

MICROBIOLOGÍA GENERAL AREA MICOLOGÍA

LOS HONGOS – REPRODUCCIÓN SEXUAL



Reproducción asexual / sexual

Cualquier momento del ciclo de vida

Alta descendencia

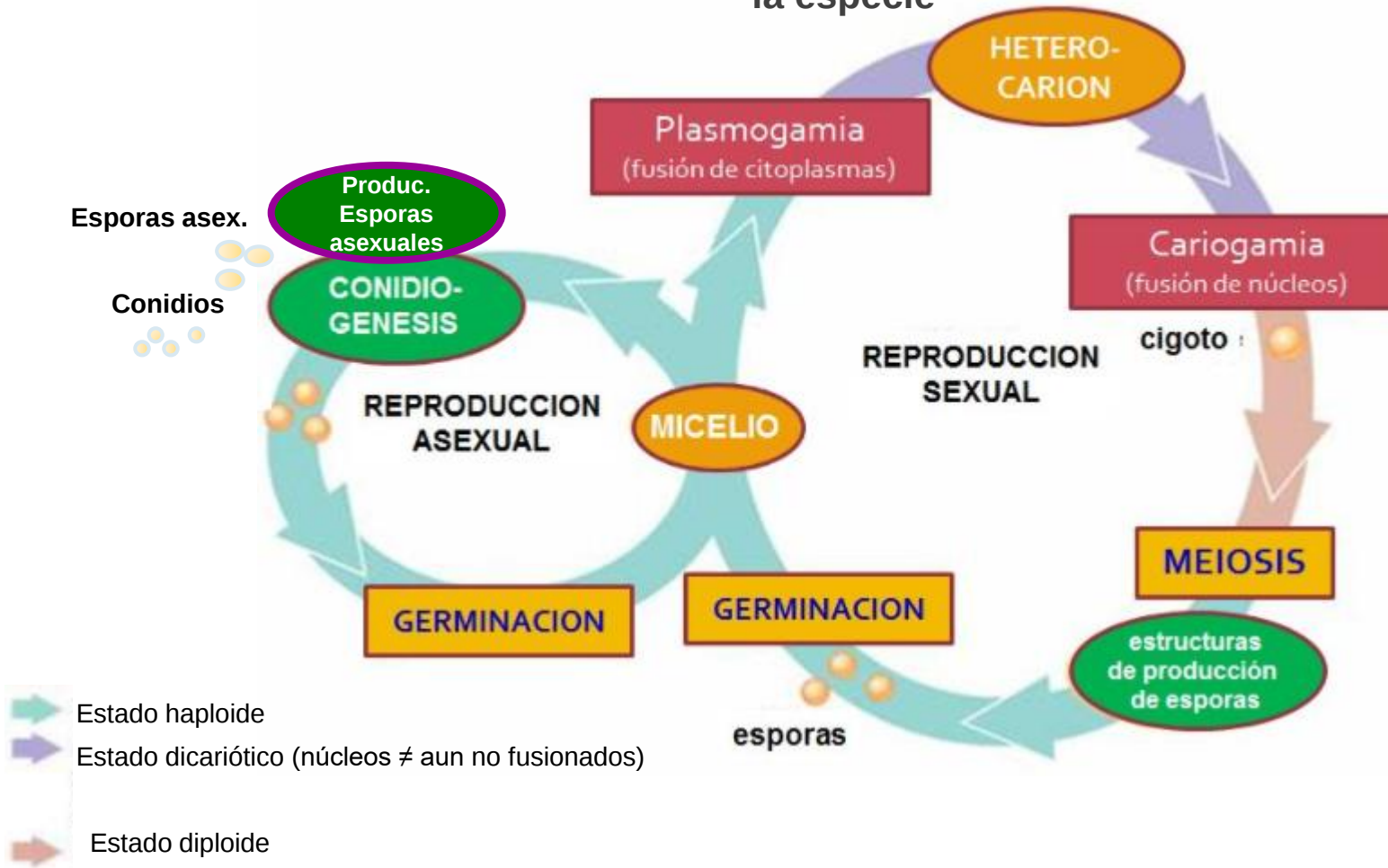
Diseminación de la especie

Requiere condiciones ambientales especiales –

Presencia de factor hormonal

Menor descendencia

Recombinación/ mejoramiento y evolución de la especie



Reproducción fúngica



Asexual (**anamorfo**)

Sexual (**teleomorfo**)



- ❖ Es responsable de la recombinación genética que origina nuevos genotipos, facilitando la adaptación a ambientes más diversos

- ❖ Regulada por factores ambientales, nutricionales y genéticos. Se produce cuando las condiciones son apropiadas

- La mayoría de los hongos requieren dos talos compatibles (+/-) (A/A'); se denominan **heterotálicos o autoestériles**
- Algunos pueden adquirir la condición dicariótica sin aparearse con otro talo; se llaman **homotálicos o autofértiles**

Estructuras involucradas

↓
Órganos sexuales
(membrana y pared completa → sin poros)

↓
Gametangios

**Polaridad +
Polaridad -**

↙ ↘
Isogametangios
Morfológicamente =
Funcionalmente ≠

Anisogametangios
Morfológicamente ≠
Funcionalmente ≠

♀ **Ascogonios**
(oogonios)
♂ **Anteridios**

↓
Producen gametos
Iso/aniso

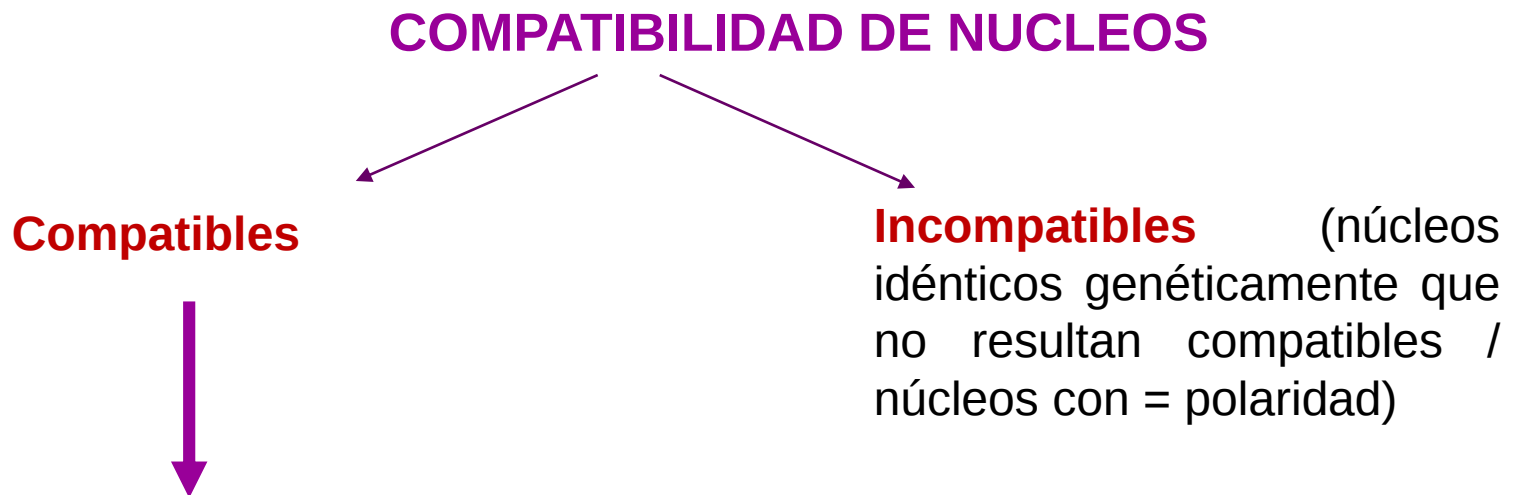
↗
inmóviles

↘
móviles (planogametos)

Reproducción sexual - Mecanismos

- ❖ Por fusión de gametos liberados de los gametangios
- ❖ Por fusión de gametangios diferenciados → intercambio de núcleos
- ❖ Por fusión de gametangios no diferenciados (hifas indiferenciadas) → intercambio de núcleos

Requerimiento fundamental: que los núcleos sean **COMPATIBLES**



Estructuras compatibles

■ HOMOTÁLICAS

♂ y ♀
o (+) y (-) en el
mismo talo

Hermafroditas
Autofértiles

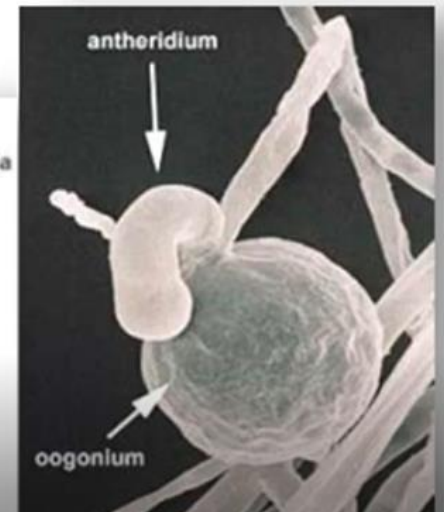
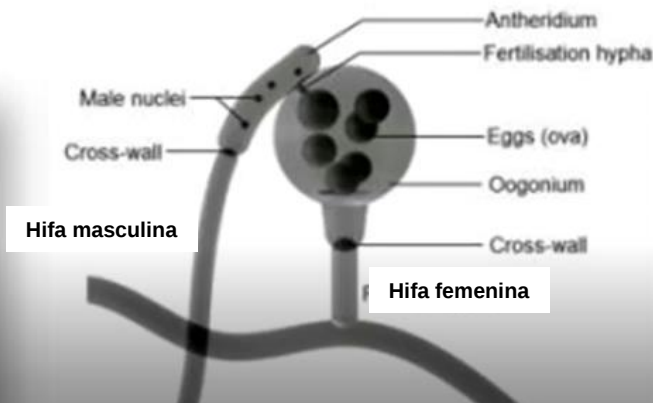


■ HETEROTÁLICAS

♂ o ♀
o (+) o (-)

Autoestériles

Se requieren DOS COLONIAS para que se produzca la fecundación



Siempre que haya ocurrido alguna mutación que genere un cambio en el genotipo en alguno de los núcleos

De acuerdo a su sexualidad tendremos cruzamientos

```
graph TD; A[De acuerdo a su sexualidad tendremos cruzamientos] --> B[MONOICOS]; A --> C[DIOICOS]; A --> D[SEXUALMENTE INDIFERENCIADOS];
```

▪ MONOICOS

Con órganos ♂ y ♀
en el mismo talo

Se reproducen sólo
si son compatibles

▪ DIOICOS

Con órganos ♂ y ♀
en individuos ≠

Autoésteriles

▪ SEXUALMENTE INDIFERENCIADOS

Con estructuras
sexuales
**morfológicamente
indistinguibles**

- ✓ La reproducción sexual cuenta en sus inicios con **eventos de diferenciación sexual**

Cierre de poros de los tabiques en esa zona

Formación de estructuras especializadas de apareamiento

Diversos nombres: A/A', +/- , a/α, masculino/femenino

- ✓ Pueden ocurrir también **cambios fisiológicos** como

TELEMORFOSIS y CIGOTROPISMO

Controlados por **feromonas**

Una hifa estimula a otra x medio de secreción de **feromonas**, causando en la otra, cambios fisiológicos y morfológicos

Las hifas crecen y se curvan UNA HACIA OTRA de modo recíproco por estimulación MUTUA por **feromonas**, hasta tocarse y fusionarse

1. Luego del reconocimiento de las células especializadas, la pared de ambas se disuelve → unión de los citoplasmas: **plasmogamia**, quedando ambos núcleos compatibles (estado dicariótico)
2. A continuación se produce la **cariogamia** → un núcleo diploide
3. Procede luego la **meiosis** (recombinac./entrecruzam.) →→→→

