clado monofilético involucra las plantas verdes, algas rojas y glaucofitas.



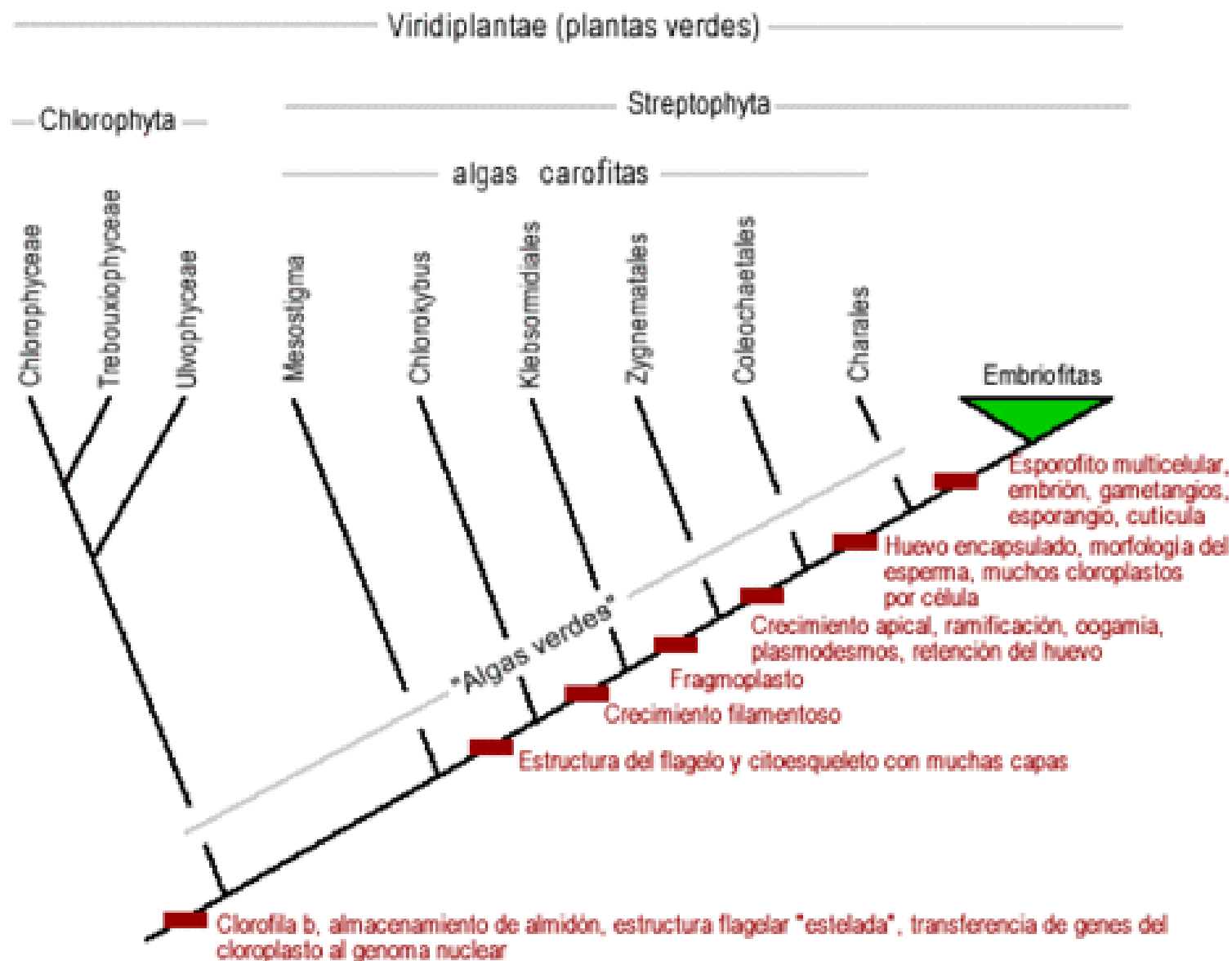
Vida

Eukarya



Dibujado y traducido a partir de Judd et al. 2002

Árbol filogenético del reino Plantae, nótese los eventos de adquisición del cloroplasto, que precedieron a la aparición de las "plantas verdes".



Dibujado y traducido al español a partir de Judd *et al.* (2002)

Viridiplantae está compuesto por dos clados (grupos monofiléticos), que son las clorofitas y las estreptofitas, entre las últimas se encuentran las plantas terrestres o embriofitas, y las algas verdes más emparentadas a ellas, que comparten un antecesor común con ellas.

Clado Streptophyta

- ✖ Clado (grupo monofilético) de Viridiplantae que comprende a las plantas terrestres y a las algas carofitas.
- ✖ Las relaciones entre los grupos de Streptophyta fueron confirmadas por los estudios moleculares (Karol et al. 2001), incluyendo información ultraestructural, y el análisis multigenético de ARNr 18S, plástido, mitocondrial, de intrones y secuencias del genoma.
- ✖ Fines de 1960, estudios detallados de la ultraestructura de la división celular reveló diferencias importantes en las "algas verdes".
- ✖ Algunas se dividían con cierta característica muy distinta, que sólo había sido encontrada en las plantas terrestres
- ✖ **Orientación diferente de los microtúbulos (huso mitótico), de tipo fragmoplasto**, encontrada en todas las plantas terrestres. En ellas el huso está orientado en forma perpendicular a la formación de la pared celular (Pickett-Heaps 1979, Mattox y Stewart 1984, McCourt 1995).
- ✖ Esta forma de división celular ("condición fragmoplástica"), ocurría en las algas charofíceas, hoy los órdenes Coleochaetales y Charales.

- ✗ Los **órganos reproductivos de las charales** tienen la **mayor aproximación a las briofitas**:
 - órgano femenino (ovogonia)**
 - masculino (anteridio)**
 - huevo fertilizado (cigoto)**, muy resistente a condiciones adversas de frío y sequedad
 - las esporas, nunca son flageladas** como en las plantas terrestres.

- ✗ Similitud a nivel de **síntesis de polisacáridos** como el **xilano**,
- ✗ en la **morfología del anterozoide**,
- ✗ en la **cantidad múltiple de cloroplastos por célula**,
- ✗ en el **tejido protector del huevo** y en el **desarrollo macroscópico**.

PLANTAS TERRESTRES (EMBRYOPHYTA)

- ✕ Clado (grupo monofilético) formado por los descendientes de ciertas algas verdes, que se caracterizan por poseer una serie de adaptaciones para la vida fuera del agua, y que son por lo tanto los responsables de la colonización de la tierra por parte de las plantas.

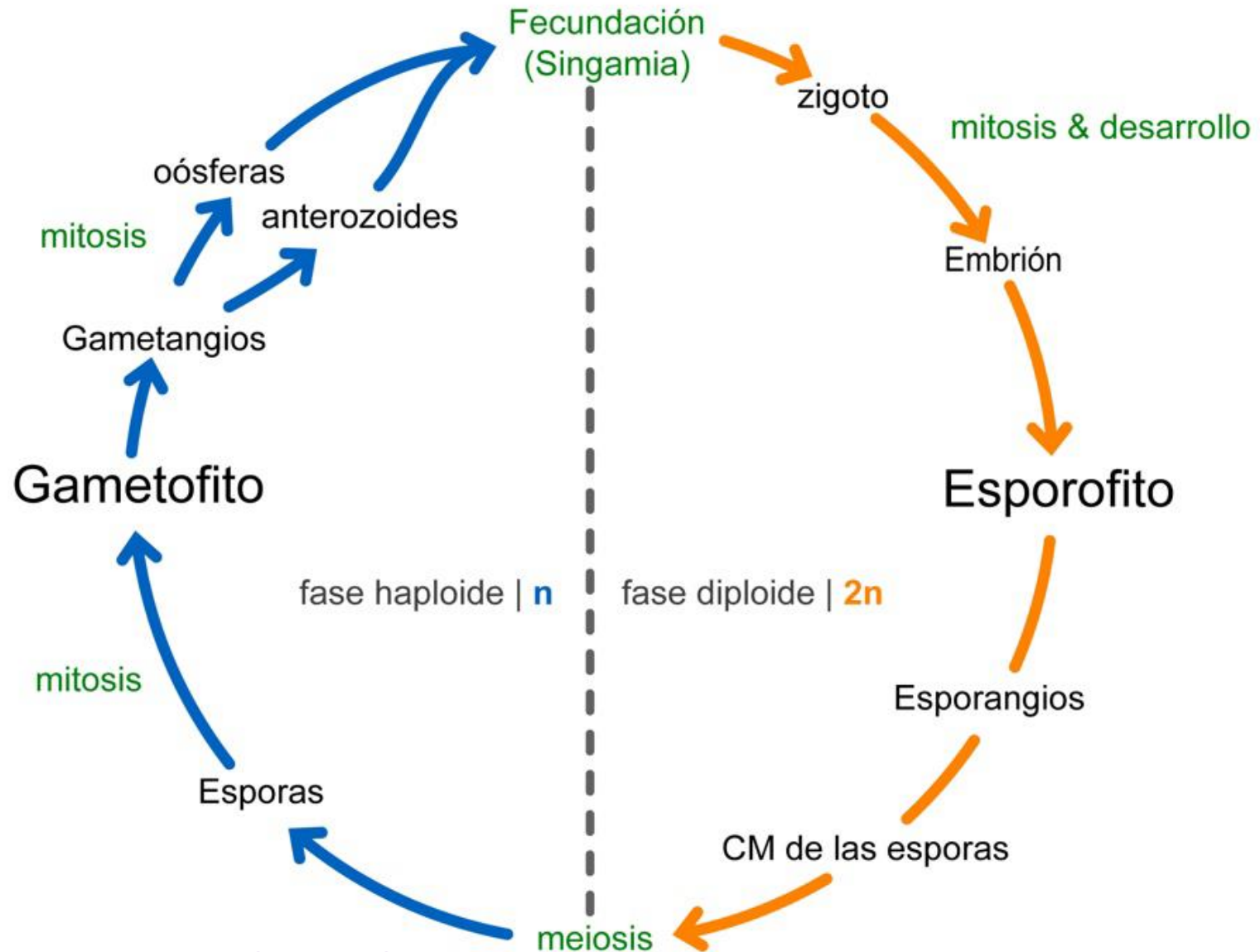
El clado comprende a todas las plantas terrestres: briofitos, licopodios, helechos y plantas con semilla

Las embriofitas poseen un **ciclo de vida haplo-diplonte**, es decir que poseen dos generaciones alternadas de individuos: el **esporofito $2n$** y el **gametofito n** .

