



TAXONOMÍA FÚNGICA

Asignatura: Microbiología general

Área Micología

Dr. Maximiliano Sortino

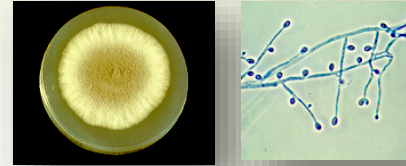
Dra. Lucia Bulacio

Dra. Silvana Ramadán

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

Caracteres

- Morfológicos



- Bioquímicos
- Fisiológicos



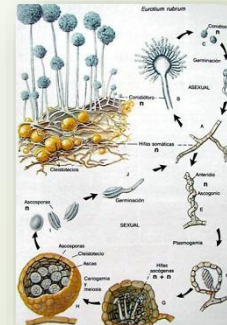
- Localización en hospedero
- Efecto sobre el hospedero



- Hábitat
- Hospederos



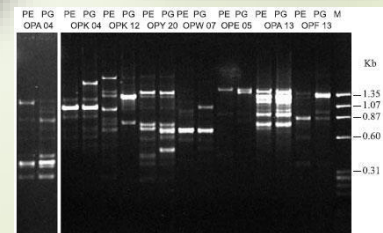
- Ciclo biológico



- Ecología



- Caracterización molecular (proteínas, ácidos nucleicos)





Sistemática:

estudio de la diversidad y las relaciones entre los distintos grupos de organismos

Taxonomía:

estudio de la clasificación, incluyendo reglas, teorías, principios y procedimientos



La sistemática incluye a la taxonomía, y comprende por lo tanto:

clasificación, nomenclatura, identificación, filogenia.



La **filogenia** es la historia de la evolución de un grupo de organismos

Estudios filogenéticos

- ❖ La sistemática documenta las propiedades de las especies.
- ❖ Evolución: los seres vivos están conectados por una historia evolutiva que refleja relaciones ancestro:descendiente (con modificación) → hay estructuras que los descendientes de un mismo ancestro deben compartir, son estructuras homólogas.
- ❖ Conocimiento organizado alrededor de una clasificación natural facilita la posibilidad de hacer predicciones acerca de las especies y sus propiedades.
- ❖ Se buscan grupos monofiléticos naturales.



TAXONOMÍA

Taxón: un grupo taxonómico de cualquier rango/categoría

❖ Ciencia de la clasificación, 2 disciplinas:

Identificación

Nomenclatura

❖ Propósitos:

Nombrar los organismos de acuerdo a un sistema internacionalmente aceptado.

Indicar el concepto de la relación de los organismos con cada uno de los otros seres vivos



TAXONOMÍA



Métodos para clasificar las especies en grupos:

1. Método fenético: las especies se agrupan según sus características fenotípicas. Es una clasificación no evolutiva.
2. Método filogenético: es evolutivo, se clasifican sólo las entidades que tienen relaciones evolutivas. Se clasifican las especies según cuanto tiempo hace que han compartido un ancestro común.

✓ Dificultades en la clasificación de los hongos: -Pleomorfismo (cambios morfológicos)

Teleomorfo

Anamorfo (Sinanamorfo)



Holomorfo



Nomenclatura

Categorías taxonómicas

SUFIJOS DIFERENCIALES:

FILO	-mycota
SUBFILO	-mycotina
CLASE	-mycetes
SUBCLASE	-mycetidae
ORDEN	-ales
SUBORDEN	-ineae
FAMILIA	-aceae
SUFAMILIA	-oideae

Filo *Ascomycota*

Subfilo *Pezizomycotina*

Clase *Sordariomycetes*

Orden *Hypocreales*

Familia *Nectriaceae*

Género *Fusarium*

Especie, ej.: *Fusarium tucumaniae*

Categorías intraespecíficas: variedades, patotipos, formas, razas, etc.



Nomenclatura

Código internacional de nomenclatura de algas hongos y plantas (antes CINB) Código de Melbourne, 2012

- ❖ El nombre de especie es **binomial**. Ej: *Fusarium tucumaniae*.
- ❖ En publicaciones científicas se agrega el nombre del autor que introdujo el nombre. Ej: *Fusarium tucumaniae* T. Aoki., O'Donnell, Yos. Homma et Lattanzi
- ❖ Cada especie está estandarizada por su primera descripción, que se hace en latín o en inglés. Una muestra de la misma debe estar depositada en una Colección de Cultivos para estudios comparativos: **especimen tipo** (preservados en un estado metabólicamente inactivo)
- ❖ Se debe respetar el **principio de prioridad**: si se proponen varios nombres para una misma especie en distintas publicaciones, el más antiguo (siempre que sea correcto, claro) es el válido.
- ❖ El nombre científico de un hongo puede cambiar. Por ej. Se realiza la revisión de toda una familia de hongos, y se concluye que algunos géneros no son válidos => las especies se distribuyen en nuevos géneros. Como consecuencia, una misma especie, además del nombre válido, puede exhibir toda una cohorte de **sinónimos**.

Un hongo = un nombre



Nomenclatura

Código internacional de nomenclatura de algas hongos y plantas (Berlín 2018)

- ❑ Originariamente, cuando un hongo tenía descriptos el anamorfo y el teleomorfo, se le daba prioridad a este último.
- ❑ Ahora, para la elección del nombre no hay prioridades para ninguna de las 2 formas, se podría elegir cualquiera de ellas.
- ❑ En los casos en que el anamorfo fue descrito primero, se puede usar esa nomenclatura aunque el teleomorfo se describa después.
- ❑ Al clasificar parásitos, especialmente hongos, se pueden distinguir dentro de las especies formas especiales (*formae speciales*) caracterizadas por su adaptación a diferentes hospederos, pero la nomenclatura de esas formas especiales no se rige por las disposiciones de este *Código*.

Debe prevalecer el primer nombre válido independientemente de que sea el anamorfo o el teleomorfo



Sistemas de clasificación de los organismos vivos

2 Reinos	3 Reinos	2 Imperios	4 Reinos	5 Reinos	6 Reinos	3 Dominios
	Protistas	Procariontes	Monera	Monera	Eubacterias	Bacterias
					Arqueobacterias	Arquea
		Eucariontes	Protistas	Protistas	Protistas	Eucariontes
				Hongos	Hongos	
Vegetales	Plantas		Plantas	Plantas	Plantas	
Animales	Animales		Animales	Animales	Animales	
Linnaeus 1735	Haeckel 1866	Chatton 1937	Copeland 1956	Whittaker 1969	Woese et al. 1977	Woese et al. 1990