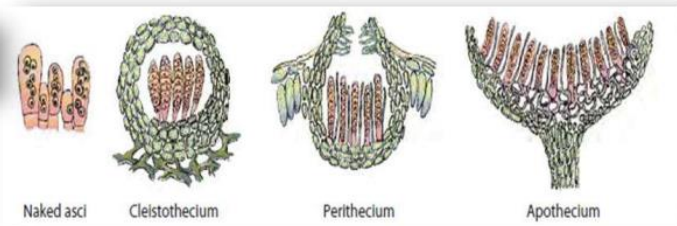
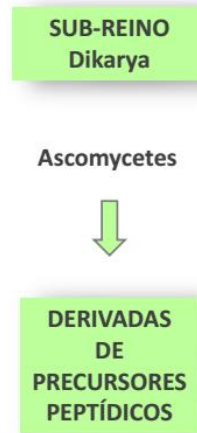
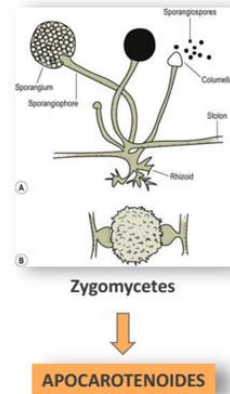
Núcleos haploides
esporogénesis

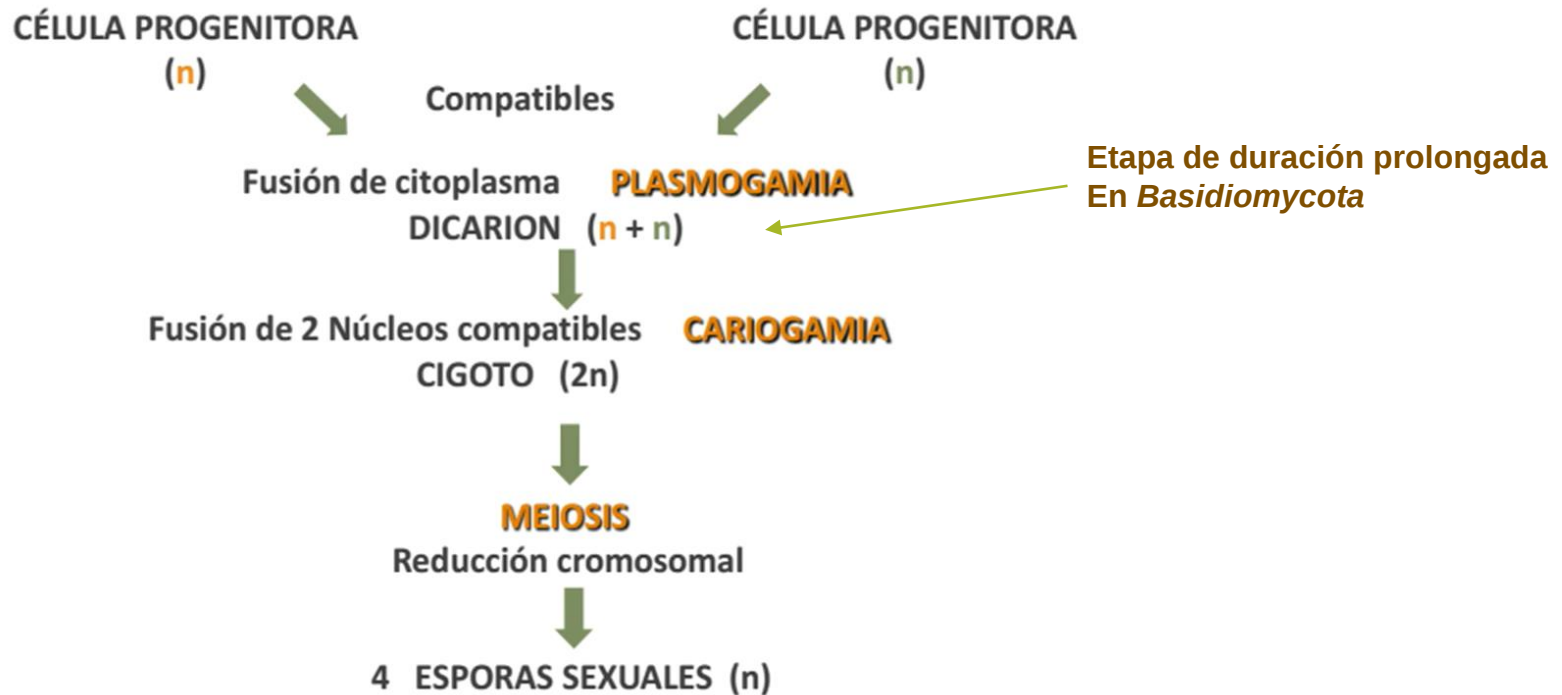
Formación de esporos sexuales haploides
(**ascosporos/basidiosporos**)

Rol de las feromonas

- ✓ Son producidas por un “tipo” de célula fúngica, para actuar sobre la célula de polaridad “opuesta” →→ quimiotaxis / tropismo (movimiento de las hifas / desarrollo de las estructuras especializadas)
- ✓ Generalmente no las transportan las hifas sino que se liberan al medio (agua/aire)
- ✓ Hay control nutricional (al disminuir los nutrientes, ↑ la síntesis de hormonas)

Hacia el final de la fase exponencial, principio de la estacionaria, comienza el proceso de reproducción sexual



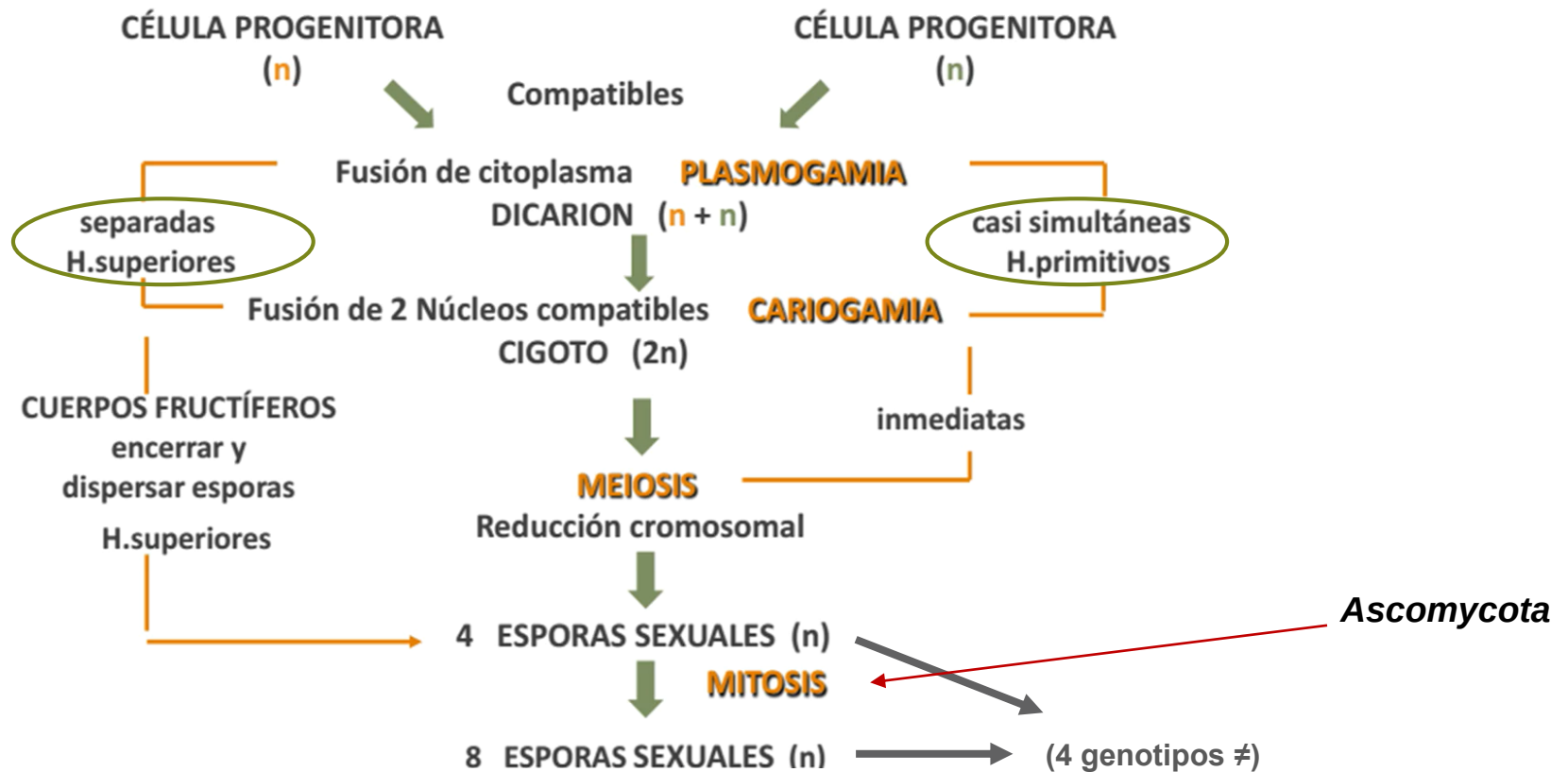


Cuánto dura el ciclo sexual?

Qué proporción del ciclo de vida corresponde a etapas sexuales?

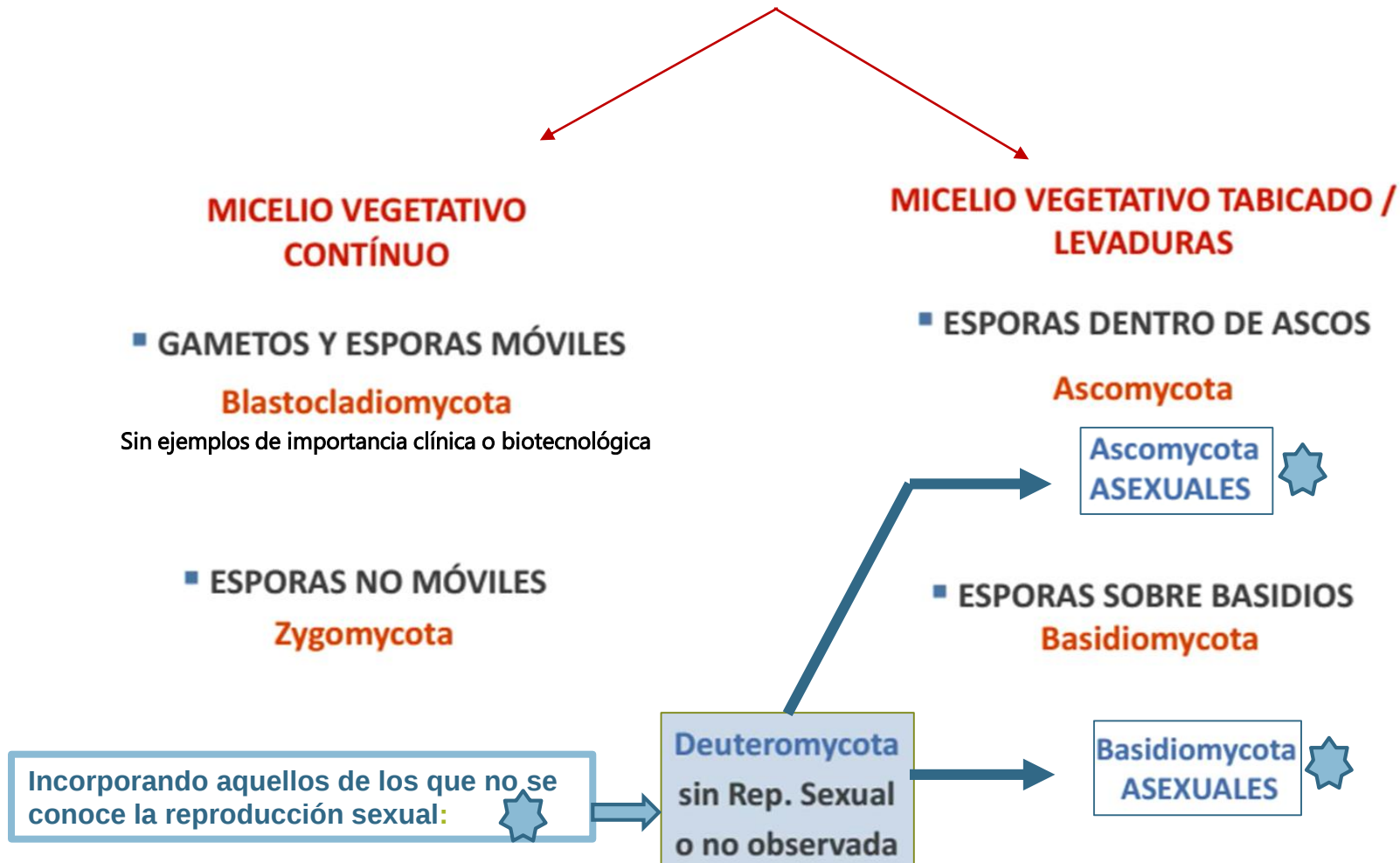
En el filo *Basidiomycota*, luego de la plasmogamia, hay una fase prolongada de crecimiento del micelio dicariótico con mitosis de los núcleos compatibles

En *Ascomycota*, si bien puede permanecer el estado dicarion en el cuerpo fructífero, la duración será menor



Podemos relacionar el micelio vegetativo con las estrategias sexuales de reproducción, para hacer una clasificación?