En las plantas terrestres actuales, el esporofito y el gametofito son muy diferentes entre sí "**alternancia de generaciones heteromórfica**"

El nombre Embryophyta proviene de su característica etapa de embrión por la que pasa el esporófito diploide

Alternancia de Generaciones en el ciclo biológico de una planta

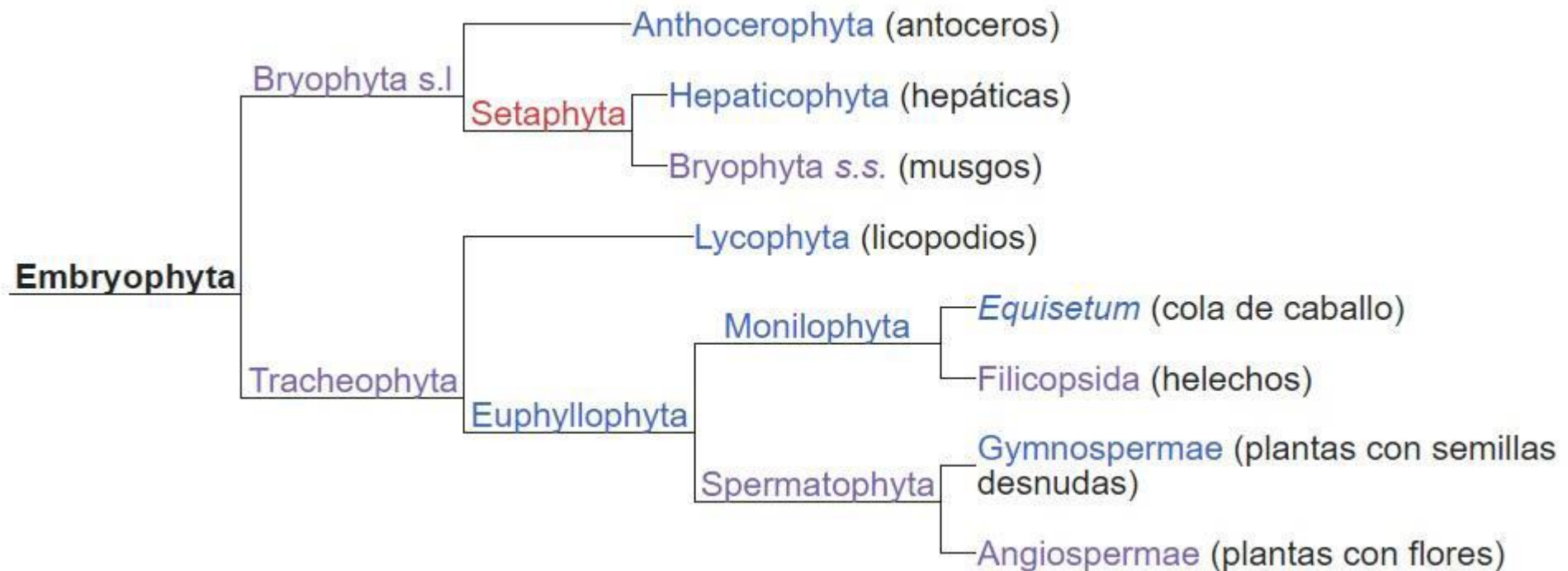


CICLO DE VIDA HAPLO-DIPLONTE

PLANTAS TERRESTRES = EMBRYOPHYTA

- ✗ Descendientes de algas verdes multicelulares de agua dulce (Charophyta), y al poblar la tierra marcaron el hito más importante de la evolución y la diversidad biológica terrestre.
- ✗ **Esporas fósiles** con afinidades a las esporas de las **actuales hepáticas**, es la evidencia fósil que colonizaron la tierra en el **Ordovícico Medio**, hace unos **472 Ma** y se inició en la **parte occidental del continente Gondwana (Argentina)**.

EMBRYOPHYTES



Los correspondientes grupos paratéticos son:

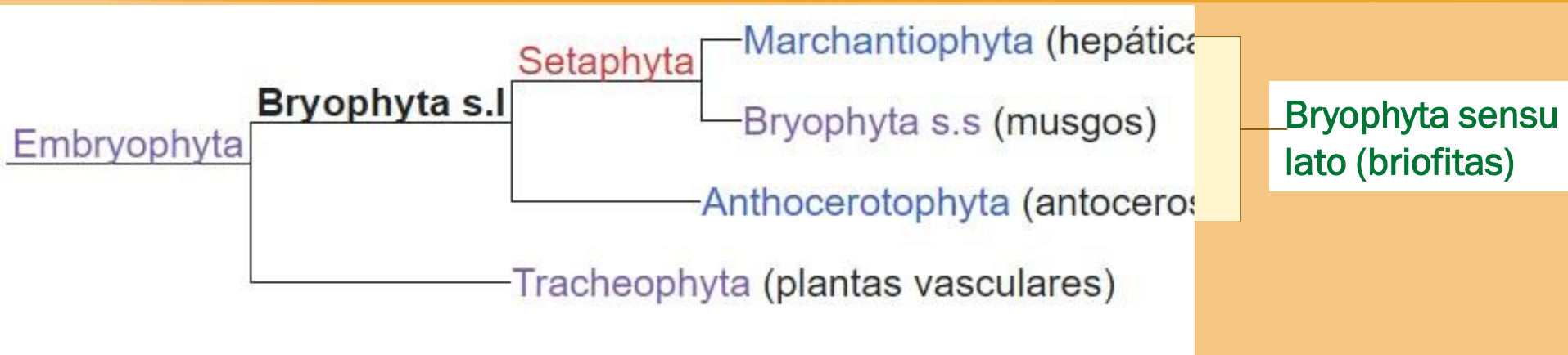
- **Bryophyta s.l.**, que incluye a las hepáticas, musgos y antoceros.
- **Pteridophyta**, que comprende a los lycopodios, equisetos y helechos.



PLANTAS TERRESTRES
HEPATOPHYTA
BRYOPHYTA
ANTHOCEROPHYTA

El término Bryophyta ha caído hoy en ambigüedad, por lo que es preferible especificar si es sensu lato o sensu stricto.

Árbol filogenético (2014)



Modelo basado en la mayoría de las filogenias moleculares, indica a las briofitas como un grupo monofilético. Actualmente existe una fuerte evidencia de que las hepáticas y los musgos pertenecen a un clado monofilético, llamado **Setaphyta**

Los tres linajes carecen de tejido vascular que contenga lignina y esporofitos ramificados con múltiples esporangios. La prominencia del gametofito en el ciclo de vida es también una característica compartida de la briofitas

-El consenso actual entre los especialistas es que los briofitos representan a las plantas actuales mas relacionadas con el ancestro de todas las embriofitas. ¡

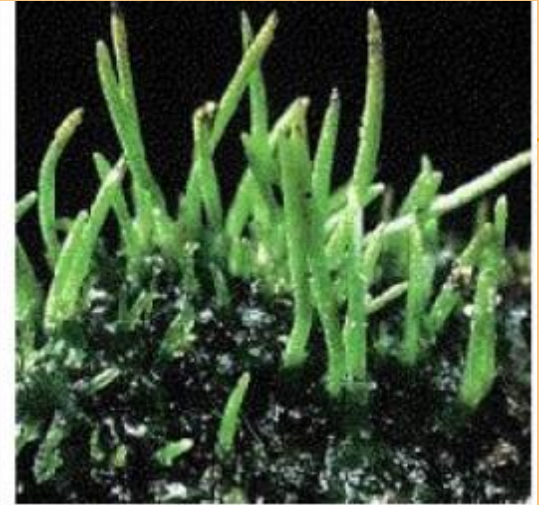
BRYOPHYTA

- ✗ Primeras plantas terrestres con la aparición del esporofito multicelular, fase diploide ($2n$) de la alternancia de generaciones.
- ✗ Adaptaciones a la vida terrestre:
 - cutícula (esporofito)
 - esporopolenina (espora)
 - flavonoides (protegen contra la radiación ultravioleta, más intensa fuera del agua)

Clasificación : los musgos pertenecen a la División o Phylum *Bryophyta*, la que está conformada por 3 clases:

- Clase *Anthocerotae* ó *Anthocerotopsida*, llamados antocerotas o antocerotes
- Clase *Hepaticae* o *Hepaticopsida*, conformado por las llamadas hepáticas
- Clase *Musci* o *Bryopsida*, llamados musgos.

BRIOFITAS



- Son plantas embrionarias no vasculares que incluyen musgos, hepáticas y antoceros.
- Crecen en zonas húmedas sobre el suelo, troncos de árboles y rocas.
- Tienen un cuerpo sencillo, carecen de raíces y pueden absorber el agua por toda la superficie del cuerpo.
- Poseen dos generaciones pluricelulares en su ciclo vital (gametofito y esporofito)
- Presentan gametangios femeninos (arquegonios) y masculinos (anteridios).
- El embrión se desarrolla protegido dentro del gametangio femenino
- Todas las especies de briofitos se caracterizan por la alternancia de generaciones. Predomina el gametófito, verde y fotoautótrofo sobre el esporófito.