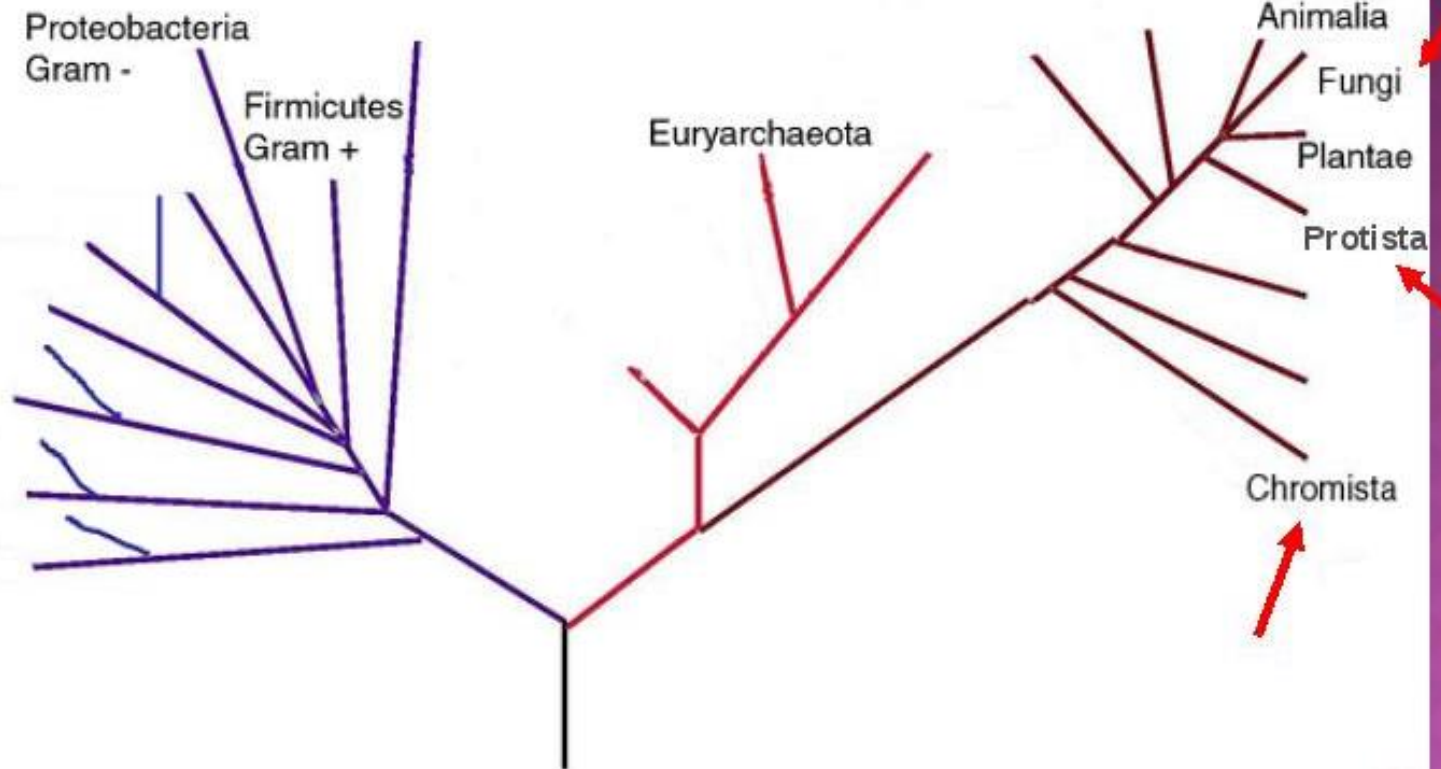


ARBOL FILOGENETICO UNIVERSAL

Bacteria

Archaea

Eucarya





REINO FUNGI: hongos verdaderos

Filogenia fúngica

Los hongos, como gran conjunto de organismos, son un grupo ***monofilético***, lo que significa que todas las variedades de hongos provienen de un ancestro común.

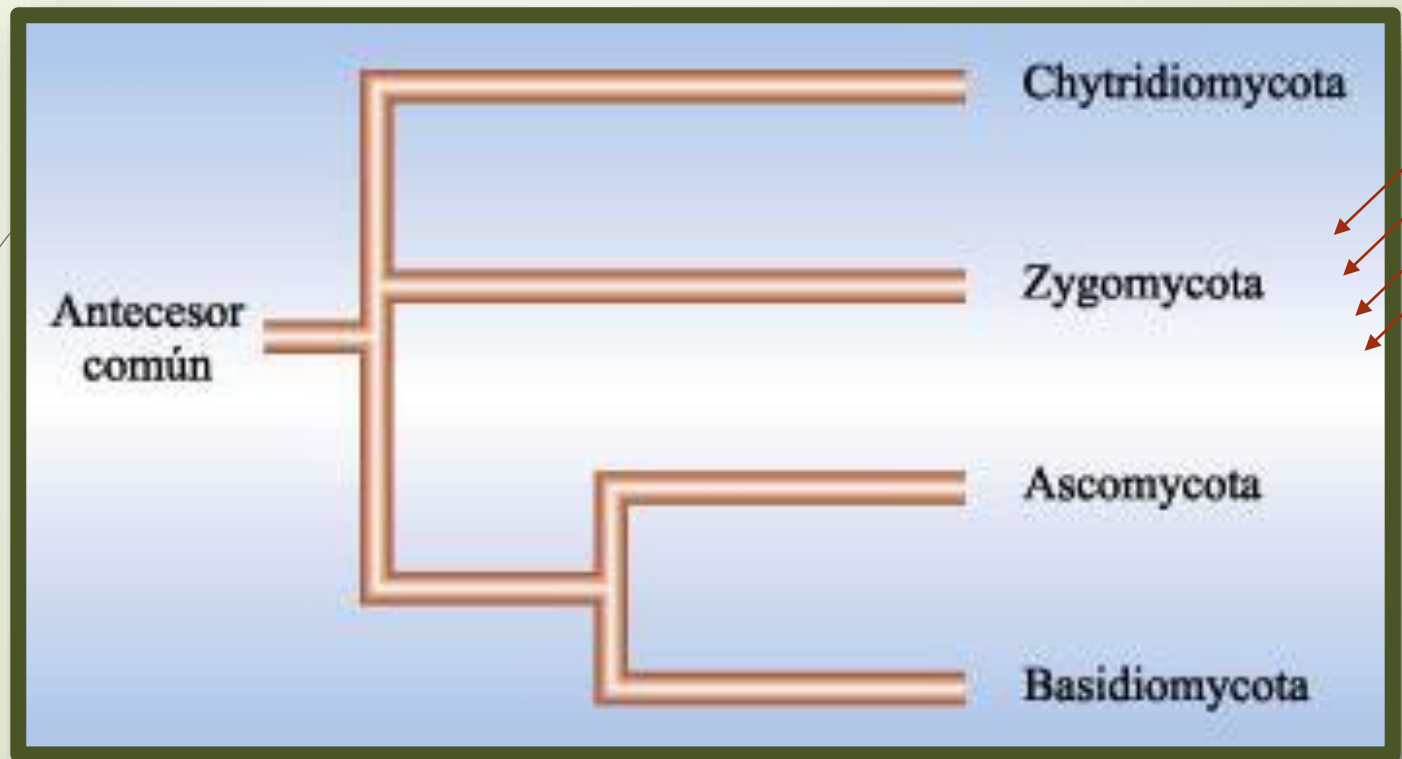
El origen *monofilético* de los hongos se ha confirmado mediante múltiples experimentos de filogenética molecular.

Los rasgos ancestrales que comparten incluyen la **pared celular quitinosa** y la **heterotrofía por absorción**, así como otras características compartidas.