Evaluando relaciones filogenéticas, características estructurales del micelio vegetativo, y del micelio de reproducción sexual:



Filo *Zygomycota*

Hongos terrestres. Contaminantes ambientales
Productores de ciertas patologías

- MICELIO NO SEPTADO

- REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Esporangios → Esporangiosporas

- REPRODUCCIÓN SEXUAL

Usualmente hacia el final de la fase exponencial de desarrollo

Hifas → Gametangios
especializadas

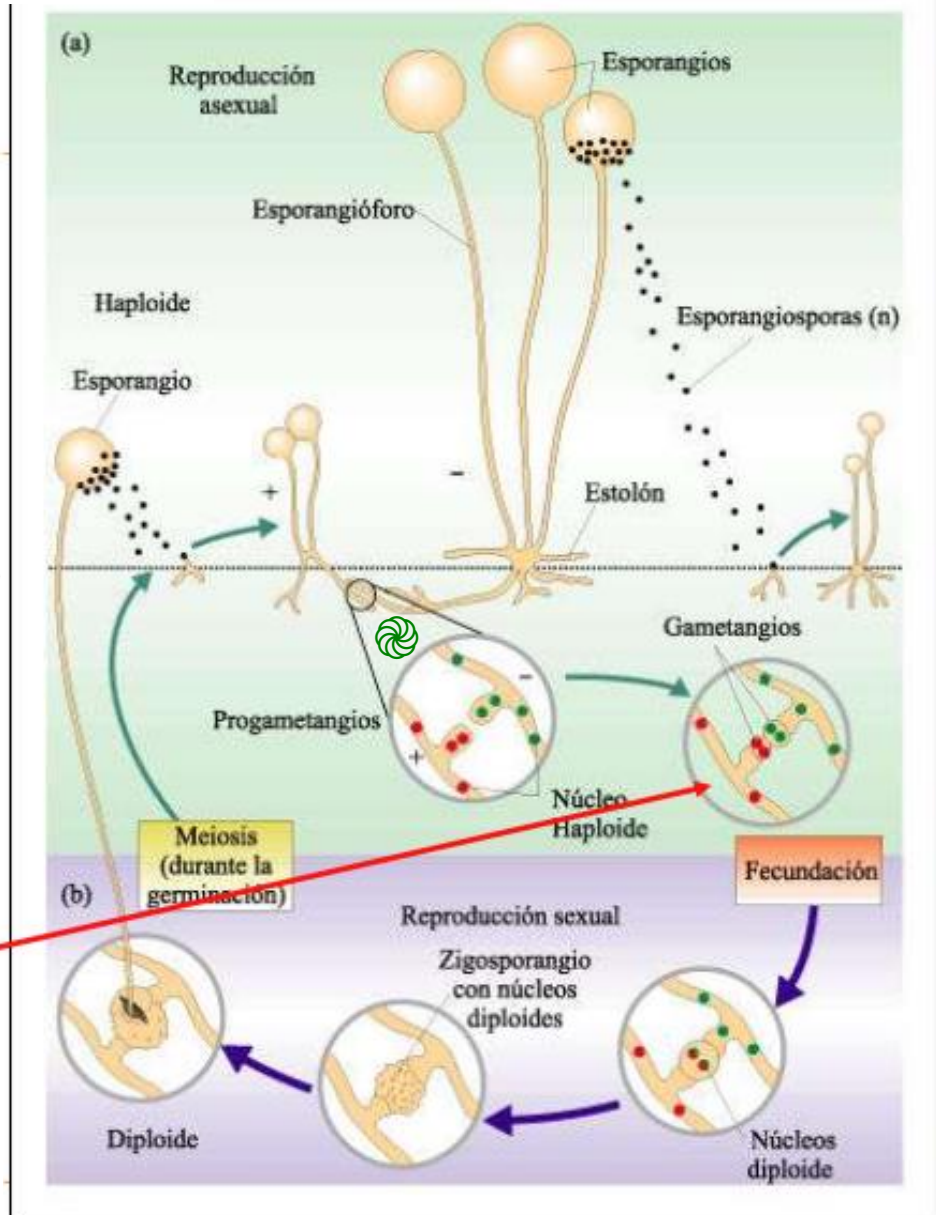
- HORMONAS

- FUSIÓN DE GAMETANGIOS
INDIFERENCIADOS

Cruzamiento **heterotálico**,
(requiere dos colonias distintas)

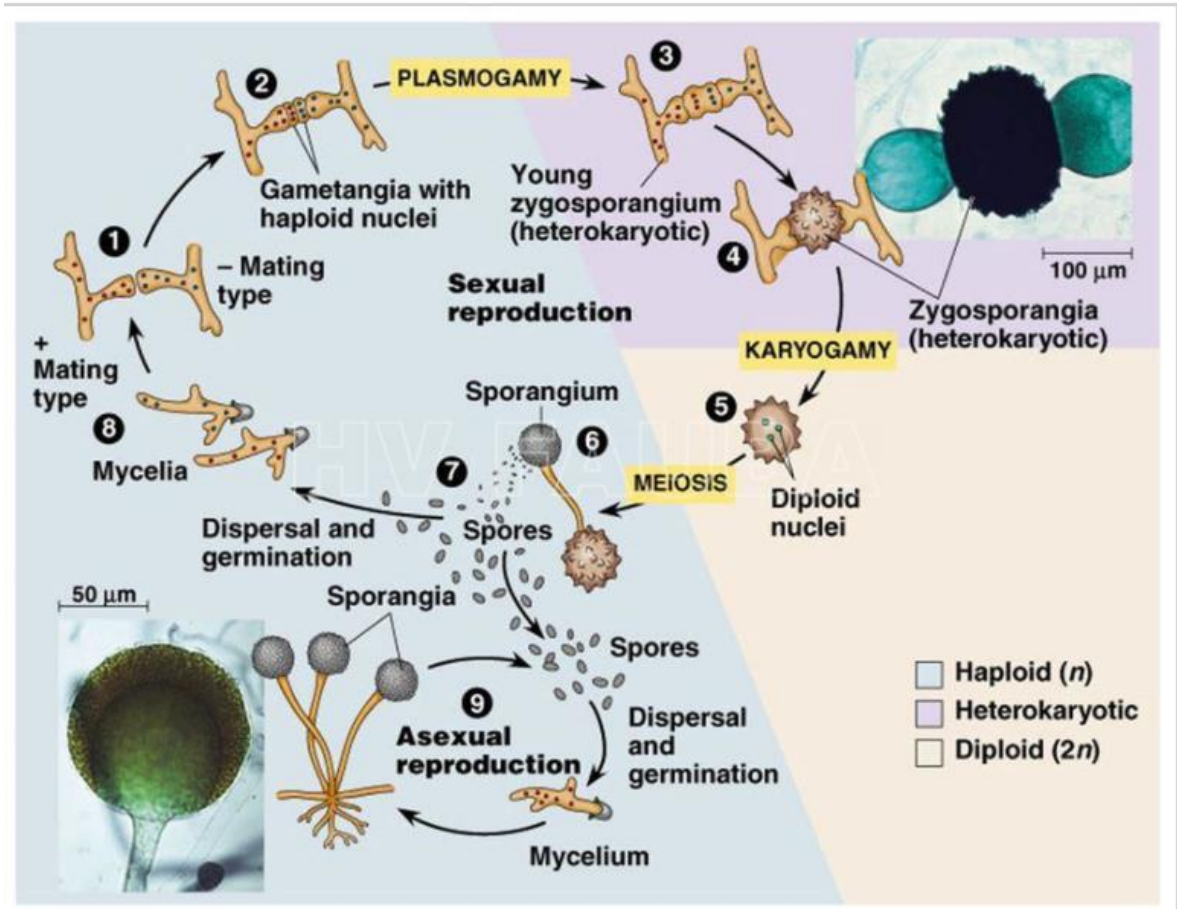
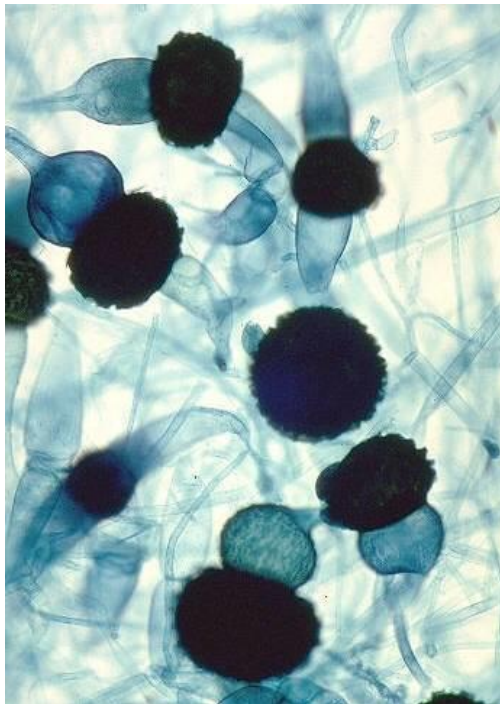
Rhizopus stolonifer