- ✓ En su cuerpo se distinguen 3 partes: rizoide, caulidios y filidios, análogos (pero no homólogos) a la raíz, tallo y hojas de las plantas cormofitas
- ✓ Su tamaño varía desde microscópico a los 30 cm, el briofito medio tiene una longitud entre 1,2 y 5 cm.
- ✓ Cloroplastos con clorofila a y b, α y β carotenos, xantofilas (luteína, criptoxantina)
- ✓ Sustancia de reserva: almidón
- ✓ paredes celulares de celulosa
- ✓ Cutícula muy fina (vegetales poiquilohidros)
- ✓ El gametofito carece de estomas (excepto en antocerotópsidas). En ocasiones existen aberturas respiratorias para el intercambio de gases (en marchantiales)
- ✓ Sólo en ciertas hepáticas talosas y en los antocerotes, los anteridios y arquegonios se hallan empotrados en el talo.
- ✓ Algunas especies de briofitos son acuáticas, y otras pueden sobrevivir en zonas áridas y secas.
- ✓ Los briofitos más primitivos, las hepáticas, tienen cuerpos planos, algunas veces sólo del espesor de una célula

Gametofito, primeras fases:

protonema (fase filamentosa reducida) El **protonema** de los musgos es verde y ramificado



Gametofito adulto:

Taloso - plano y poco diferenciado externamente, lobulado, dicotómico, con rizoides en la cara inferior. Internamente simple o complejo



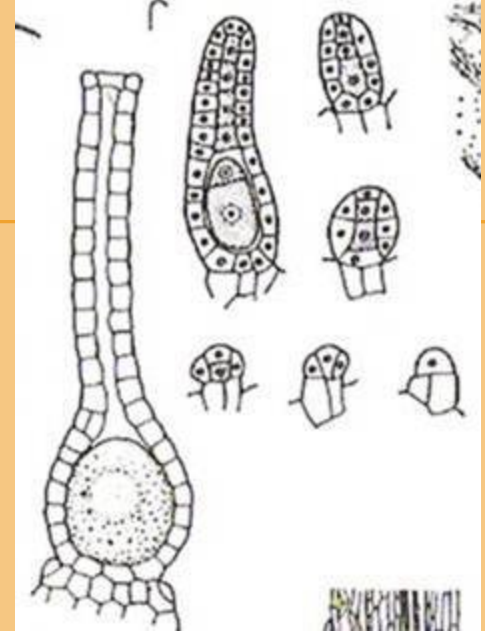
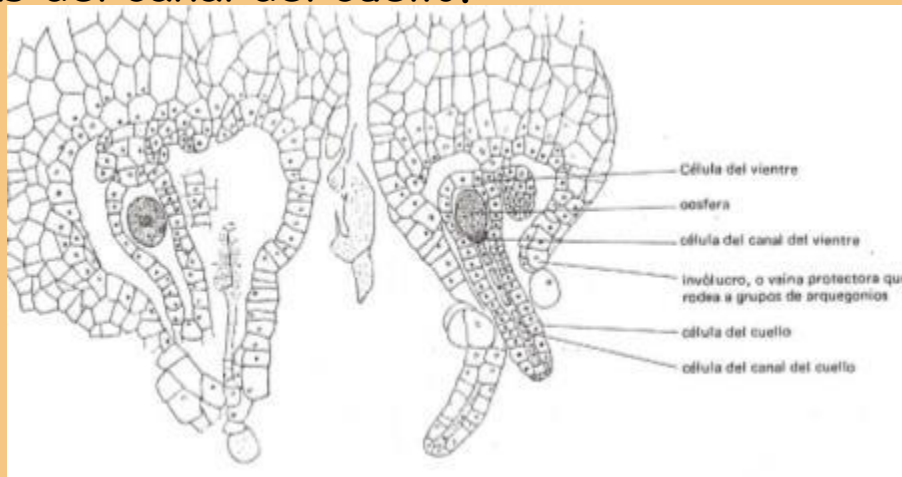
Folioso - diferenciado en caulidio, filidio y rizoides. Internamente puede ser complejo, con tejidos 'conductores' primitivos (hidroides y leptoides)



✓ Hojitas **uniestratificadas**, a excepción del nervio medio

✓ Los gametangios son multicelulares.

Arquegonios: Órganos en forma de botella, provistos de una pared constituida por una capa sencilla de células, en el que se diferencian dos partes: vientre y cuello. La porción ventral encierra la **ovocélula** y una **célula del canal del vientre**, situada en la **base del cuello**. A estas dos células siguen, las células del canal del cuello.



➤ **Anteridios:** formaciones globosas, sostenidas por un corto pedicelo. Con **numerosos espermatozoides biflagelados**

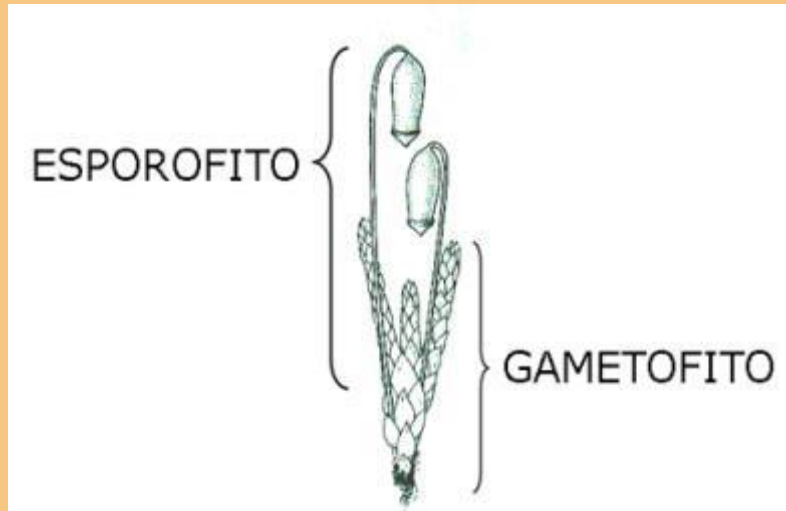
➤ **Arquegonios:** rodeados por una envoltura protectora de células estériles, tras la fecundación el cigoto desarrolla un embrión pluricelular (embriófitos)

➤ **Esporangios** presentan una capa de células estériles, puede aparecer una cutícula fina que protege a las células de la evaporación.



Generación esporofítica, diploide

Gametófito dominante haploide

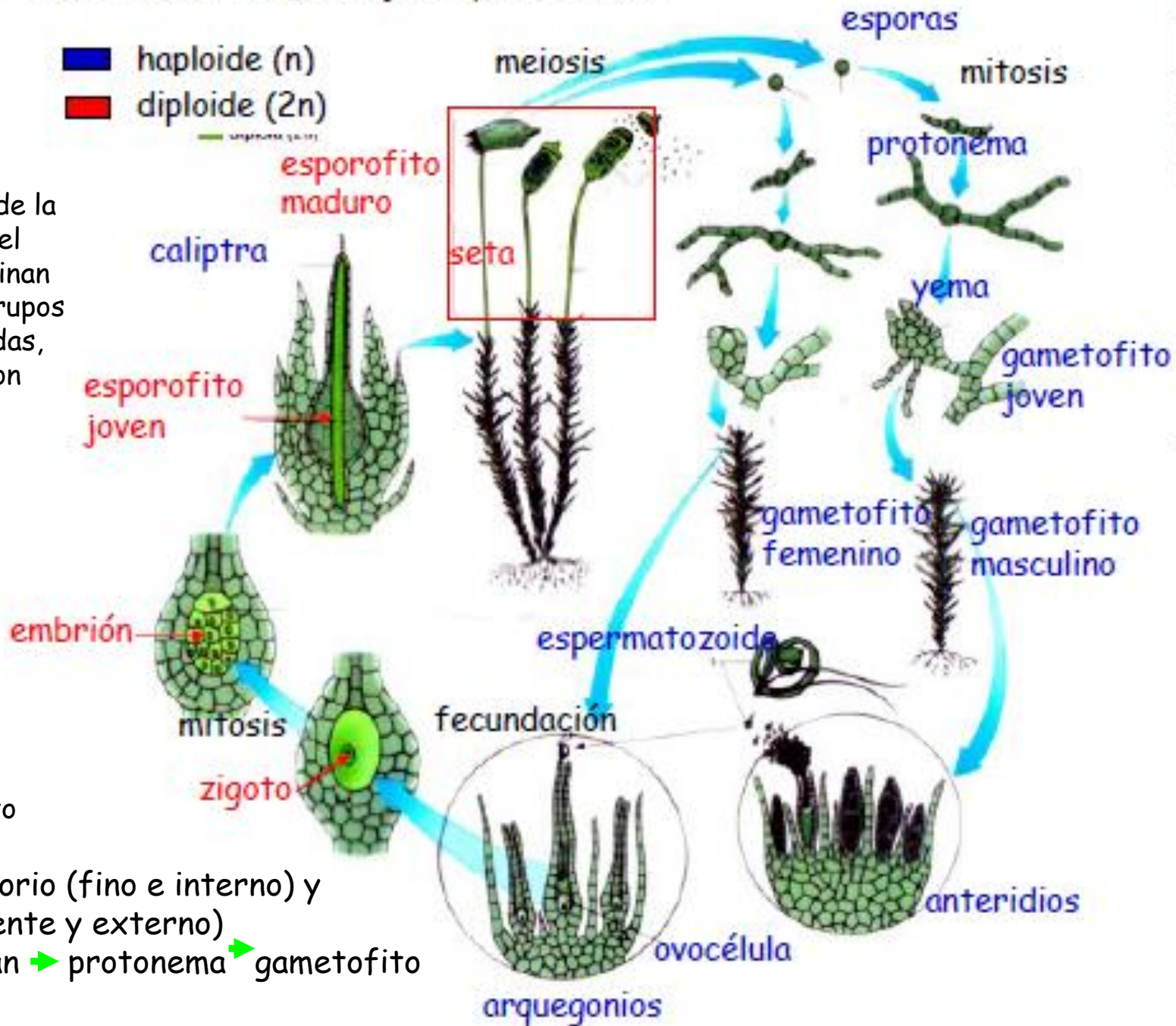


La mayor diferenciación morfológica y anatómica corresponde al gametófito

- En la filogenia, los estomas aparecen por primera vez en los briófitos, se forman casi exclusivamente en el esporófito.
- Multiplicación vegetativa por medio de propágulos.
- La forma asexual produce esporas, que son diseminadas por el viento y otros factores



Ciclo vital de un musgo (ej. *Polytrichum*)



- Del tejido interno de la cápsula esporífera, el arqueporio, se originan los meiósporas en grupos de cuatro, en tétradas, por doble división con meiosis.

- Diseminación se produce por el viento

- Esporas: endosporio (fino e interno) y exosporio resistente y externo)
- Esporas germinan → protonema → gametofito (musgo verde)



Musgo



Hepática

La fase esporofítica vive sobre la gametofítica

Clase Hepaticae o Marchantiopsida

Orden Marchantiales



Hepáticas talosas y foliosas

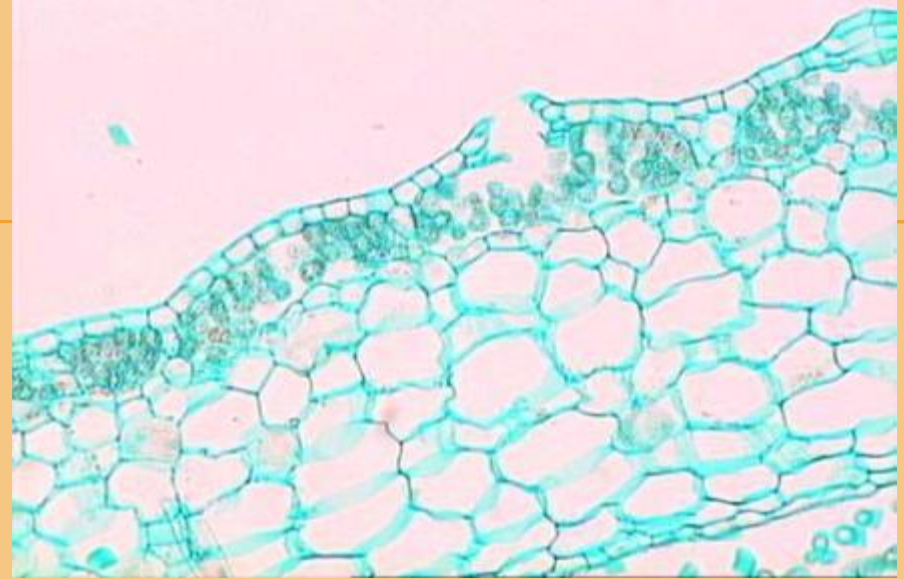
Esporofito y Gametofito individuos separados.