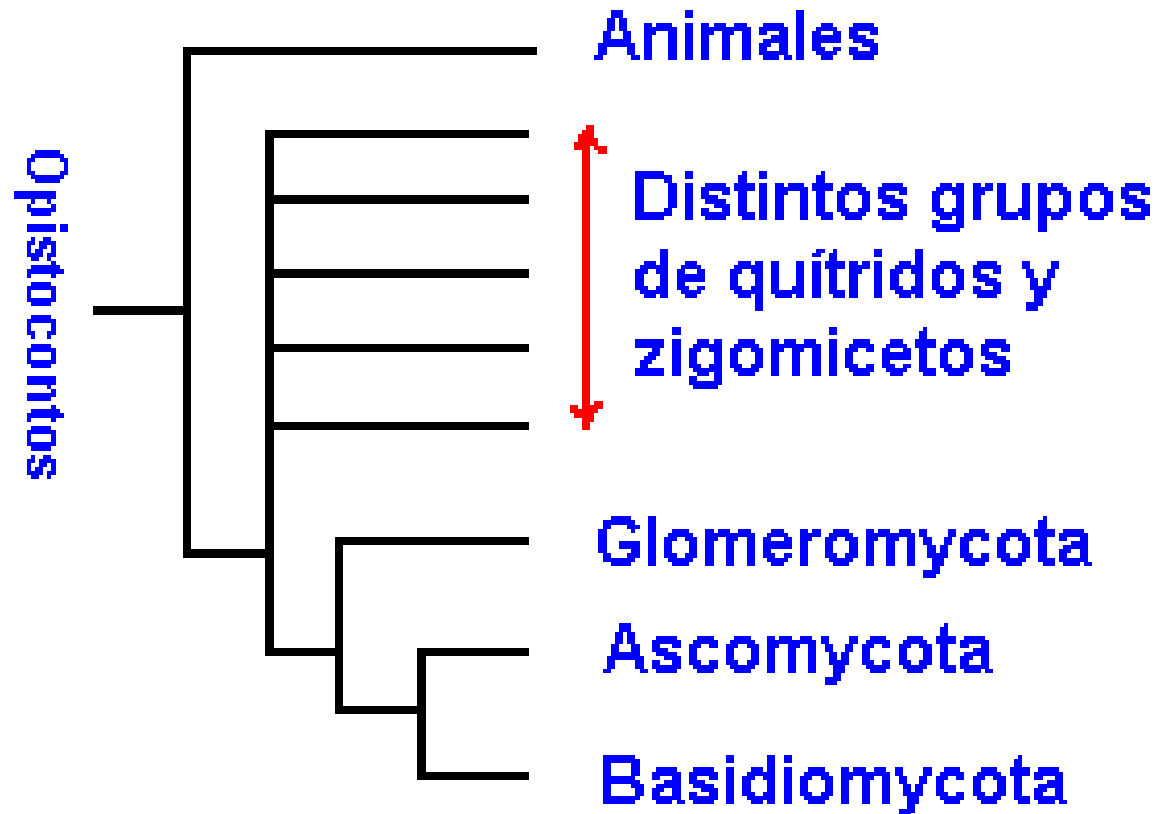
Antes

REINO FUNGI





Supergrupo: **OPISTOCONTOS**





El filo ***Zygomycota*** no es monofilético.
Las endomicorrizas vesículo/arbusculares ya no se incluyen aquí, sino en el filo ***Glomeromycota***.

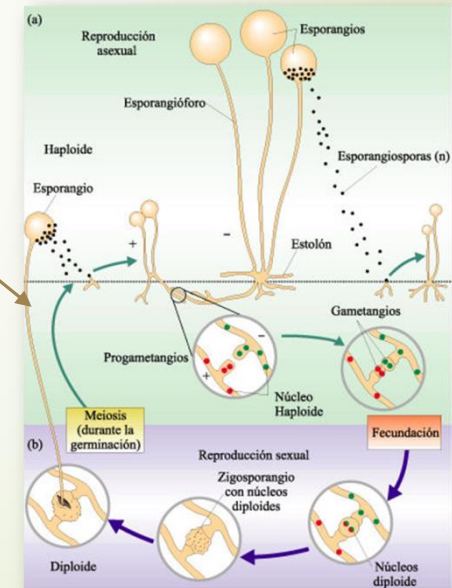
Actualmente se distinguen 4 subfilos dentro del filo tradicionalmente conocido como ***Zygomycota***:

❖ Subfilo *Mucoromycotina*

❖ Subfilo *Kickxellomycotina*

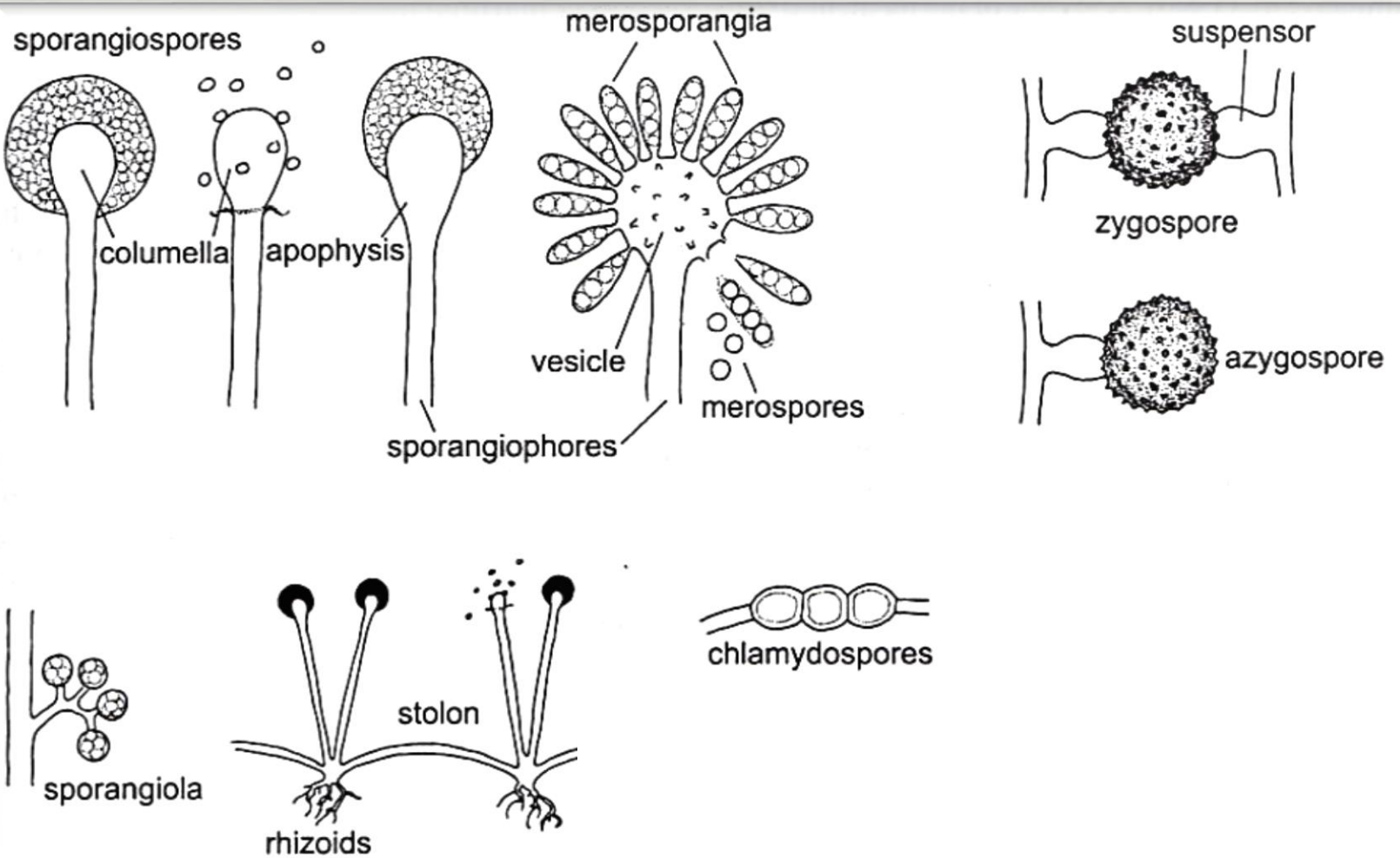
❖ Subfilo *Entomophthoromycotina*

❖ Subfilo *Zoopagomycotina*





Mucoromycotina





Subfilo *Mucoromycotina*

Orden *Mucorales*

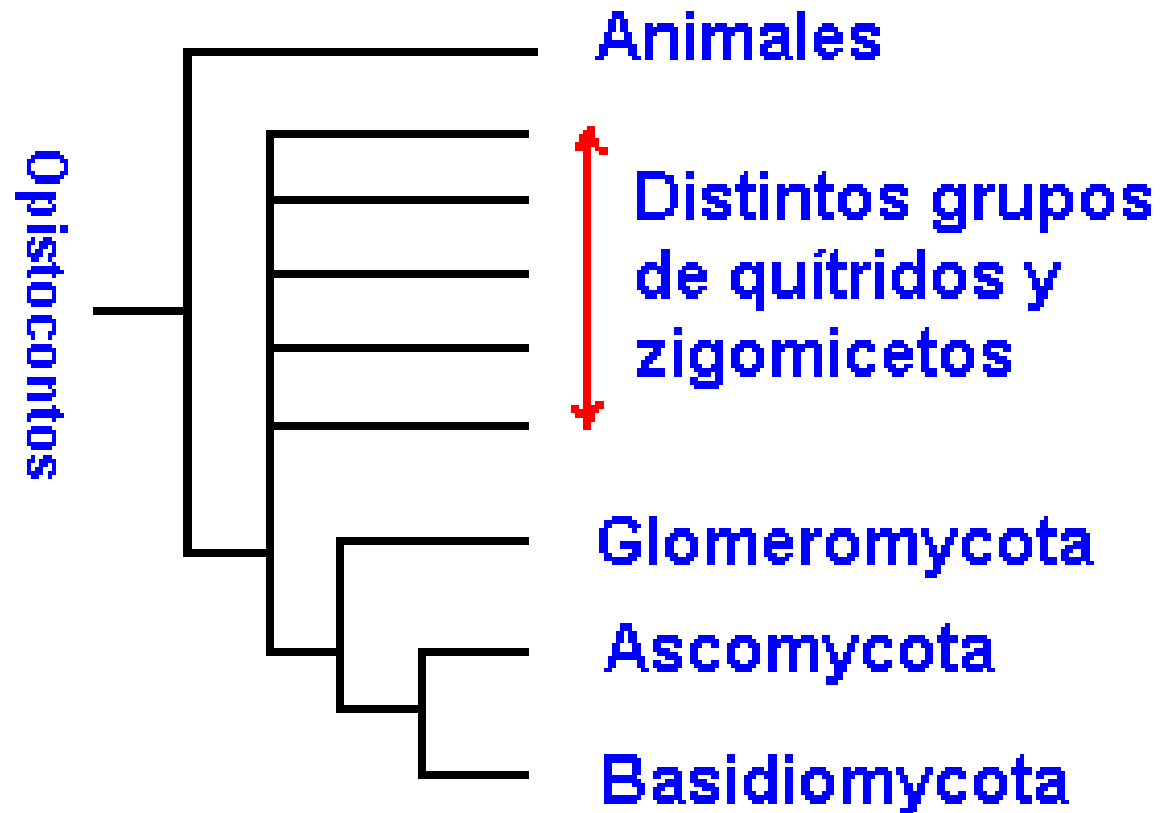


Nunca hubo diferencia de nomenclatura entre anamorfo y teleomorfo

- ✓ saprófitos en su mayoría
- ✓ importancia económica, síntesis de productos industriales:
Rhizopus stolonifer (= *R. nigricans*), fabricación de ácido fumárico, y en la laboración de cortisona
R. oryzae, producción de alcohol
Rhizopus sp., producción de ácidos láctico, cítrico, succínico, oxálico, etc.
- ✓ parásitos débiles sobre frutos
- ✓ causantes de infecciones oportunistas en pacientes inmunocomprometidos. Agentes: *Rhizopus*, *Mucor*, *Absidia*, *Cunninghamella*.
- ✓ producen deterioro de semillas, hongos de almacenaje, *Rhizopus*, *Mucor*.



Supergrupo: **OPISTOCONTOS**

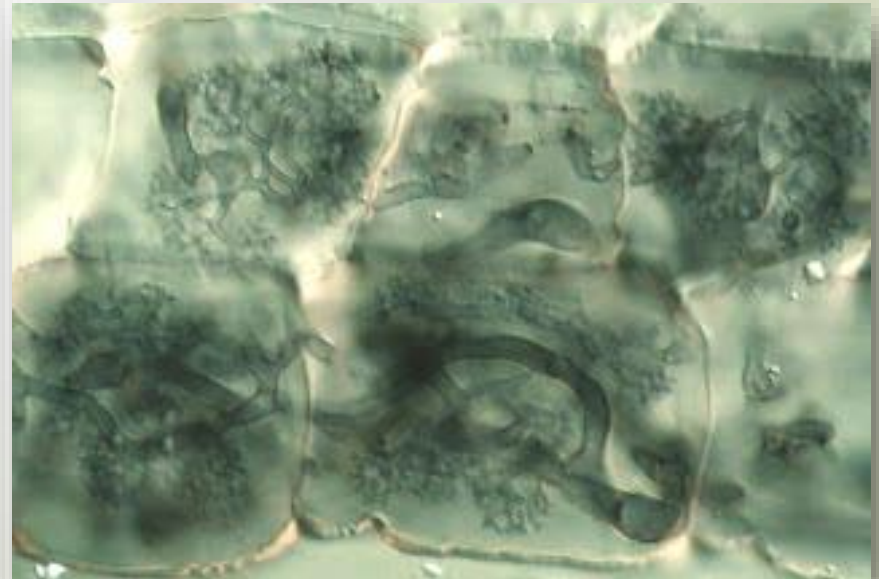
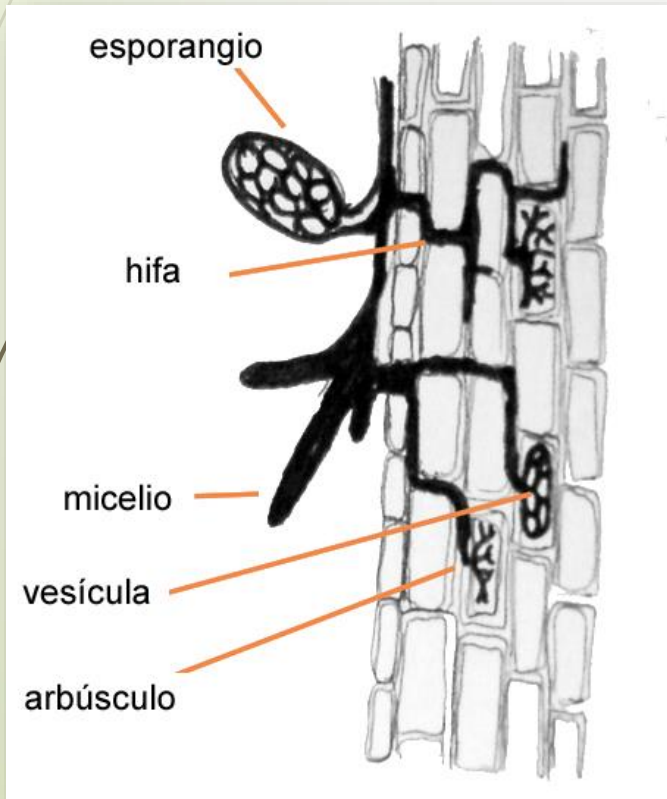




Filo *Glomeromycota*

A este filo, con una única clase (***Glomeromycetes***), pertenecen los **hongos MVA** (micorrizas vesículo-arbusculares, el tipo más extendido de endomicorrizas).

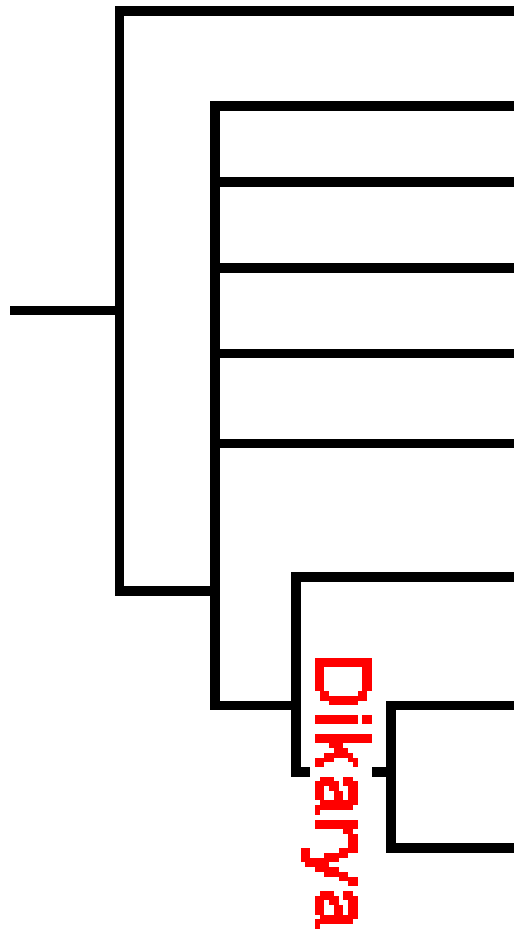
Las **MVA** forman los arbúsculos, dentro de las células del córtex radical por medio de los arbúsculos se realiza la transferencia de nutrientes entre los dos simbios. Las **MVA** se dan en más del 80% de las especies de vegetales superiores.