Contaminante habitual de panificados, y frutas,
x ej. frutillas



Zigosporas

Ciclo de vida del hongo del pan *Rhizopus spp.*

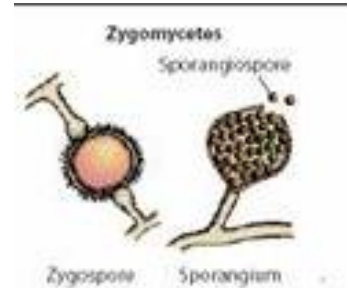
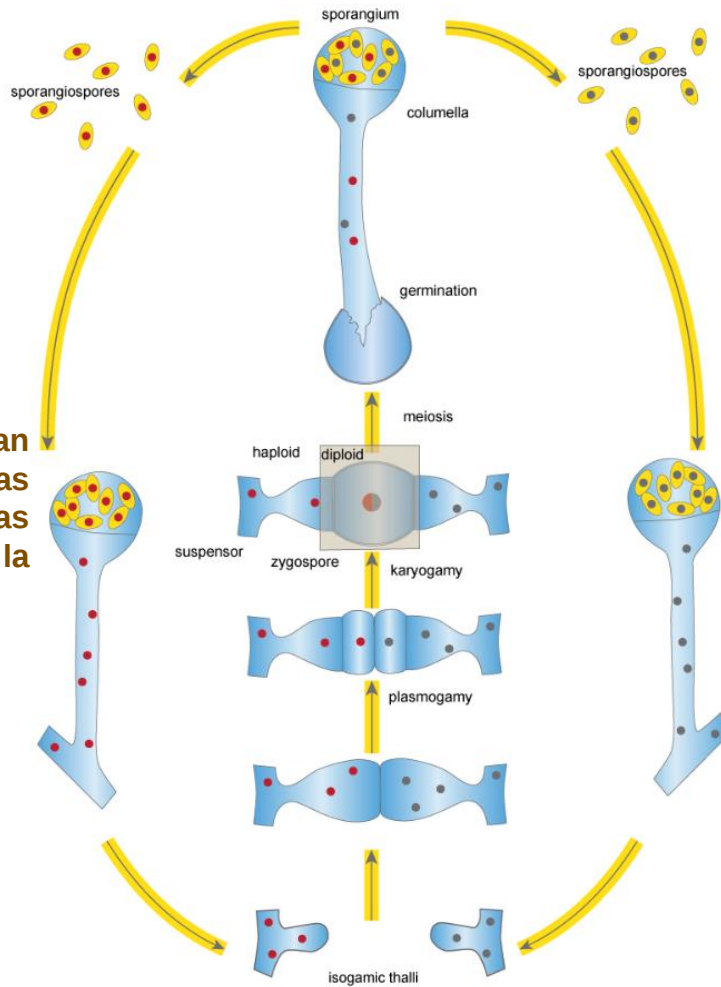


Esquema del ciclo de vida de *Rhizopus spp.*. Fuente: Vazhacharickal et al. 2015.

Resumiendo:

✓ Dentro de la clase *Zygomycetes*, el orden de los *Mucorales* es el más importante desde el punto de vista clínico.

✓ Las zigosporas sexuales se forman después del apareamiento de células compatibles. La interfertilidad de las cepas heterotálicas es un criterio importante para la identificación.



La parte central muestra la serie de eventos sexuales, mientras que en el exterior se representa la ruta asexual. La parte diploide del ciclo de vida está dentro del cuadro gris

Filo *Ascomycota*

Incluye hongos de importancia desde el punto de vista industrial, así como patógenos y contaminantes

- MICELIO SEPTADO / LEVADURAS

- REPRODUCCIÓN ASEXUAL
Conidios

- REPRODUCCIÓN SEXUAL

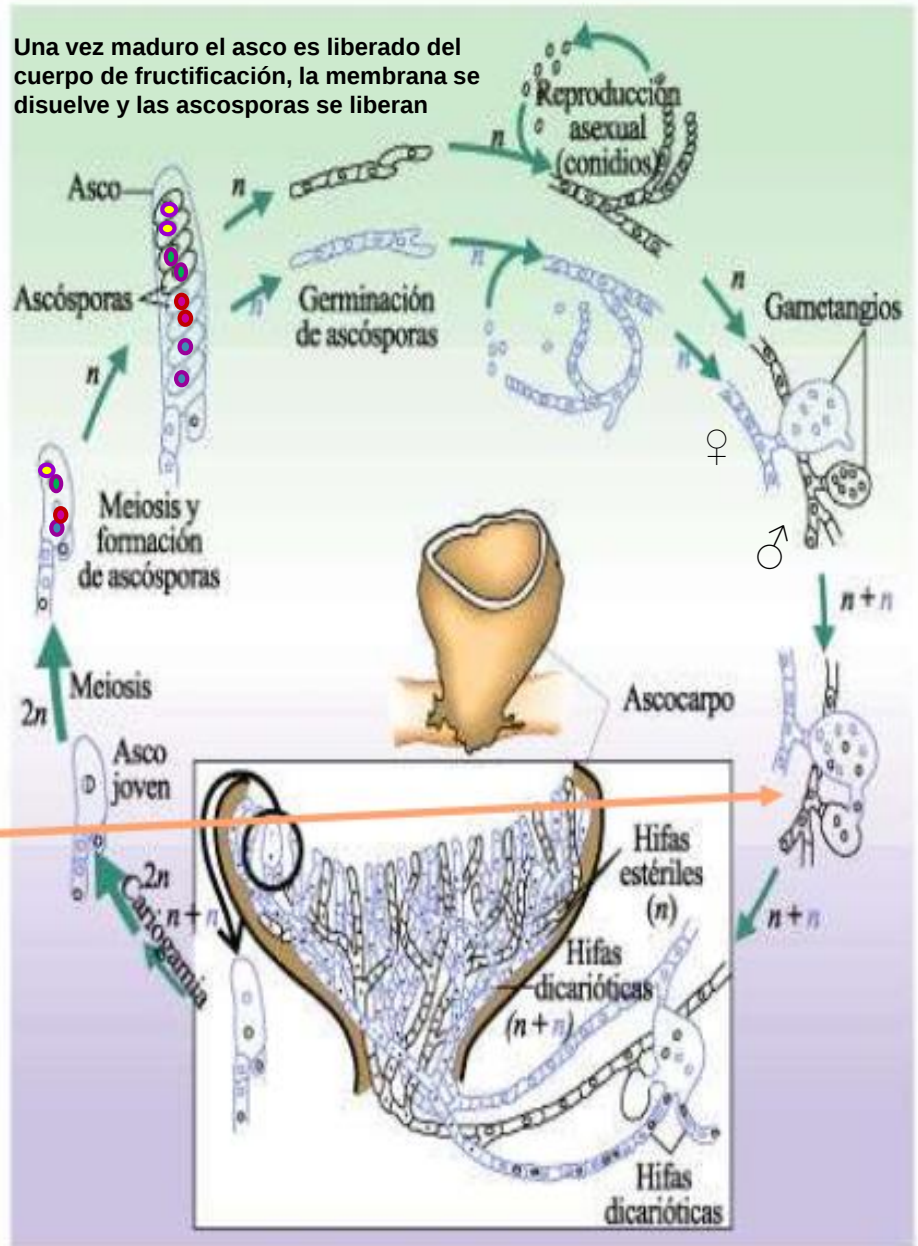
Hifas especializadas → Gametangios
♂ y ♀

- FUSIÓN DE GAMETANGIOS
+ O - DIFERENCIADOS

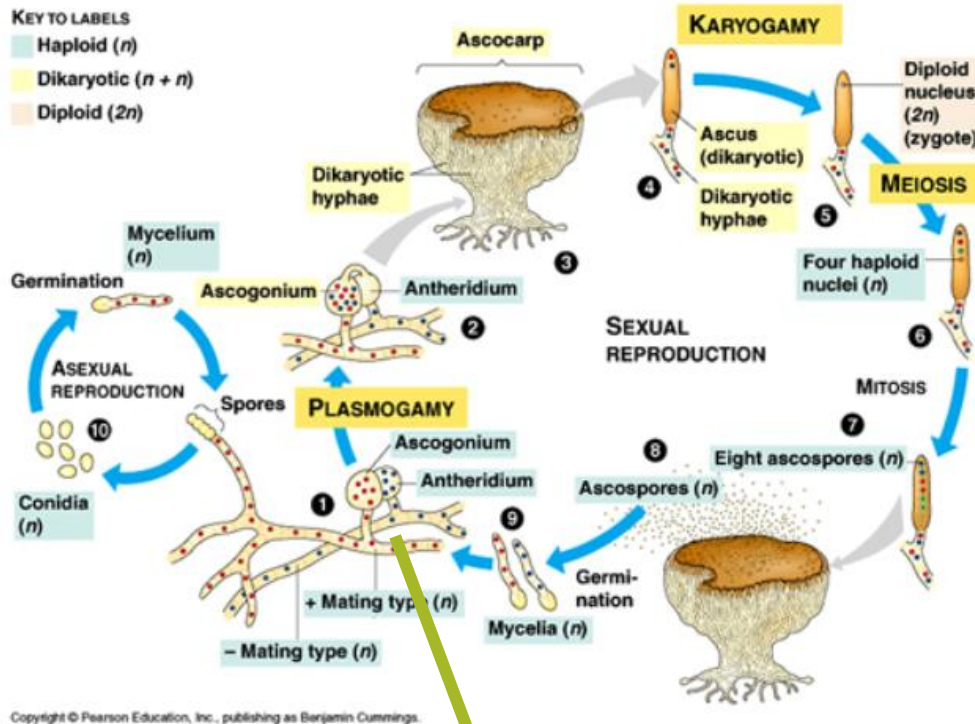
- ASCOSPORAS EN ASCOS
CON O SIN CUERPOS DE
FRUCTIFICACIÓN
(ASCOCARPOS)

Incluye géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* entre otros

Una vez maduro el asco es liberado del cuerpo de fructificación, la membrana se disuelve y las ascosporas se liberan



Ascosporas



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

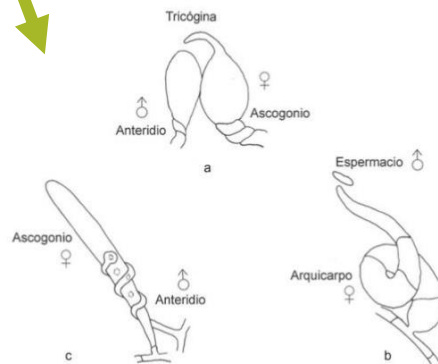


Fig. 5.4. Diferentes morfologías de los órganos sexuales en Ascomycota
Esquema: tomado y modificado de Ross (1979)

Además de los ascos, algunos ascocarpos tienen otro componente:

HAMATECIO: hifas estériles

Pueden tener también tejidos:

Pseudoparénquima interascal

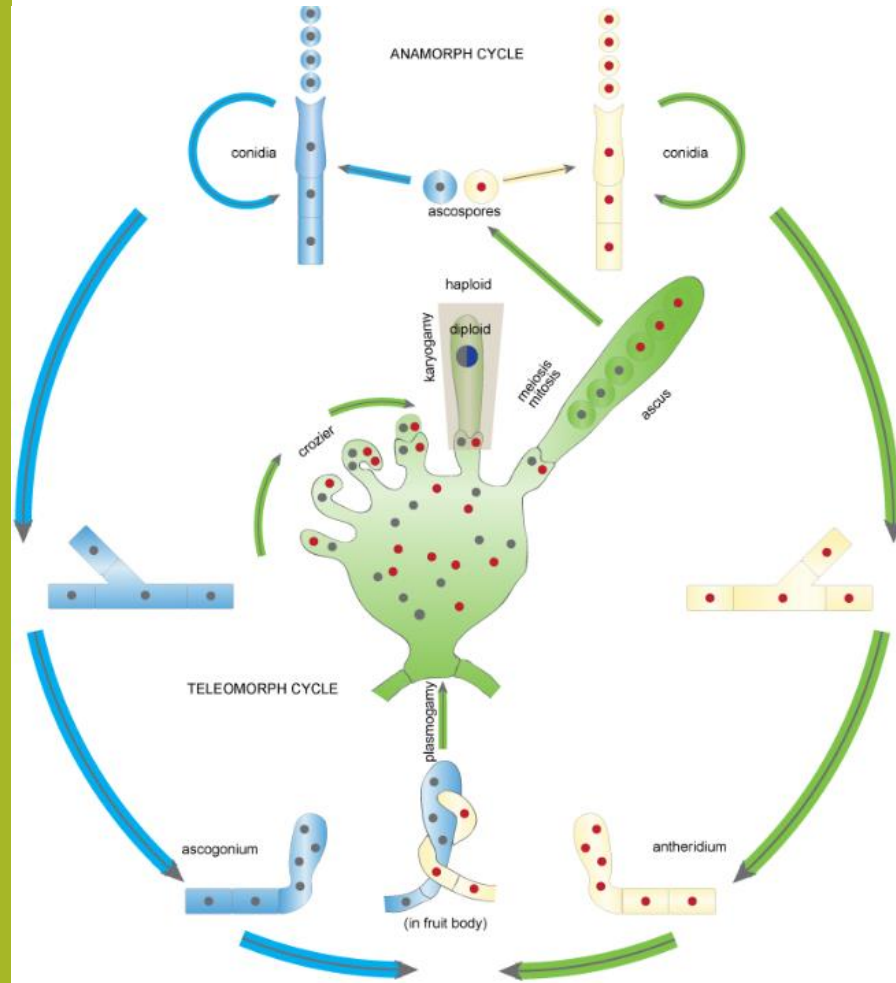
Paráfisis adheridas en la base de apotecios y peritecios, contribuyen a la liberación de las esporas, sostienen, nutren

Perífisis (típicas de peritecios, tapizan el canal ostiolar)

Pseudoparáfisis (recubren la pared interna del peritecio)

IMPORTANCIA TAXONÓMICA

Ascomycota comprende la mayor parte del reino fúngico, incluidas miles de especies



✓ El talo es tabicado (tabiques con poros simples con cuerpos de Woronin, o microporos).