✓ Cuerpos oleosos (oleosomas) en las células del gametofito

✓ Eláteres

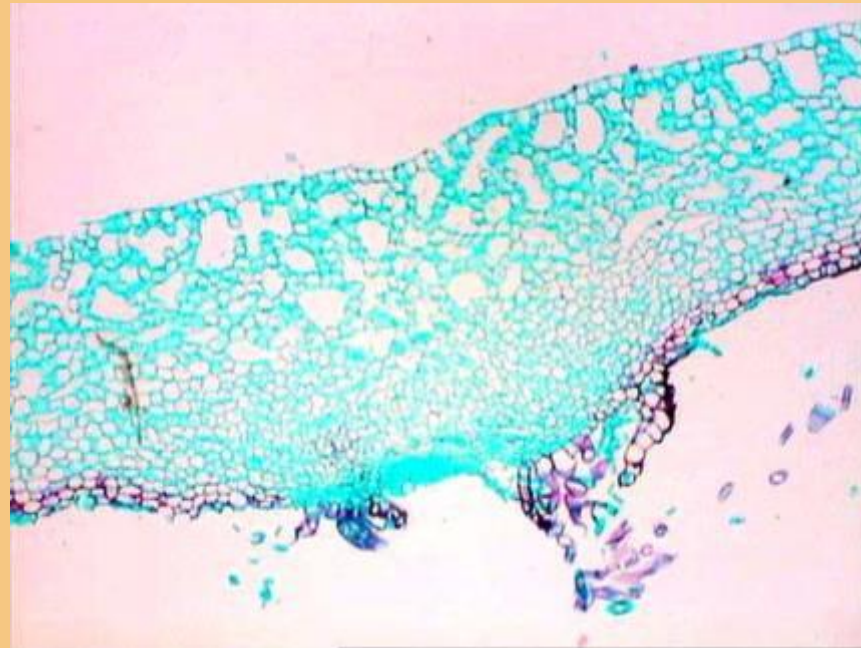
Ambientes húmedos

✓ Gametofito: talo parenquimático con simetría dorsiventral. Lado inferior: rizoides lisos y tuberculados

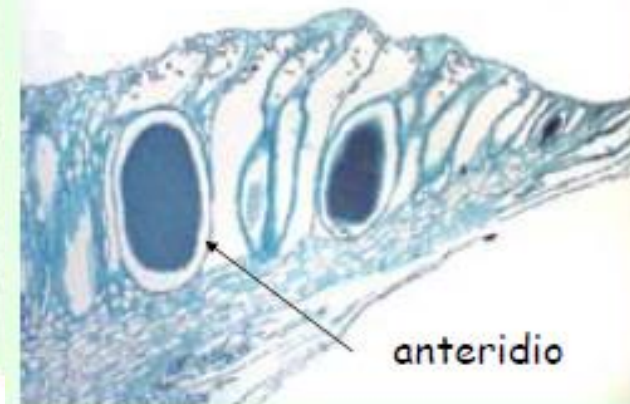
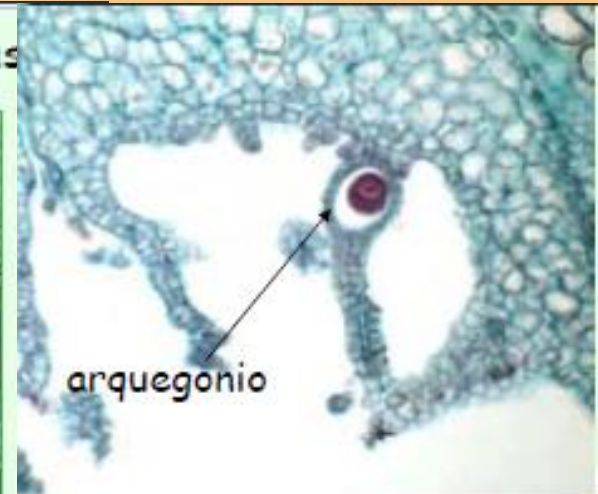
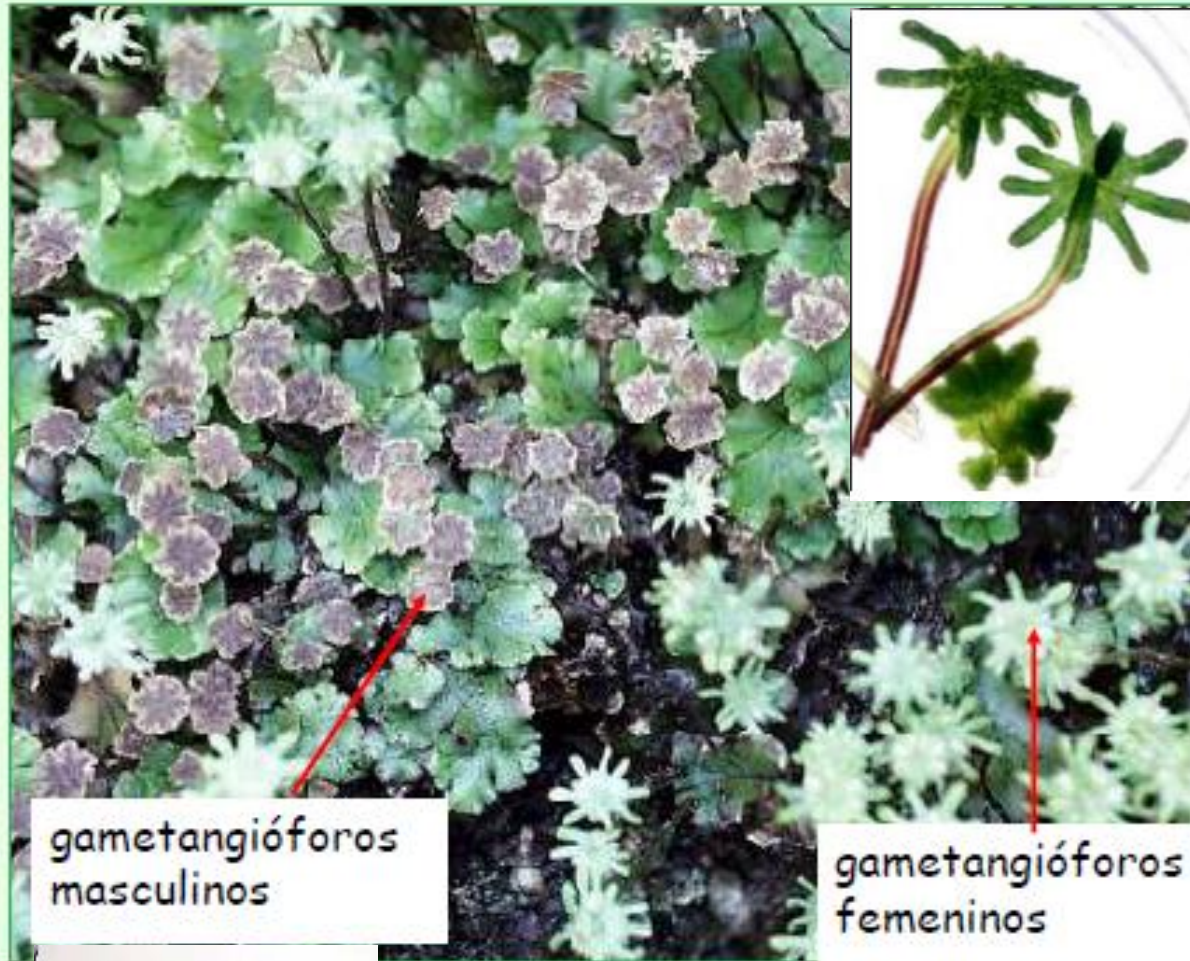


Corte de gametofito de *Marchantia* sp., Observe la epidermis superior con aberturas similares a estomas y tejido fotosintético por debajo

Corte de gametofito taloso de *Marchantia* sp. presencia de rizoides y escamas en la cara ventral, epidermis superior.



Gametofitos de Marchantia con estructuras reproductoras



✓ Anteridios (♂) y arquegonios (♀)
sostenidos por soportes = Gametangióforos.

Marchantia polymorpha - Anteridióforos.