Fotografía de arbúsculos en el interior de células de raíz



Opisthokontos



Animales



Distintos grupos
de quítridos y
zigomicetos

Glomeromycota

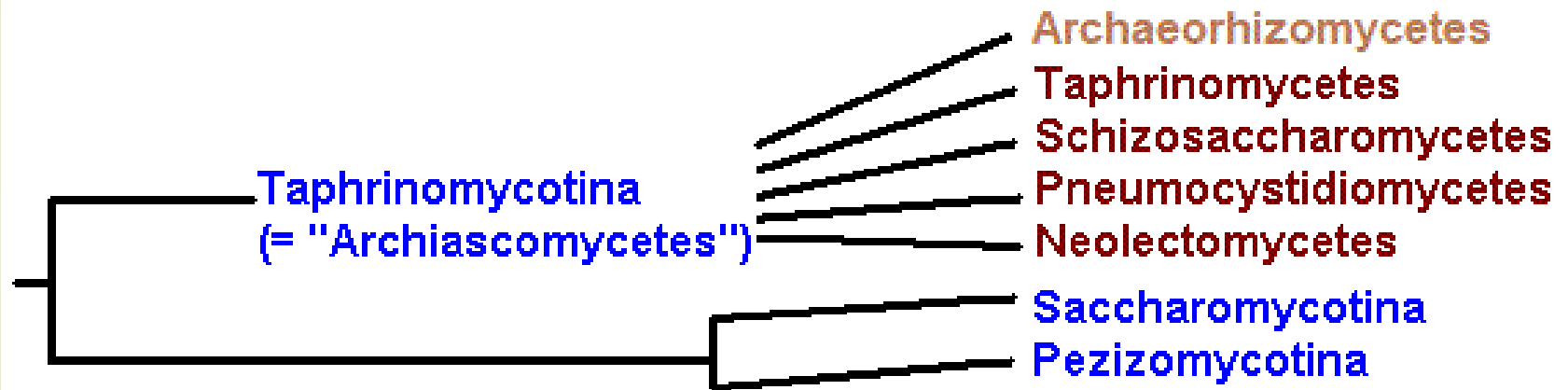
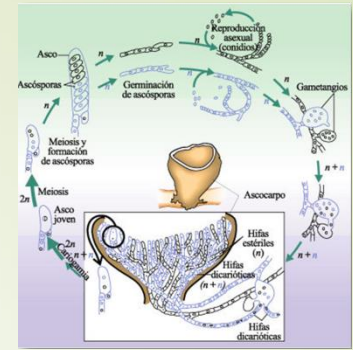
Ascomycota

Basidiomycota



Sub-reino Dikarya

Filo *Ascomycota*



El primer grupo en diferenciarse fue el de los *Archiascomycetes*, hoy incluidos en el subfilo ***Taphrinomycotina***. En éste hay hongos fitoparásitos como *Taphrina*, parásitos humanos como *Pneumocystis*, etc.

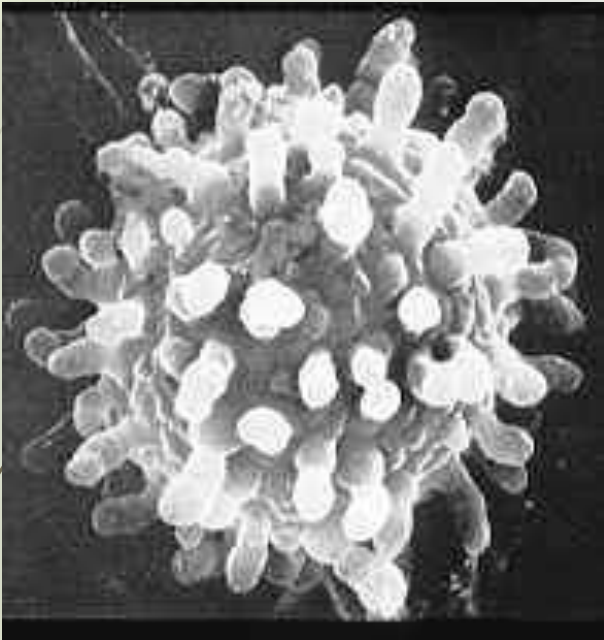
El resto de ascomicetos se escindió en dos grandes grupos (subfilos): las levaduras típicas (***Saccharomycotina***) y los ascomicetos filamentosos (***Pezizomycotina***).



Filo *Ascomycota*

Subfilo Pezizomycotina

Orden *Onygenales*



Histoplasma capsulatum

Otros *Ascomycota* de importancia clínica:

Trichophyton (dermatofitos)

Scedosporium apiospermum

Candida

Aspergillus

Penicillium

Paracoccidioides spp.

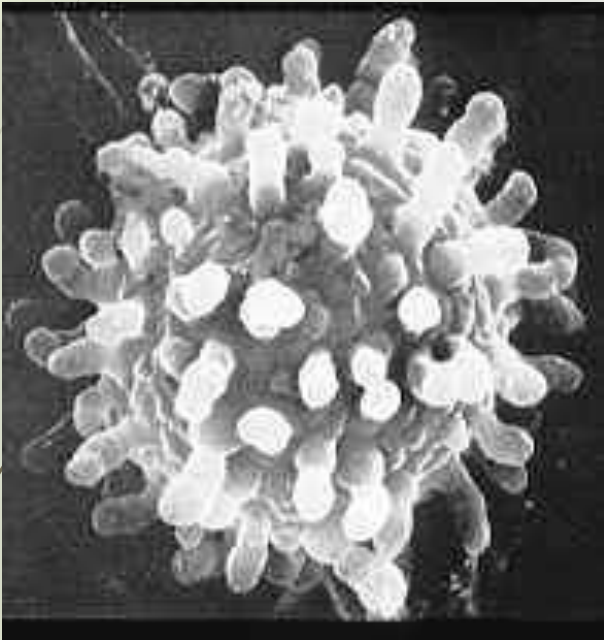
Coccidioides spp.



Filo *Ascomycota*

Subfilo Pezizomycotina

Orden *Onygenales*



Histoplasma capsulatum

Otros *Ascomycota* de importancia clínica:

Trichophyton (dermatofitos)

Scedosporium apiospermum

Candida

Aspergillus

Penicillium

Paracoccidioides spp.

Coccidioides spp.