✓ Los propágulos asexuales (conidios) son de morfología sumamente variada.

✓ La mayoría de las especies se reproducen también con un talo asexual, como levadura, coelomiceto o hifomiceto.

Diagrama del ciclo de vida de un *Ascomycota*.

La parte inferior grafica los eventos de la fase sexual (ciclo teleomorfo), mientras que la parte superior está la ruta reproductiva asexual. El estado dicariótico se encuentra sombreado en gris.

Fuente: G.S. de Hoog, J. Guarro, J. Gené, S. Ahmed, A.M.S. Al-Hatmi, M.J. Figueras and R.G. Vitale: *Atlas of clinical fungi*

Sobresalen algunos órdenes con implicancias clínicas / tecnológicas:

- ✓ El orden *Pneumocystidales* con un solo género, *Pneumocystis*
- ✓ El orden *Saccharomycetales* incluye las levaduras típicas.
- ✓ El subfilo *Pezizomycotina* abarca a los 'ascomycetes filamentosos' y las "levaduras negras".

Ascos: Según su pared

- ✓ **Prototunicados:** Pared delgada que se disuelve fácilmente
- ✓ **Unitunicados:** Con una pared de dos capas que permanecen unidas (exotúnica y endotúnica), liberándose las ascosporas por un poro, una hendidura o un opérculo
- ✓ **Bitunicados:** Si bien tiene las mismas endotúnica y exotúnica, que están bien diferenciadas, la exotúnica se rompe al madurar el asco. Los ascosporos se liberan por una hendidura o un poro apical



Fig. 5.5. Ascos prototunicados
Fotografía: LAMFU

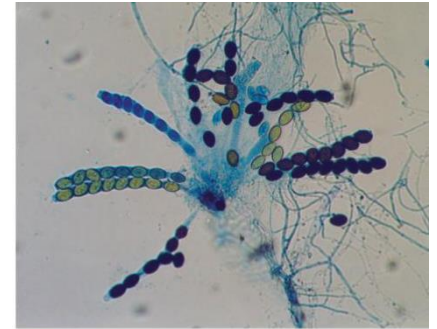


Fig. 5.6. Ascos unitunicados
Fotografía: LAMFU

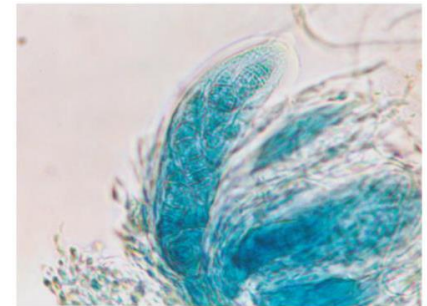


Fig. 5.7. Ascos bitunicados
Fotografía: LAMFU

✓ Pueden ser desnudos

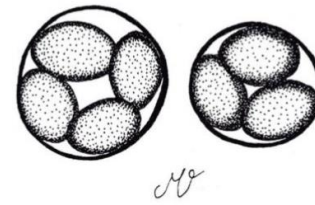
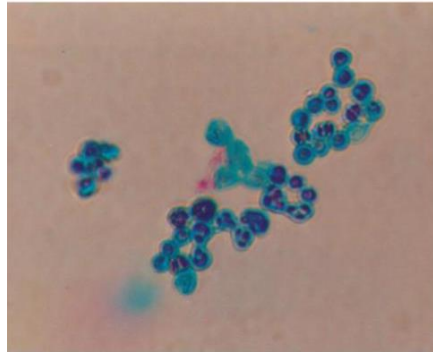
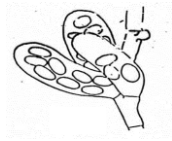
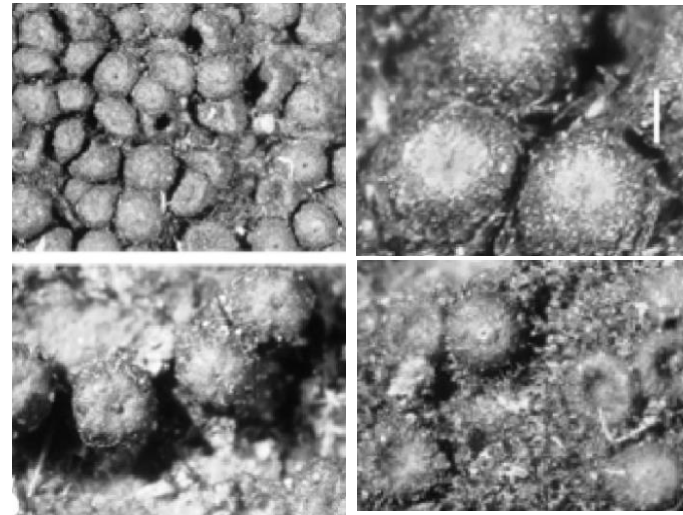
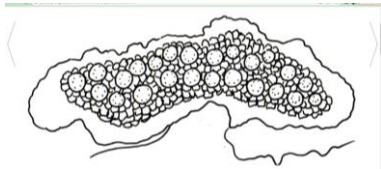


Fig. 5.8. Ascus desnudos de *Schizosaccharomyces octosporus* x 100 (arriba); esquema de ascus desnudo tipo *Saccharomyces* con ascosporas (abajo).
Fotografía: LAMFU. Esquema: Marleny Vargas

✓ Pueden estar en falsos cuerpos de fructificación (pseudotecios = ascostroma)

Los ascos están localizadas en una cavidad del estroma (lóculo)



✓ Pueden estar en ascocarpos (cuerpos de fructificación)



✓ Pueden estar en ascocarpos (cuerpos de fructificación)

➡ **Apotecio: ascocarpo abierto en forma de copa o de plato de algunos Ascomycota**

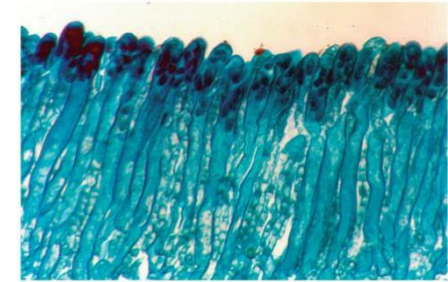
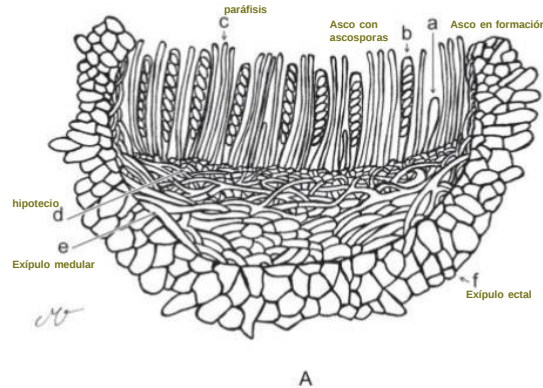
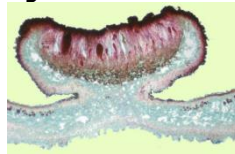
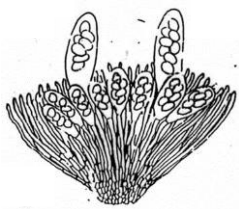


Fig. 5.12. A. Esquema de un apotecio: a) asco en formación, b) asco con ascosporas, c) paráfisis, d) hipotecio, e) excipulo medular, f) excipulo ectal. B. Corte de un himenio de un apotecio donde se observan los ascos x 40
Esquema: Marleny Vargas. Fotografía: LAMFU

➡ **Peritecio: ascocarpo en forma de botella o globular y que tiene una abertura o poro (ostíolo)**

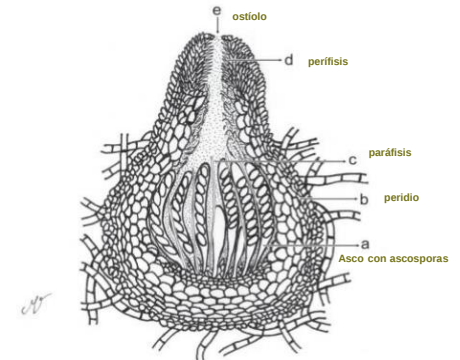
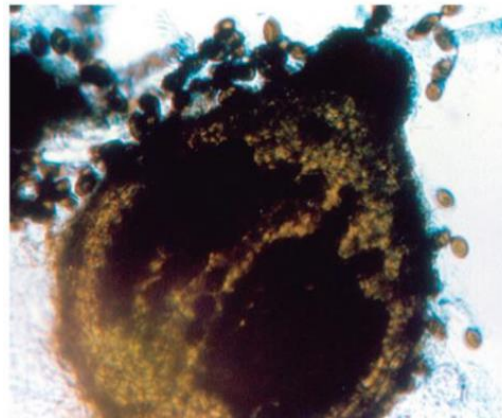


Fig. 5.10. Esquema peritecio: a) asco con ascosporas, b) peridio, c) paráfisis, d) peritisis, e) ostíolo
Esquema: Marleny Vargas

➡ **Cleistotecio:** ascocarpo totalmente cerrado con ascas dispuestas en forma desordenada en su interior.

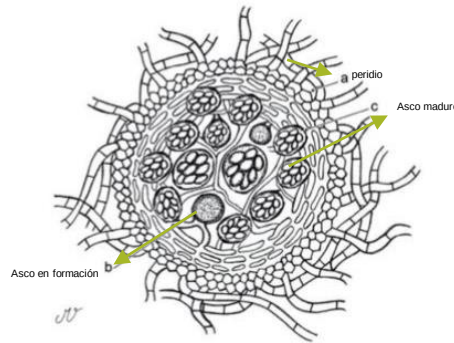
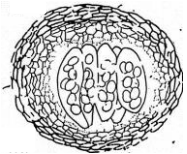
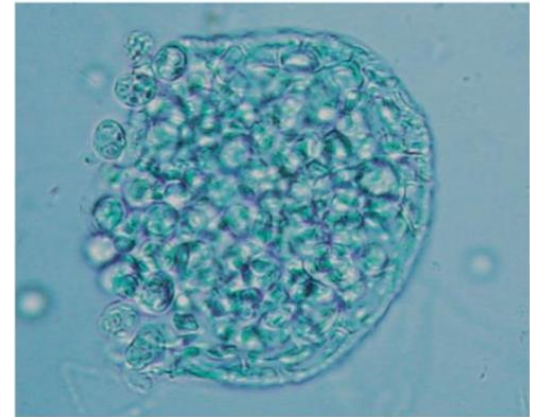


Fig. 5.9. Cleistotecio de la fase sexual de un *Aspergillus* x 100 (arriba); esquema de un cleistotecio: a) peridio, b) asco en formación, c) asco maduro (abajo)
Fotografía: LAMFU. Esquema: Marleny Vargas



➡ **Gimnotecio** (tipo de cleistotecio?)
Pequeños grupos de ascos rodeados de hifas laxamente entrecruzadas.