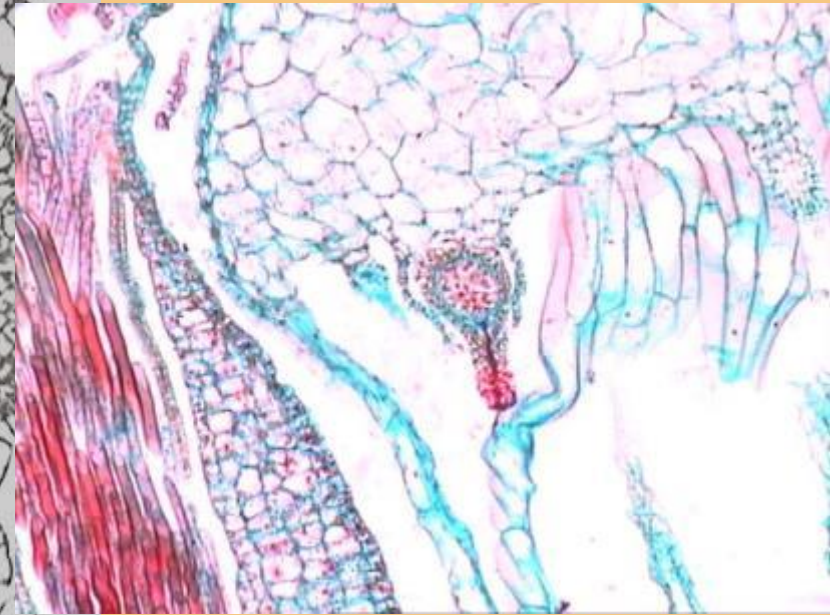


Arquegonioforos

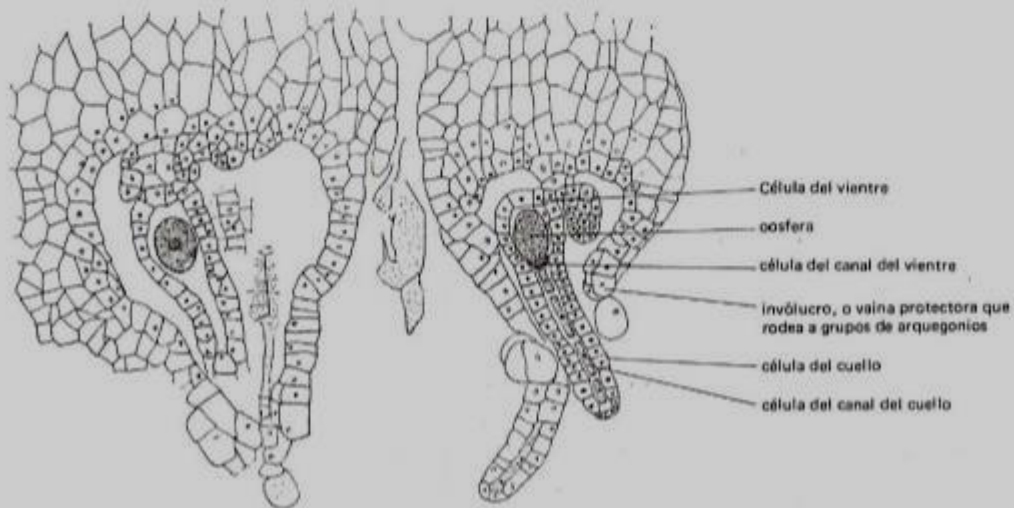




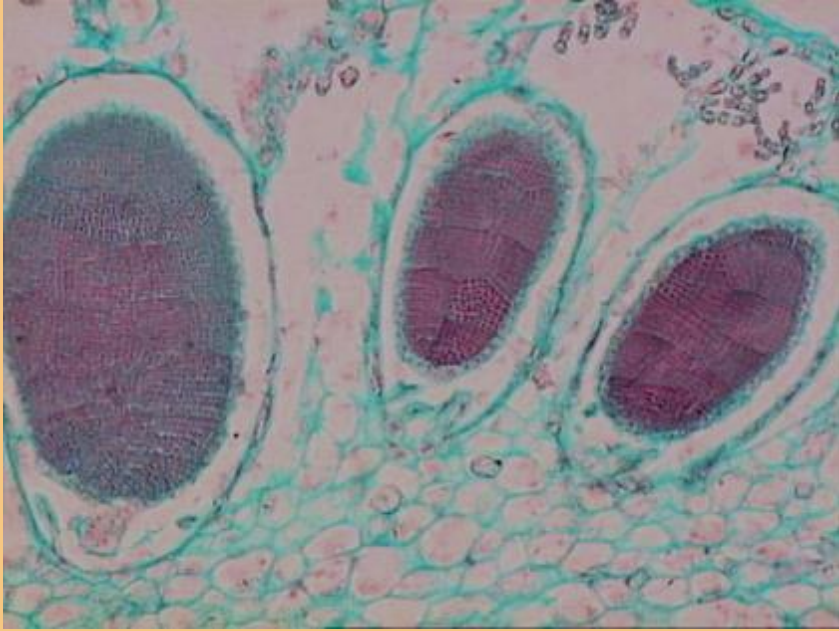
38. *Marchantia*, arquegonios, L.S. X 300



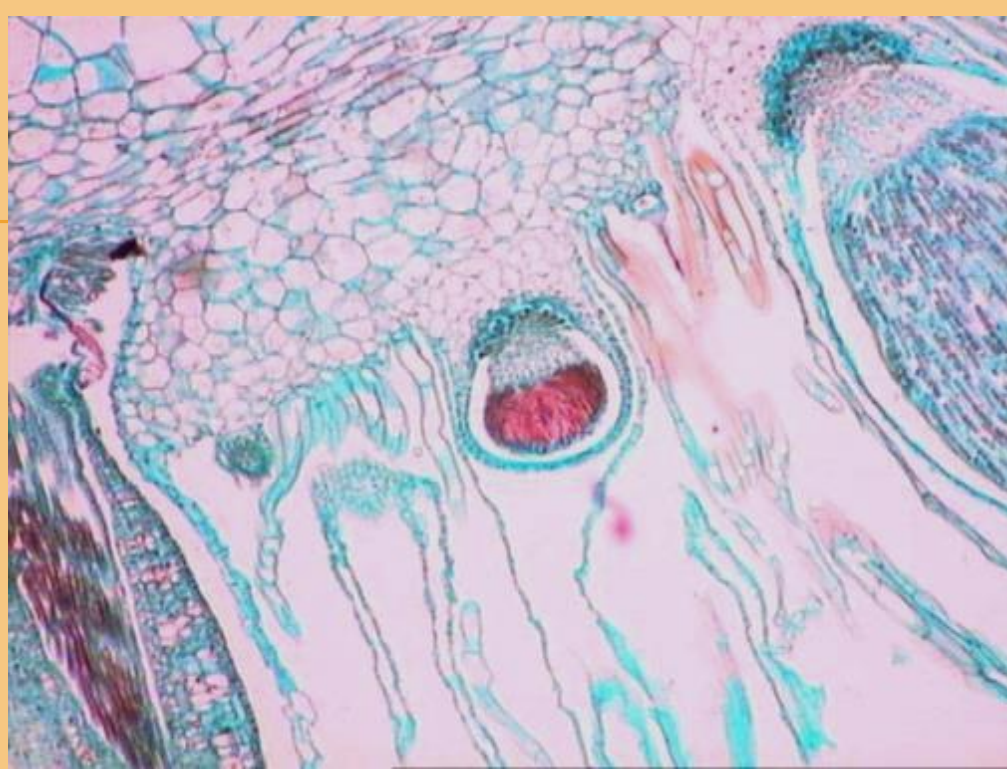
Corte de gametangióforo de *Marchantia* sp. Se observa un arquegonio



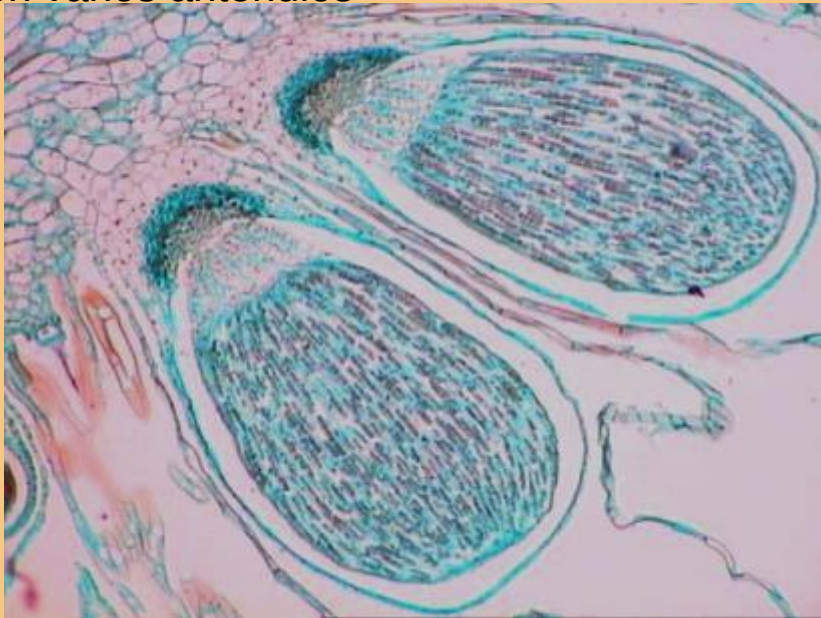
Dibujo de la preparación 38



Corte de gametangióforo de *Marchantia* sp. con varios anteridios



Corte de gametangióforo de *Marchantia* sp. en el cual ya se ha producido la fecundación. Se ve un esporofito joven, compuesto de cápsula seta y pie.



Esporofitos de *Marchantia* sp. más desarrollados rodeados por una caliptra, en la cápsula se ve el tejido esporógeno

La reproducción sexual de los briofitos implica la liberación de gametos masculinos móviles que tienen que nadar hasta los gametangios femeninos para poder fecundar el gameto femenino.



MARCHANTIOPHYTA -Musgos de la estación biológica Senda Darwin:

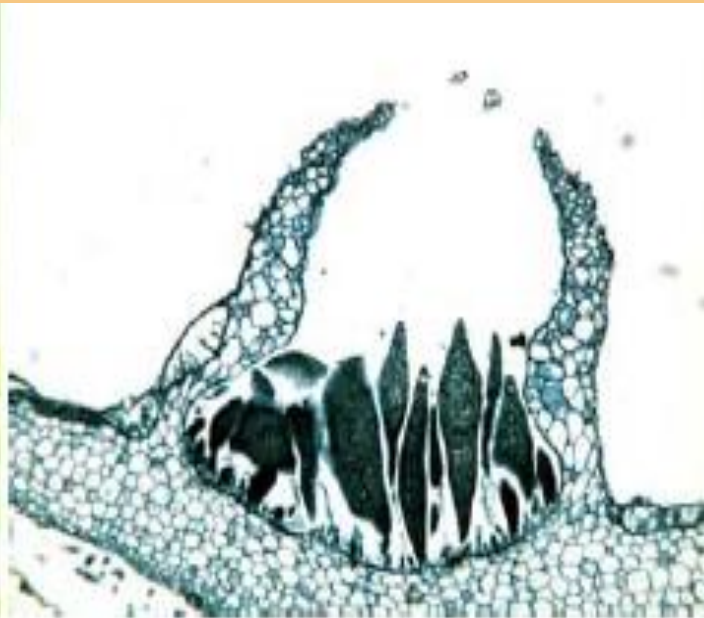
A. Gametofito de hepática foliosa (Clase Jungermanniopsida)