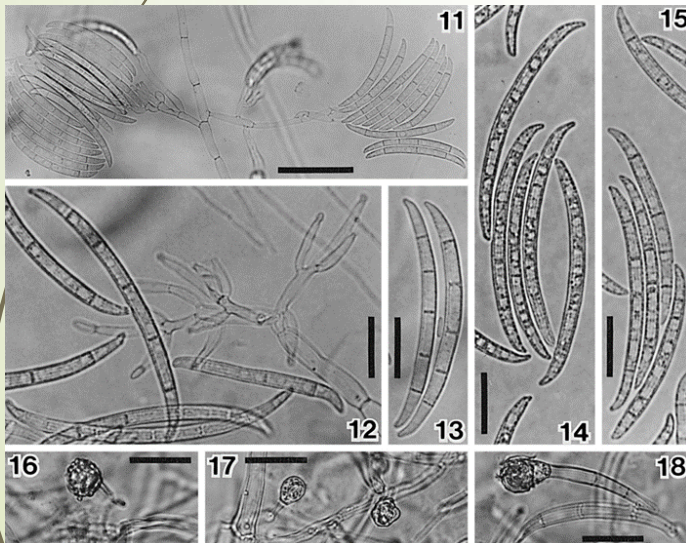
Filo *Ascomycota* Subfilo *Pezizomycotina* Orden *Hypocreales*

Fusarium tucumaniae

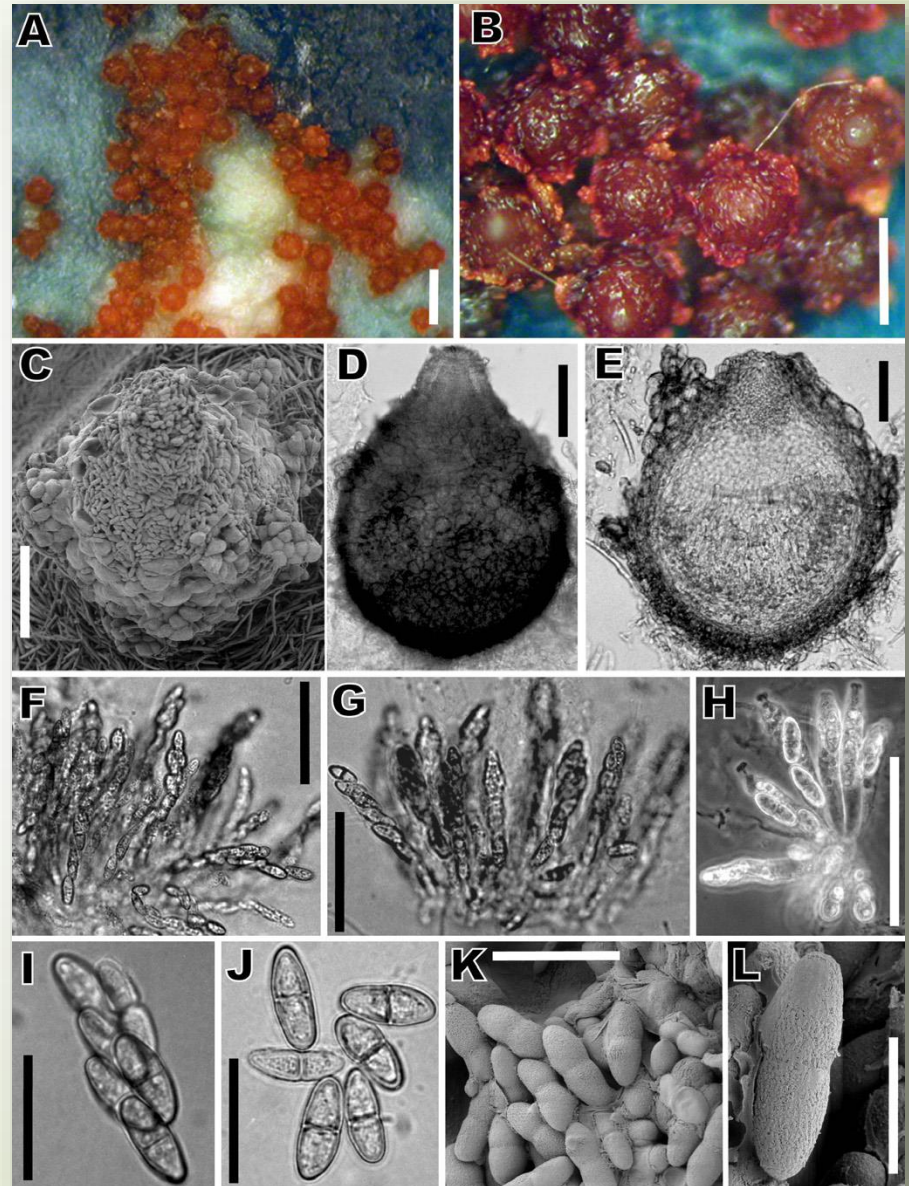
SMS (Síndrome de la muerte súbita de la soja)



Anamorfo



Teleomorfo

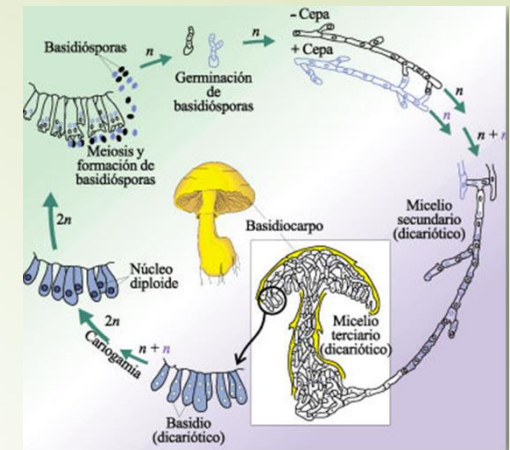
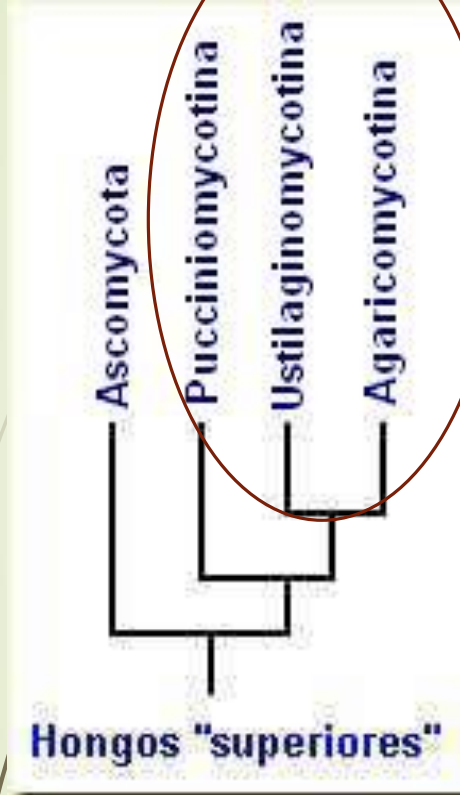




Sub-reino Dikarya

Filo *Basidiomycota*

Subfilos



- ***Pucciniomycotina*** (antes *Urediniomycetes* = *Teliomycetes*): las royas y hongos afines.
- ***Ustilaginomycotina*** (antes *Ustilaginomycetes* = *Ustomycetes*): los carbones y afines.
- ***Agaricomycotina*** (antes *Basidiomycetes* = *Hymenomycetes*): son los basidiomicetos en sentido estricto, como setas y otros que pueden causar patologías.
- Existen otros taxones minoritarios

Royas: Forman 4 basidiosporas por promicelio; el crecimiento en placa de Petri es difícil o imposible; parasitan pteridófitos, gimnospermas y angiospermas.

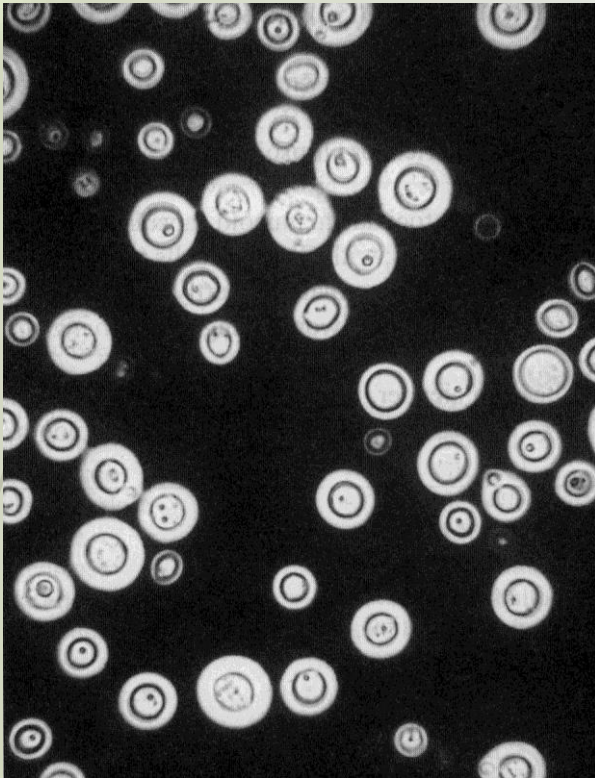
Carbones: Forman un número indefinido de basidiosporas por promicelio; crecen fácilmente en medios de cultivo, donde pueden comportarse como levaduras; parasitan angiospermas.