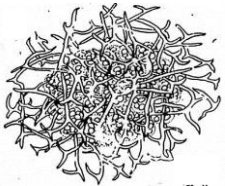
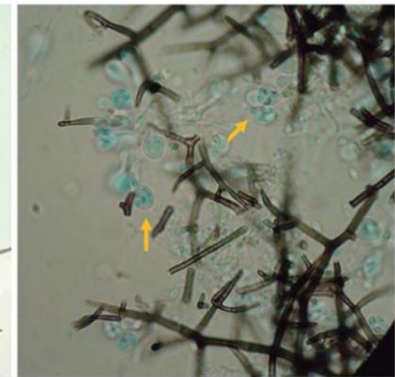


Fig. 5.13. Gimnotecio. Ascocarpo x 10 (izq.); ascos con ascosporas x 40 (der.)
Fotografías: LAMFU



➡ **Casmotecio:** ascocarpo cerrado; los ascos son liberados al madurar, a través de una rotura de la pared. Característico de los mildes polvosos (ej *Podosphaera pannosa*)

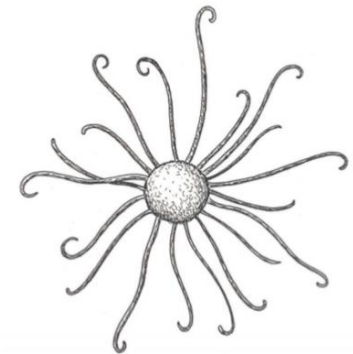
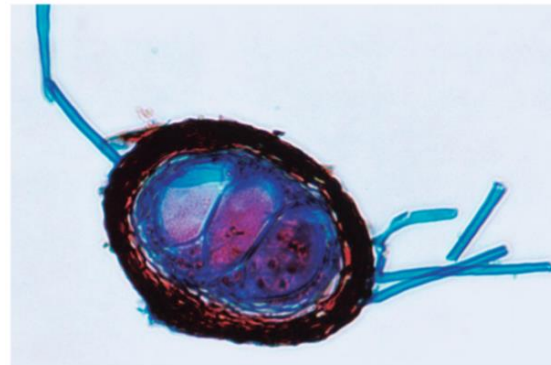
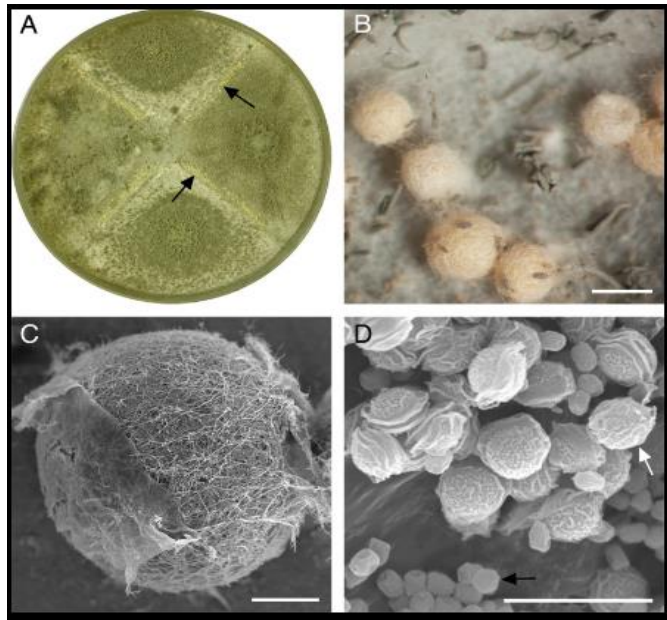


Fig. 5.14. Corte coloreado de este ascocarpo x 40 (izq.); esquema de un casmotecio de un mildes polvoso (der.)
Fotografía: LAMFU. Esquema: Jhon Jairo Colorado López



Fuente: O'Gorman CM, Fuller H, Dyer PS. Discovery of a sexual cycle in the opportunistic fungal pathogen *Aspergillus fumigatus*. *Nature*. 2009 Jan 22;457(7228):471-4.

Otra característica de gran utilidad taxonómica es la micromorfología de las esporas sexuales

FIG 2 Sexual reproduction in *Aspergillus lentulus*. (A) Paired cultures of isolates 78-2 (MAT1-2) x 78-3 (MAT1-1) on oatmeal agar (9-cm-diameter petri dish) with cleistothecia (arrows) along the barrage zones following 3 weeks of incubation at 28°C. (B) Close-up of a barrage zone showing pale yellow cleistothecia. Scale bar, 400 µm. (C) SEM micrograph of a cleistothecium showing the interwoven hyphae that form the peridial wall. Scale bar, 100 µm. (D) SEM micrograph of lenticular ascospores (white arrow) and smaller globose conidia (black arrow). Scale bar, 10 µm.

Tenemos que tener presente que hay estructuras de reproducción asexuala que pueden confundirse con estructuras sexuales:



Algunos cuerpos de fructificación de ascomicetos son macroscópicos:



Ejemplos de morfologías de ascoma en familias de *Pezizomycetes*.

- A. Ascobolaceae: *Ascobolus denudatus*;
- B. Caloscyphaceae: *Caloscypha fulgens*;
- C. Chorioactidaceae: *Chorioactis geaster*;
- D. Chorioactidaceae: *Desmazierella acicola*;
- E. Discinaceae: *Gyromitra brunnea*;
- F. Geomoriaceae: *Geomorium furciae*;
- G. Glaziellaceae: *Glaziella aurantiaca*;
- H. Helvellaceae: *Helvella stevensii*;
- I. Morchellaceae: *Morchella americana*;
- J. Otideaceae: *Otidea concinna*;
- K. Pezizaceae: *Hydnobolites* sp. nov.;
- L. Pezizaceae: *Peziza varia*;
- M. Pyronemataceae: *Humaria hemisphaerica*;
- N. Pyronemataceae: *Scutellinia pennsylvanica*;
- O. Pulvinulaceae: *Pulvinula convexella*;
- P. Sarcoscyphaceae: *Microstoma floccosum*;
- Q. Sarcosomataceae: *Galiella rufa*;
- R. Tarzettaceae: *Tarzetta* sp.;
- S. Tuberaceae: *Tuber mexicanum*;
- T. Wynneaceae: *Wynnea americana*.

Créditos fotográficos: A, E, H-S, R. Healy; B, Arthur Grupe; C, DH Pfister; D, Roy Kristiansen, F., Matthew, E., Smith, G., Alan Franck, T., Mark Elliot.

Donde ubicamos a las trufas?



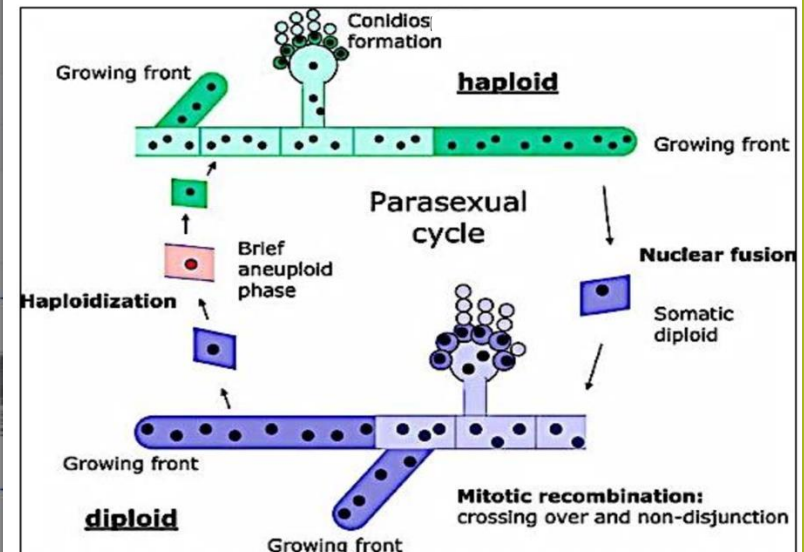
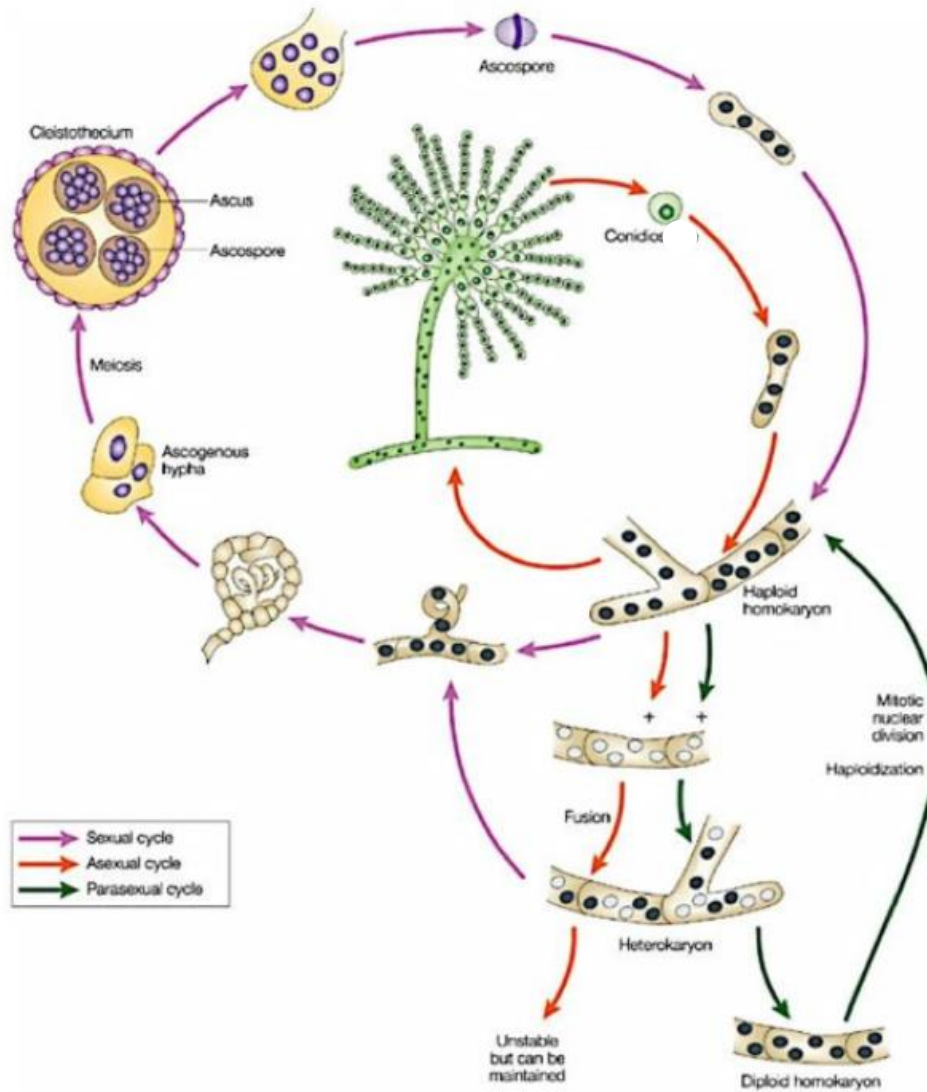
Información adicional:

Nombre común: Trufa negra, trufa violeta.
Sinónimo: *Tuber nigrum* Bull.