B. Esporofito de Jungermanniopsida

C. Gametofito de un hepática talosa (Marchantiopsida)

Fotos: J. Larraín

Reproducción asexual



Diversas formas de multiplicación asexual en hepáticas. Izquierda y centro: gemas, pequeñas estructuras en forma de copa en *Marchantia polymorpha*. Derecha: masas de gemas en el extremo de las hojitas



El esporofito tiene la forma de cuerno y continúa creciendo en la base formando esporas que maduran y se dispersan en el ápice

ANTHOCEROPHYTA - *Phaeoceros* A. Esporofitos. B. Gametofitos

Clase Anthocerotopsida

Los **antocerotopsidos** se distinguen de las **hepáticas** por las siguientes características:

- ✓ Las células del gametofito carecen de cuerpos oleoso.
 - ✓ Solo tienen un cloroplasto con pirenoides.
 - ✓ En el gametofito hay estomas.
 - ✓ En las hepáticas solo hay cavidades respiratorias.
 - ✓ Las cápsulas esporíferas presentan estomas y se abren mediante dos valvas.
 - ✓ Se forman las esporas y los pseudoelaterios, estructuras multicelulares intercaladas entre las esporas. Los eláteres se distinguen del de las hepáticas por tener forma y origen diferente
 - ✓ Talo discoidal, lobulado
 - ✓ Epidermis del lado inferior del talo presenta estomas con dos células oclusivas reniformes
 - ✓ Anteridios y arquegonios incluidos en el talo
 - ✓ Esporogonio = cápsula sésil, en forma de cuerno (se abre en dos valvas longitudinales)
- Columela (columna de tejido estéril)





Grupo clave en la evolución de las plantas: gametofito de estructura simple, rasgos primitivos como cloroplastos grandes y poco numerosos, con pirenoides. Los estomas, la columela y el meristemo intercalar del esporofito pueden considerarse rasgos avanzados.

BRYOPHYTA

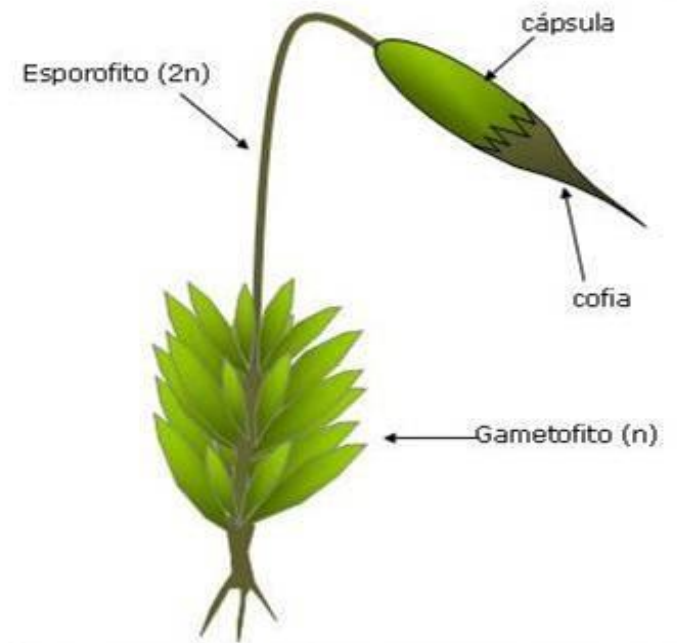
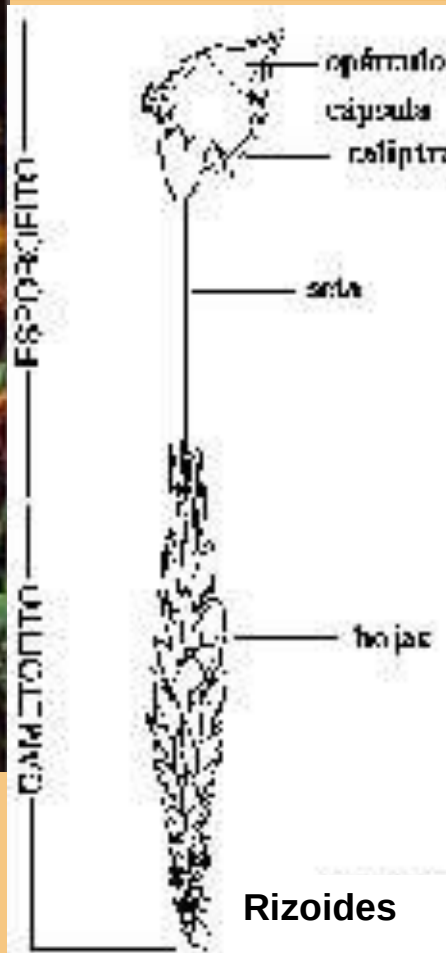


Los musgos desempeñan un importante papel en los ecosistemas:

- **retienen la humedad del suelo**
- **evitan su degradación**
- **refugio de pequeños invertebrados**



Musgo

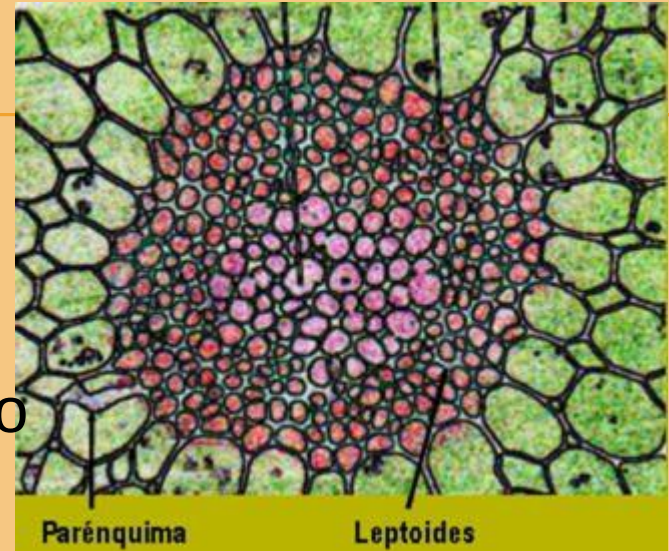


CLASE BRYOPSIDA

Gametofito: Las "hojitas" de los musgos están dispuestas en espiral alrededor del "tallito", que no son ni hojas ni tallos, ya que, como todas las briofitas, no poseen vasos conductores.. Faltan los cuerpos oleosos

✘ **Hidroides**: transporte de agua y sales nutritivas. Células alargadas muertas con paredes longitudinales engrosadas y transversales inclinadas

✘ **Leptoides**: células alargadas con núcleo y plastidios. Las **paredes laterales engrosadas y atravesadas por poros cribosos con plasmodesmos**, las paredes **transversales a veces oblicuas**.



✘ **Hidroides** en la parte **interna del cordón central** y **leptoides** en la **externa** entremezclados con otros elementos

✘ El cordón está incluido en un **manto células paredes finas (corteza interna)** y con paredes **gruesas (corteza externa)**

Musgos

Estructuras reproductoras



vientre

arquegonios

Gametofito masculino



sección longitudinal del ápice



anteridios emergentes

Estructuras reproductoras



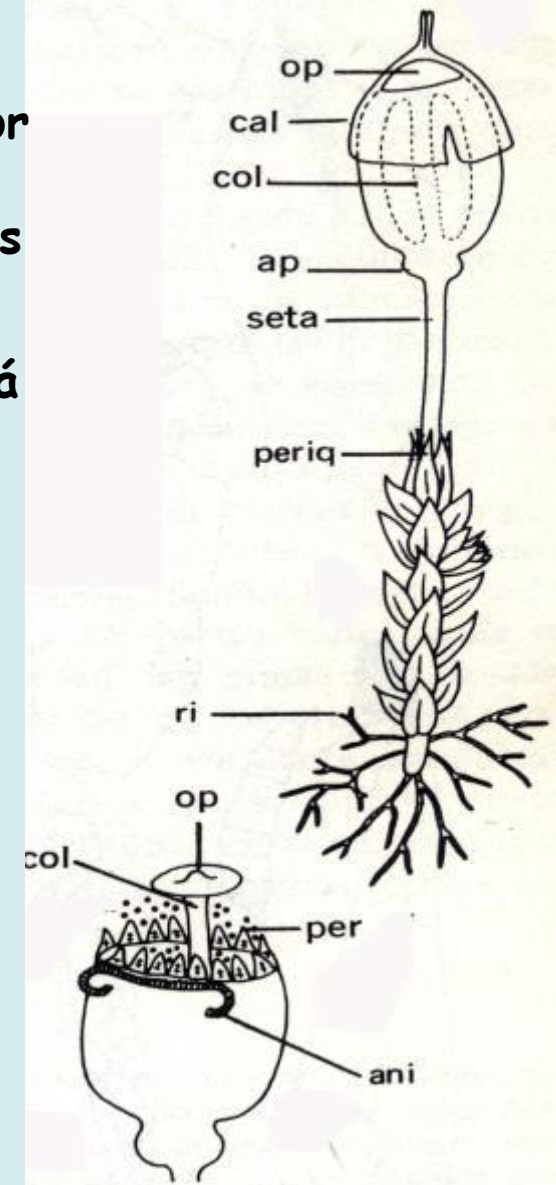
Los esporofitos de todos los briófitos son efímeros, viven unidos al gametofito femenino y dependen de él para su nutrición. Son morfológicamente sencillos y tienen crecimiento limitado. Los esporofitos más complejos constan de un **pie** (a través del cual toman nutrientes del gametofito femenino), un eje alargado (**seta**) y un esporangio terminal (**cápsula**) donde ocurre la meiosis. Las cápsulas presentan mecanismos complejos para favorecer la producción y dispersión de las esporas.



Esporofito de musgo. Observe los sistemas de apertura de la cápsula, mediante una serie de dientes.