Filo *Basidiomycota* Subfilo *Agaricomycotina*

Tremellomycetes

Cryptococcus neoformans



Levaduras



Basidios y basidiosporas

Otros *Basidiomycota* de importancia clínica:
Malassezia, *Trichosporom* y *Rhodotorula*.



Filo *Basidiomycota*

Subfilo *Pucciniomycotina*

Phakopsora pachyrhizi

Roya asiática de la soja



Uredinosporas





HONGOS MITOSPÓRICOS

(Deuteromycotina, Deuteromicetes, Fungi Imperfecti, hongos asexuales)

- ☐ A muchos hongos mitospóricos no se les conoce el teleomorfo
- ☐ Algunos hongos han perdido la habilidad de reproducirse sexualmente
- ☐ Algunos hongos pueden reproducirse sexualmente sólo raramente, y bajo condiciones definidas
- ☐ Los ciclos de vida de muchos hongos son desconocidos o poco conocidos



HONGOS MITOSPÓRICOS

(Deuteromycotina, Deuteromycetes, Fungi Imperfecti, hongos asexuales)

- **Blastomicetos:** levaduras anamórficas.
- **Agonomycetos:** (Mycelia sterilia) formas miceliares estériles, pueden producir clamidoconidios, esclerotes.
- **Coelomicetos:** producen conidios en cuerpos fructíferos (picnidios y acérvula).
- **Hifomicetos:** formas miceliares con conidios

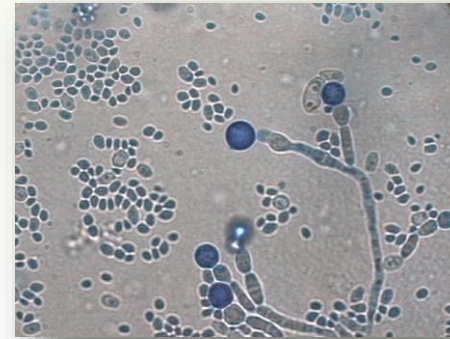
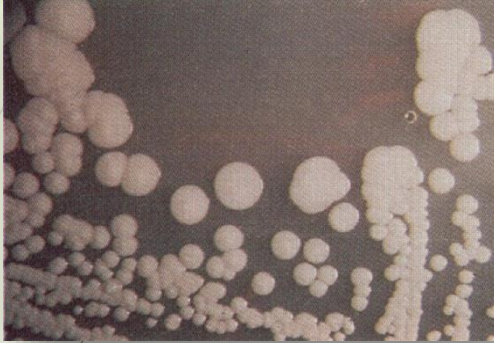


Blastomicetos

levaduras anamórficas

Sistemas de clasificación de levaduras

1.- Morfología : crecimiento en varios medios de cultivo.



2.- Características fisiológicas:

- .- asimilación y fermentación de fuentes de carbono y nitrógeno
- .- crecimiento a diferentes temperaturas
- .- producción de ácidos de glucosa
- .- hidrólisis de urea
- .- actividad lipolítica
- .- resistencia a cicloheximida
- .- tolerancia a ácido acético
- .- liquefacción de la gelatina

ID 32 C



Estos estudios han sido utilizados para elaborar claves de identificación que nos permiten clasificar las especies de los diferentes géneros de levaduras.



Saccardoan System

Based primarily on:

- Conidiophore position - free, or within pycnidia or acervuli
- Conidium and conidiophore pigmentation and morphology

Deuteromycota

- Imperfect fungi
- Hyphae – well-developed & septate
- Asexual spore = conidium
- Mostly anamorphs of Ascomycota

Due to its artificial nature, the formal taxonomic hierarchy shown below has been discontinued. It is included here because of its presence in the literature and it remains an effective way to organize and learn these fungi.

Conidiophore superficial
Conidiomata not produced

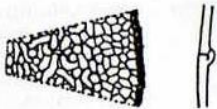
Conidia produced within
asexual fruit bodies

Hyphomycetes

Coelomycetes

Mycelia Sterilia

- No conidia produced
- Sclerotia may be formed
- Root rot, crown rot diseases
- *Rhizoctonia* (Basidiomycota anamorph)
- *Sclerotium*



Moniliales

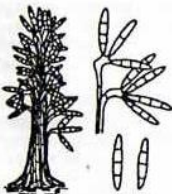
- Conidia free and produced either:
 - directly on mycelium
 - on distinct conidiophores
 - on separate conidiogenous cells

Conidiophores:
• mostly single
• separate/loose clusters

Conidiophores grouped/clustered

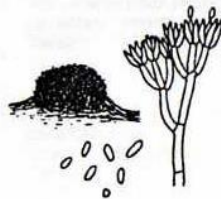
Stilbaceae

- Conidiophores = Synnemata
- Dutch elm disease
- *Stilbum* • *Pesotum*
- *Graphium* • *Arthrosporium*



Tuberculariaceae

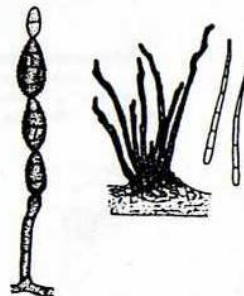
- Conidiophores = Sporodochia
- Canker, wilt diseases
- *Strumella* • *Fusarium*



Dematiaceae

- Conidia or mycelium - pigmented
- Leaf spots, blight, root rot diseases

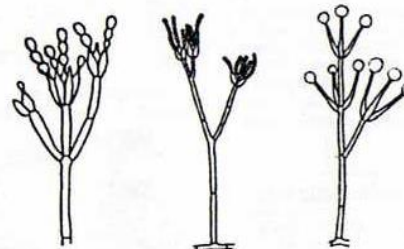
- *Aureosporium*
- *Cercospora*
- *Leptographium*
- *Cladosporium*
- *Drechslera*, *Bipolaris*
- *Alternaria*



Moniliaceae

- Conidia - hyaline
- Gray mold, wilt, root rot, blight rot of stored seed, canker diseases

- *Aspergillus*
- *Botrytis*
- *Fusarium*
- *Paecilomyces*
- *Cylindrocadum*
- *Penicillium*
- *Candida*
- *Verticillium*
- *Trichoderma*
- *Sporobolomyces*



Sphaeropsidales

- Asexual fruit body = Pycnidium
- Blight, canker, leaf spot diseases

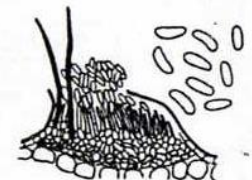
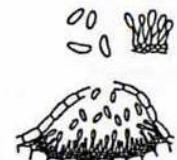
- *Phomopsis* • *Diplodia*
- *Cytospora* • *Dothlostoma*
- *Ascochyta* • *Septoria*



Melanconiales

- Asexual fruit body = Acervulus
- Anthracnose, leaf spots, blight diseases

- *Colletotrichum* • *Pestalotia*
- *Melanconium* • *Gleospodium*
- *Phragmotrichum*