Taxonomía:

División: Ascomycota
Subdivisión: Ascomycotina
Clase: Himenoascomycetes
Subclase: Pezizomycetidae
Orden: Tuberales
Familia: Tuberaceae

Tenemos hongos que pueden tener ciclos sexuales, pero también asexuales e incluso parasexuales



Esquema de etapa parasexual en *A. nidulans*

Figure 1-1 Two methods of sporulation of *A. nidulans*: Sexual, parasexual and asexual cycles are all shown. The sexual cycle can be further subdivided into the homothallic and heterothallic cycles (Casselton and Zolan... Expand

Filo *Basidiomycota*

- MICELIO SEPTADO (sin conidios)

↓ Acción de feromonas 🌀

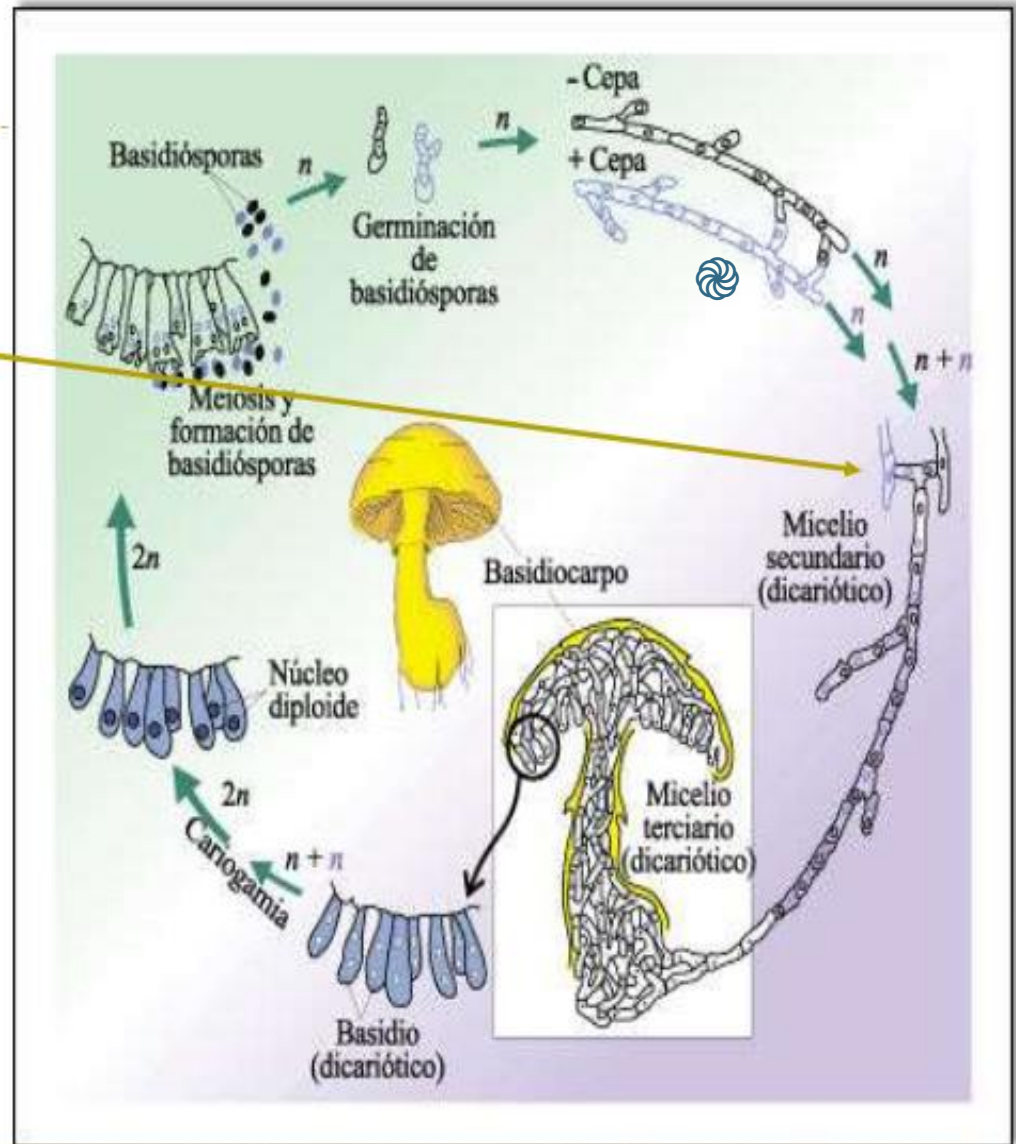
- REPRODUCCIÓN SEXUAL

FUSIÓN DE HIFAS (n)
COMPATIBLES
(indiferenciadas)

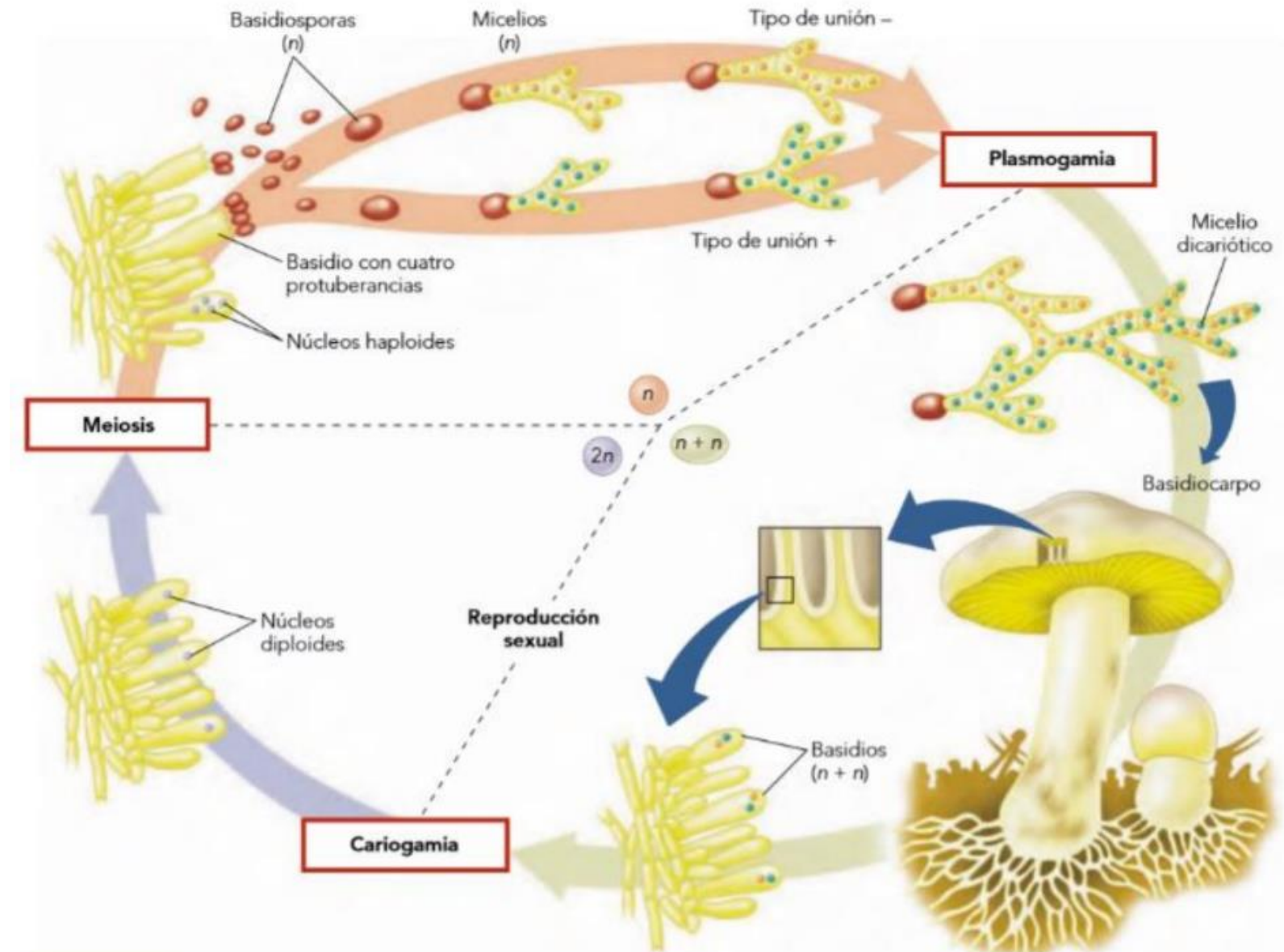
↓
MICELIO DICARIÓN

↓
CUERPOS DE FRUCTIFICACIÓN
BASIDIOCARPOS

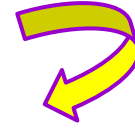
↓
ESPORAS SEXUALES
BASIDIOSPORAS SOBRE
BASIDIOS (CLAVAS)



Basidiosporas



Las basidiosporas no se producen en el interior de sacos sino sobre los esterigmas de una estructura llamada **BASIDIO** (allí se produce la cariogamia y la meiosis)



Diferentes estados de maduración



Probasidio: estado joven, allí se da la cariogamia



Metabasidio: fase en la que ocurre la meiosis

Los esterigmas se producen en el ápice de los basidios, y allí se forman las basidiosporas

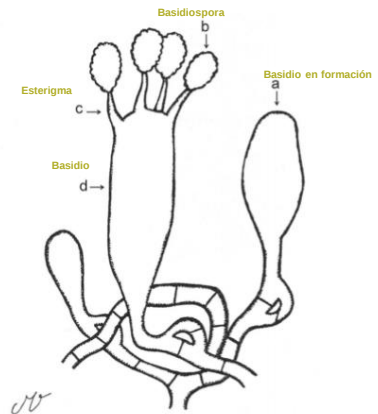
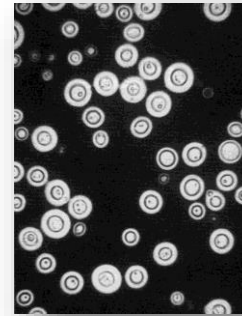


Fig. 5.15a. Esquema. a) basidio en formación, b) basidiospora, c) esterigma, d) basidio
Esquema: Marleny Vargas

Los basidios son muy variables en cuanto a forma, número de esporas y forma de unión al esterigma