Esporofito: estomas.sin eláteres. pie, seta y cápsula

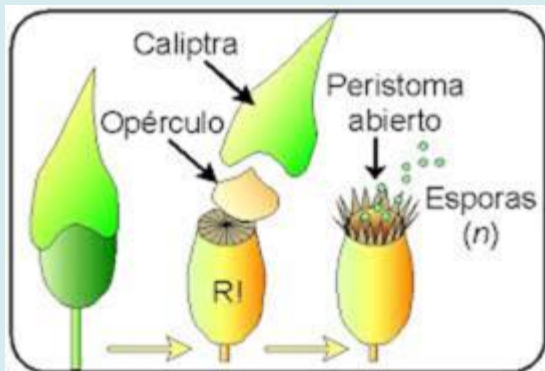
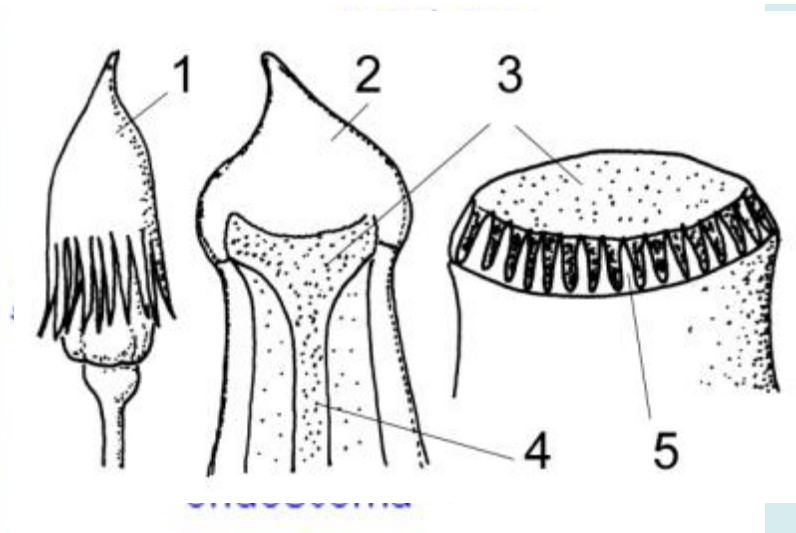
- **Cápsula con columela.** Columela es el tejido conductor de nutrientes y depósito de agua para las esporas en formación y reciben sustancias nutritivas de las células de la pared del saco esporífero, ricas en plasma
- **La parte inferior del embrión, el haustorio (pie) está fijada al gametofito.**
- **El tamaño de la seta es variable y, en algunos grupos, está ausente.**
- **En *Sphagnum* es substituida por el pseudopodio, un pedicelo que se desarrolla a partir del tallo.**
- **La cápsula tiene una pared de varias capas de células y lleva estomas en la parte basal o **hipófisis**.**
- **En el extremo distal se distingue la **caliptra**, una cubierta membranosa, fugaz, derivada del arquegonio.**
- **La boca de la cápsula está cubierta por una tapa u **opérculo**; al madurar, el opérculo cae y deja al descubierto 1 o 2 ciclos de apéndices que en conjunto son denominados '**peristoma**'.**
- **El **peristoma** regula la liberación de las esporas.**



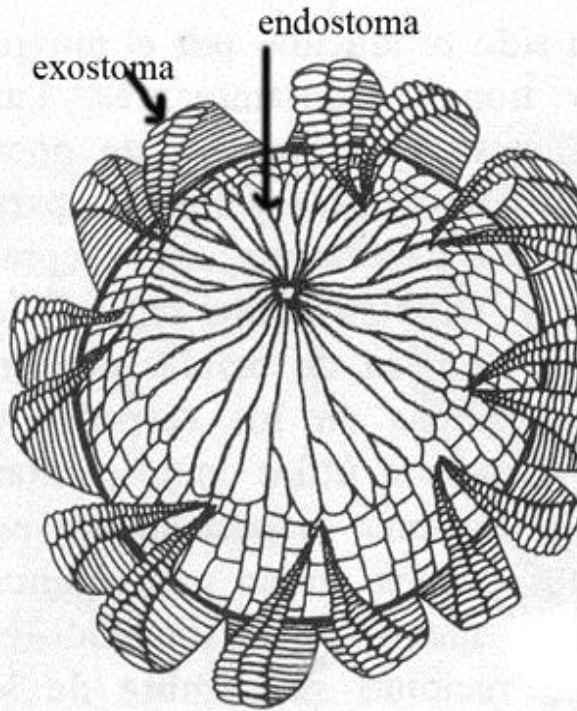
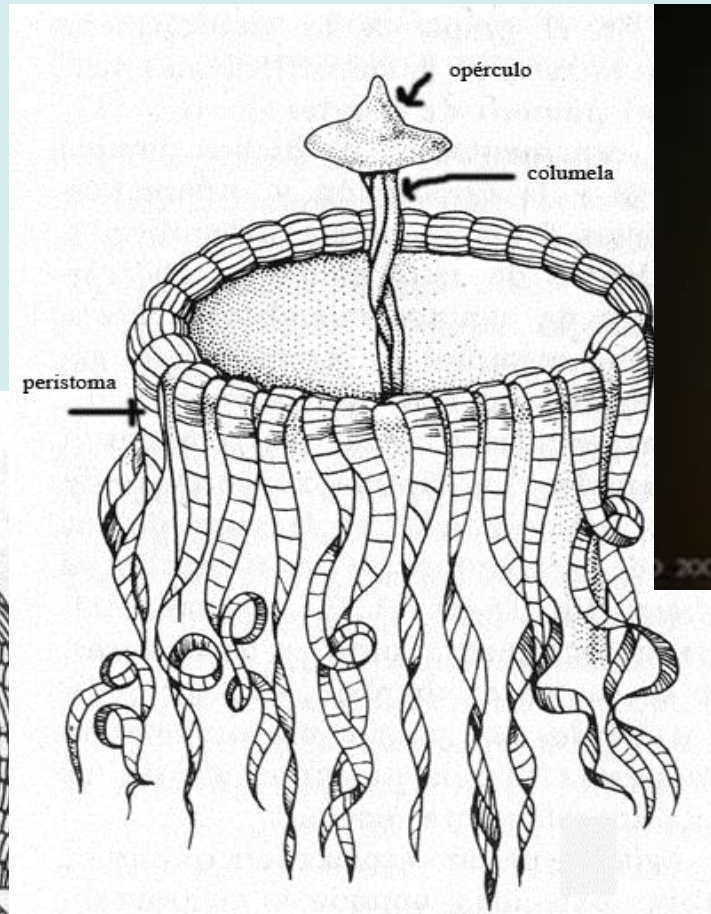
Morfología de la cápsula del esporofito.
op: opérculo, cal. caliptra, col. columela, ap. apófisis, periq. periquecio, ri. rizoides, per. diente del peristoma, ani. anillo

CLASE BRYOPSIDA

Característica mas importante : **Arquitectura del anillo de dientes (peristoma) alrededor de la boca de la cápsula del esporofito**. Estos son los únicos musgos que tienen un **peristoma artrodonito**. La diversidad en este grupo ha sido clasificada en alrededor de 90 a 110 familias y 11 a 16 Ordenes



Polytrichum: cápsula. 1. Caliptra, 2. Opérculo, 3. Epifragma, 4. Columela, 5. Perístoma.



Parte superior de la cápsula mostrando el exostoma y el endostoma (de Scagel et al., 1973)

Peristoma reflejo (dientes dirigidos hacia abajo) en *Tayloria* (Tomado de Scagel et al, 1973).





Uloa germana



CLASE SPHAGNOPSIDA

Genero *Sphagnum*



Viven en sitios palustres con pH ácido. Forman grandes almohadillas se mueren en su base y forman la turba. En las paredes celulares se depositan sustancias parecidas a la lignina

- Forman densas masas en las turberas.
- Las hojas del Sphagnum tienen grandes células muertas que se alternan con células vivas fotosintéticas.
- Dichas células muertas almacenan agua, lo que le permite almacenar hasta 20 veces su peso en agua.
- Se diferencian de las otras clases por:
 - células muertas
 - protonema taloso (plano y expandido),
 - esporangio con apertura explosiva
 - acumulación de gases en su interior.



Sphagnum

Célula muerta

Célula clorofiliana

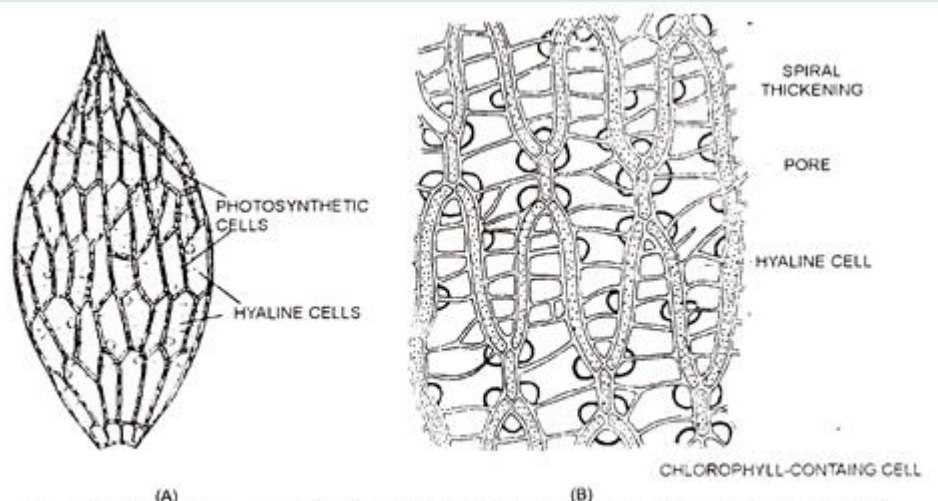
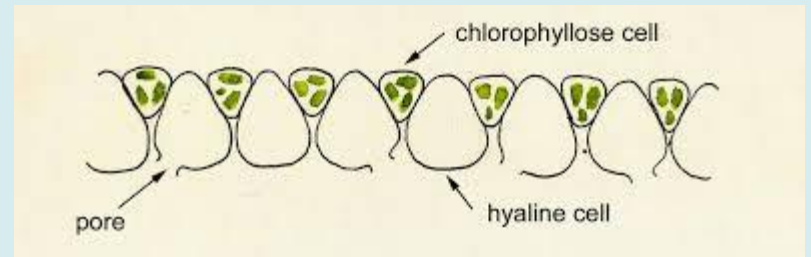
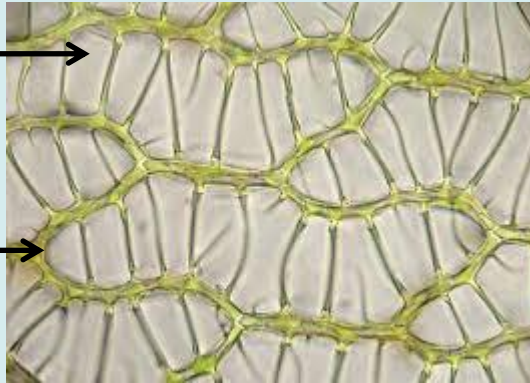
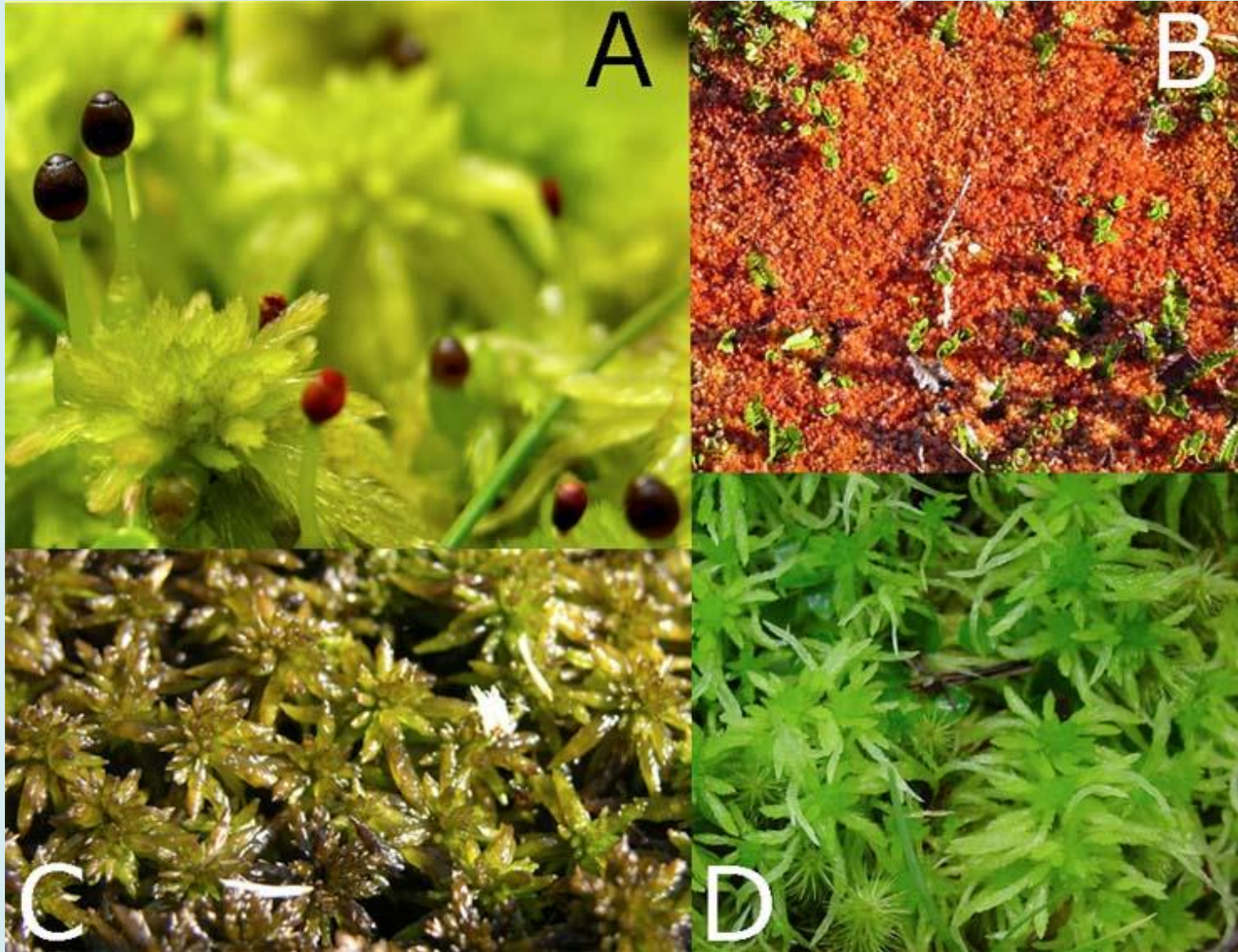


Fig. 4 (A-B). *Sphagnum*. (A) A single 'leaf' (B) Enlarged surface view of the 'leaf'.

SPHAGNACEAE



Musgos de la estación biológica Senda Darwin:
A. *Sphagnum falcatum*. B. *S. magellanicum*. C. *S. subsecundum*. D. *S. fimbriatum*
(Fotos: J. Larraín)

Funciones ambientales de las turberas

Regulación del cambio climático

Se produce a través de la regulación del ciclo de carbono. En las turberas se encuentran grandes depósitos de carbono. Pueden acumular hasta 1 mm de turba por año, lo que implica la captación de carbono atmosférico, proceso opuesto al de emisiones de gases de efecto invernadero.

Regulación hidrológica

Las turberas tienen gran capacidad para acumular agua en el interior de su cuerpo. Tienen la capacidad de retener agua cuando hay excesos de precipitación y transferirla lentamente a los sistemas de drenaje, mitigando las crecidas y aportando agua en épocas de déficit hídrico.

Regulación de la calidad del agua y de los procesos erosivos

tienen la capacidad de retener metales pesados y otros elementos tóxicos, por lo que mejoran la calidad del agua. Controlan la erosión en virtud de presentar una cobertura vegetal resistente a procesos erosivos y reducen así la concentración de sedimentos en suspensión en las vías fluviales.

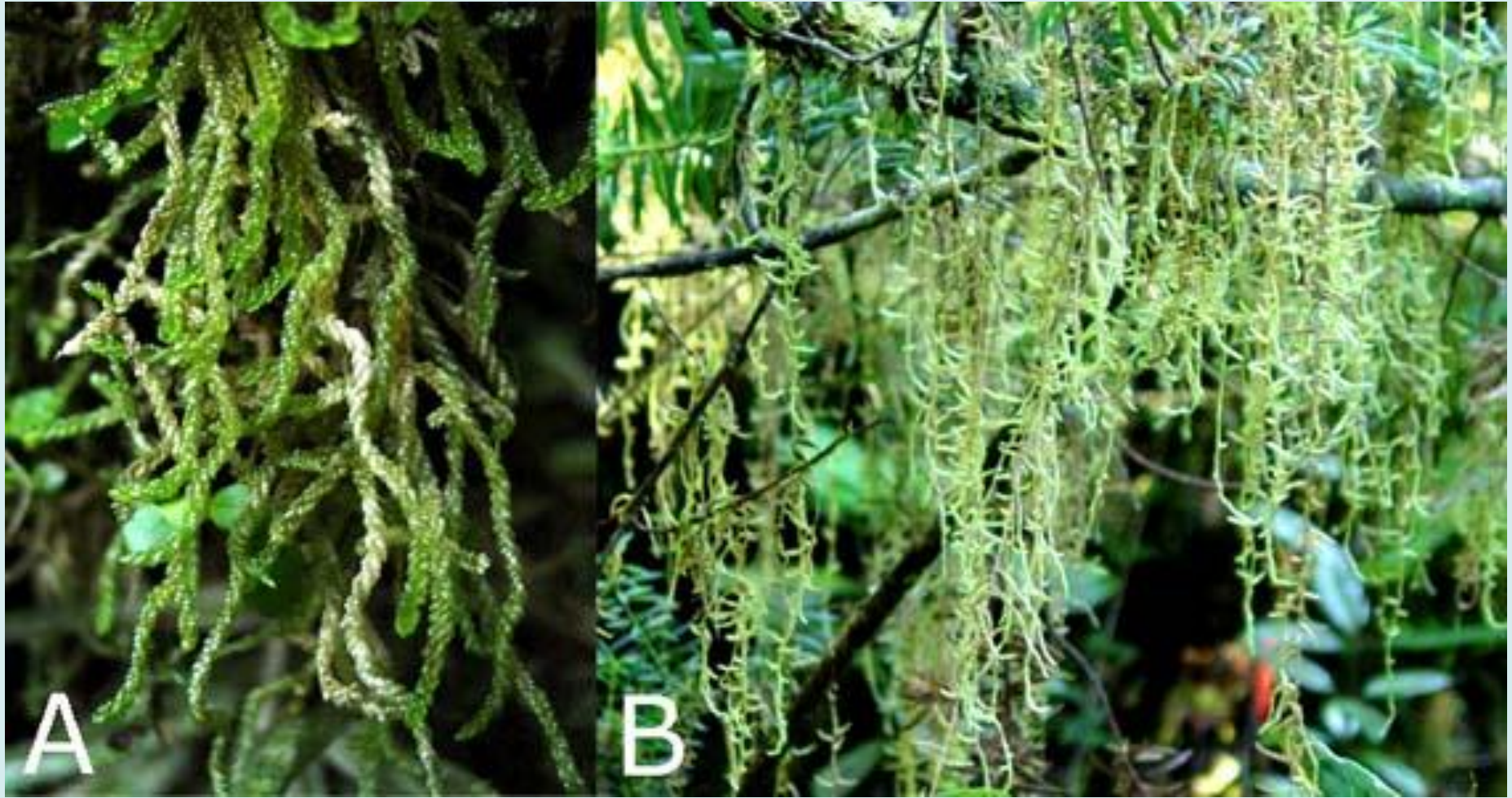
Hábitat ecológico y biodiversidad

Existen muchas especies vegetales que sólo se desarrollan en este tipo de ambientes, en tanto que la avifauna es variada y frecuente en ellas, ya que brindan condiciones especiales para la reproducción.

BRYACEAE



A. *Bryum argenteum* B. *B. pseudotriquetrum* C. *B. billarderi*



A. Weymouthia cochlearifolia. B. Weymouthia mollis.

Plantas colgantes de ramas en los bosques

Diferencias generales entre los grupos de briofitas (Adaptado de Delgadillo 2002)

Estructura/ Taxon	Antocerotes	Hepáticas	Musgos
Protonema	Indistinto	Filamentos cortos	Taloide, filamentoso o masivo
Gametofito	Taloide	Taloide o folioso	Folioso
Cloroplastos	Uno o pocos, con pirenoide	Numerosos, sin pirenoide	Numerosos, sin pirenoide
Rizoides	Lisos, unicelulares	Lisos o trabeculados, unicelulares	Lisos o papilosos, multicelulares, con paredes oblícuas
Hojas	Ausentes	Bilobadas	Rara vez lobadas, costadas
Parafisos	Ausentes	Ausentes	Presentes
Seta	Ausente	Presente	Presente
Estomas	Presentes	Ausentes	Presentes
Columela	Presente	Ausentes	Presente
Dehiscencia de la cápsula	Por valvas	Por valvas	Por un opérculo
El tejido esporógeno produce	Pseudoelaterios + esporas	Elaterios + esporas	Esporas
Peristoma	Ausente	Ausente	Presente
Caliptra	Ausente	En la base del esporofito	En el ápice del esporofito