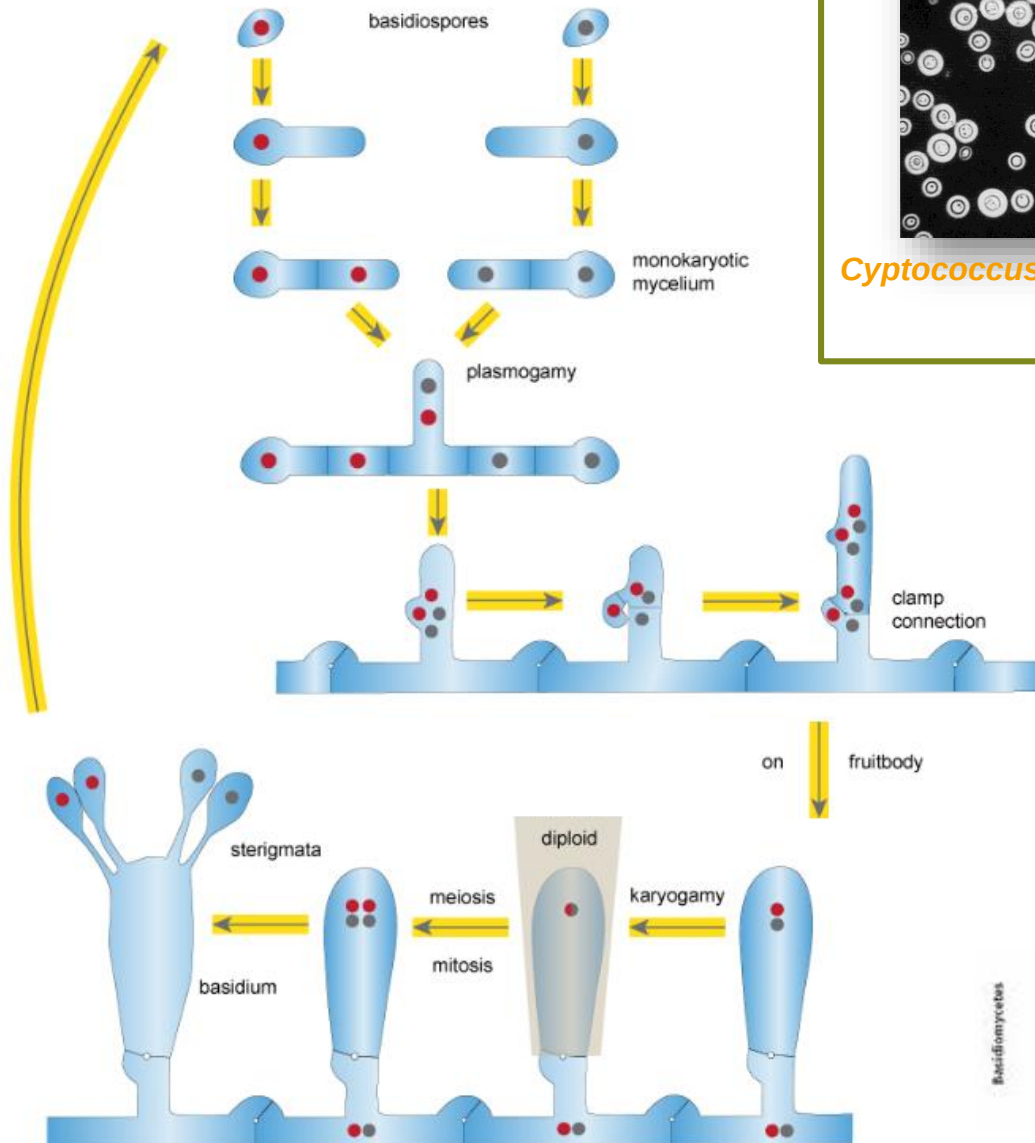
Resumiendo:



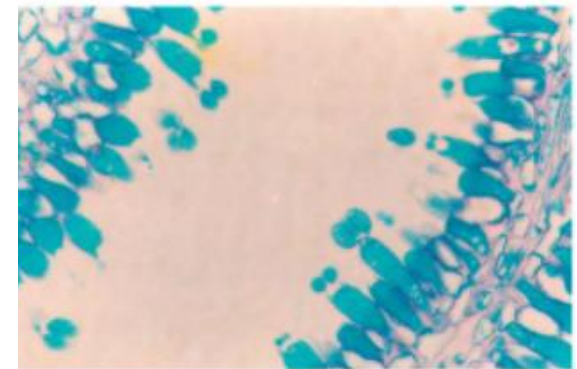
Cryptococcus neoformans



Filobasidiella neoformans
(basidios y basidiosporas)

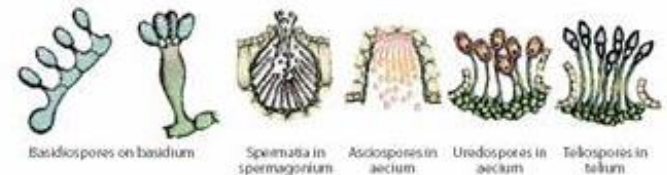


Diagrammatic life cycle of prototypical member of *Basidiomycota*.



p. 5.16. Corte de un himenio con basidio y basidiosporas x 40
ografía: LAMFU

Basidiomycetes



ESTRUCTURAS MACROSCÓPICAS QUE CONTIENEN ESPOROS

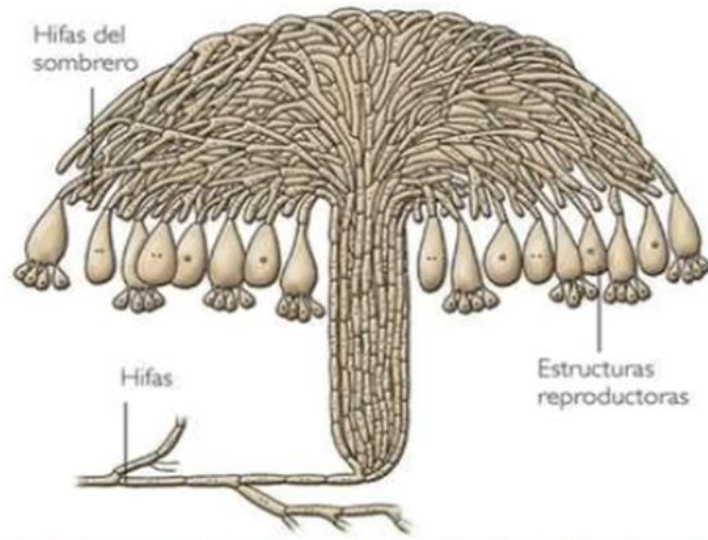
■ SEXUADOS



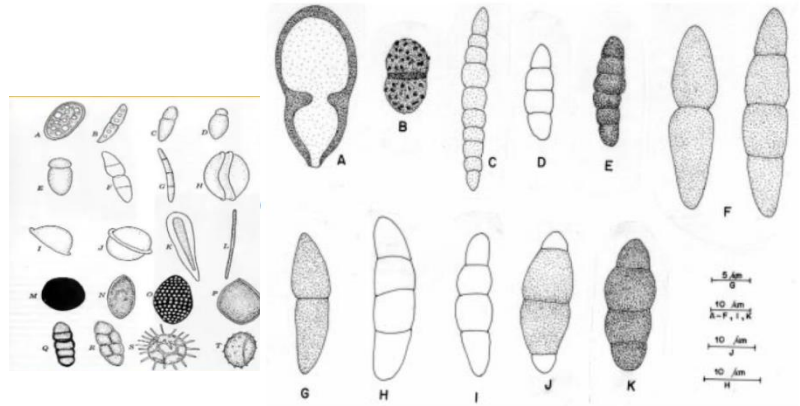
ASCOCARPOS
(Ascomycota)



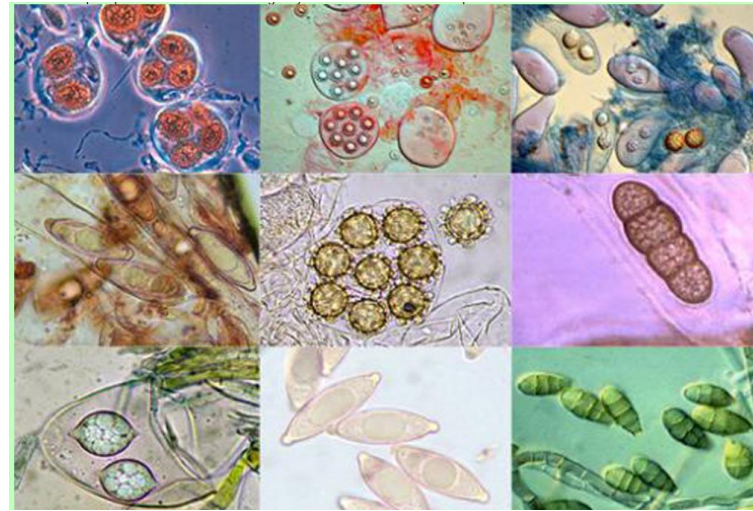
BASIDIOCARPOS (Basidiomycota)



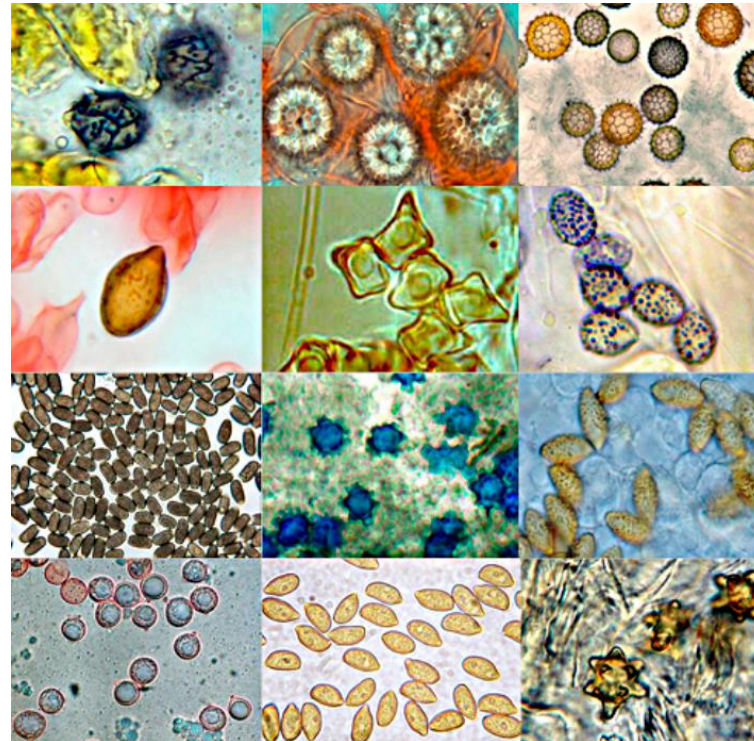
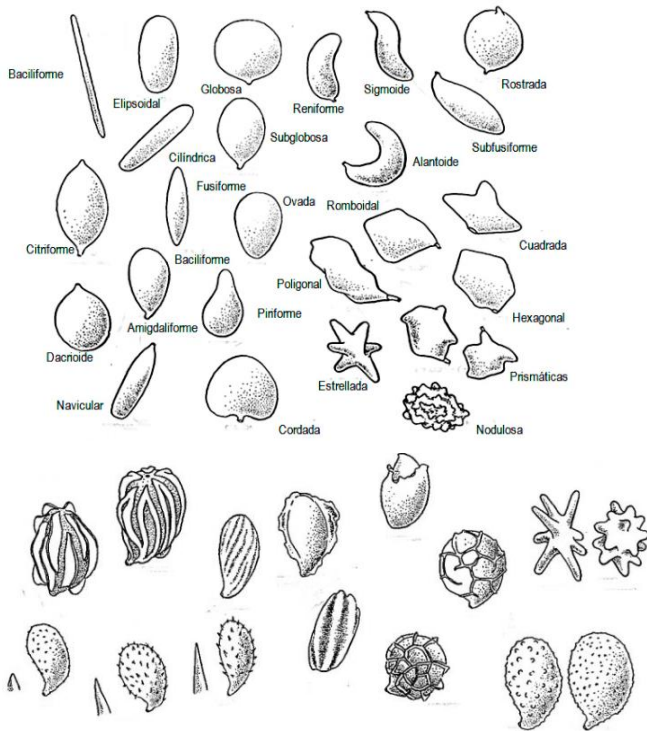
Morfología de las esporas



- Ascosporas. A: *Helicascus kanaloanus* . B: *Didymosphaeria lignomaris* . C: *Chaetomastia typhicola* . D: *Leptosphaeria australiensis* . E: *Phaeosphaeria spartinae* . F: *Wettsteinina marina* . G: *Leptosphaeria oraemaris* . H: *Sphaerulina oraemaris* . I: *Leptosphaeria pelagica* . J: *Passeriniella obiones* . K: *Phaeosphaeria spartinicola*.



ascosporas



basidiosporas

NOMENCLATURA REPRODUCCIÓN FÚNGICA

- SÓLO ASEXUAL → ANAMORFO

Aspergillus rubrobrunneus

- SÓLO SEXUAL → TELEOMORFO

Eurotium rubrum

- SEXUAL Y ASEXUAL → HOLOMORFO

Eurotium rubrum

- EL MÁS ANTIGUO
- EL DE MAYOR ACTIVIDAD