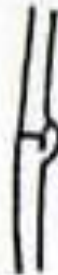
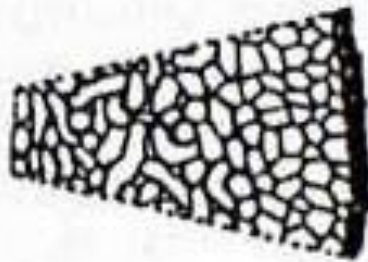




Agonomycetos: (Mycelia sterilia)

Mycelia Sterilia

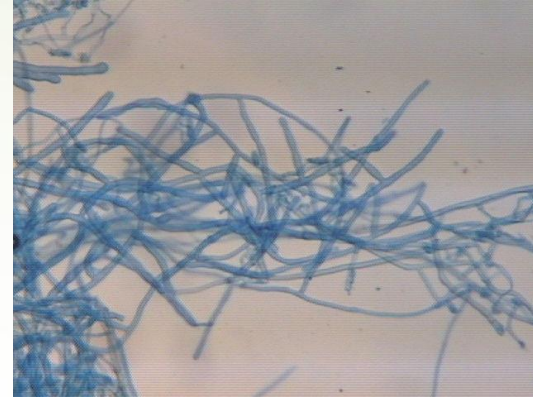
- No conidia produced
- Sclerotia may be formed
- Root rot, crown rot diseases
- *Rhizoctonia* (Basidiomycota anamorph)
- *Sclerotium*





Agonomi cetos: (Mycelia sterilia)

Rhizoctonia



Sclerotium

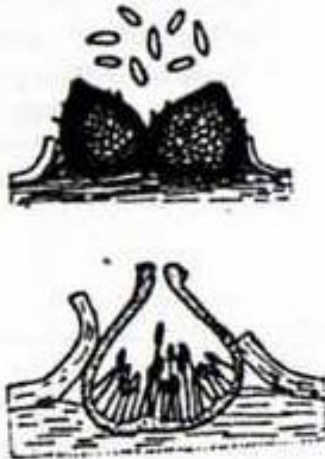




Coelomicetos

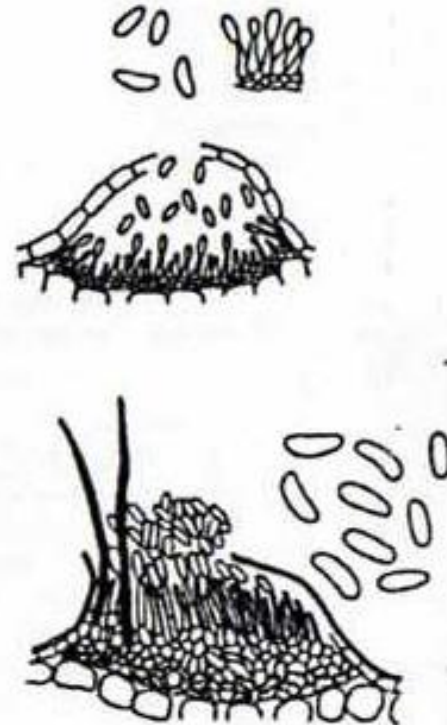
Sphaeropsidales

- Asexual fruit body = Pycnidium
- Blight, canker, leaf spot diseases
- *Phomopsis* • *Diplodia*
- *Cytospora* • *Dothiostroma*
- *Ascochyta* • *Septoria*



Melanconiales

- Asexual fruit body = Acervulus
- Anthracnose, leaf spots, blight diseases
- *Colletotrichum* • *Pestalotia*
- *Melanconium* • *Gleospodium*
- *Phragmotrichum*

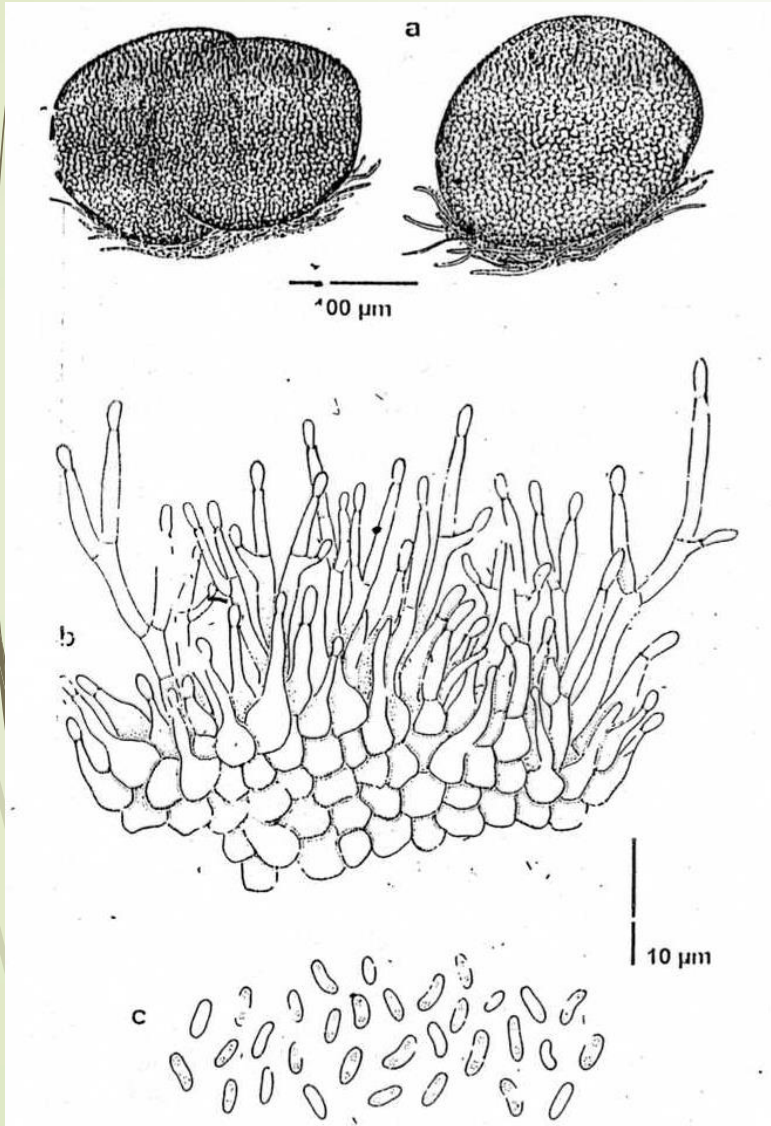
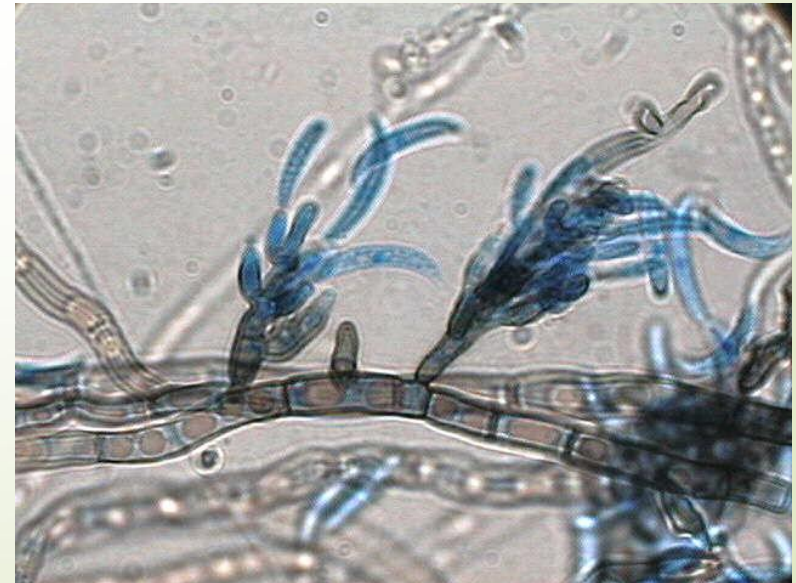
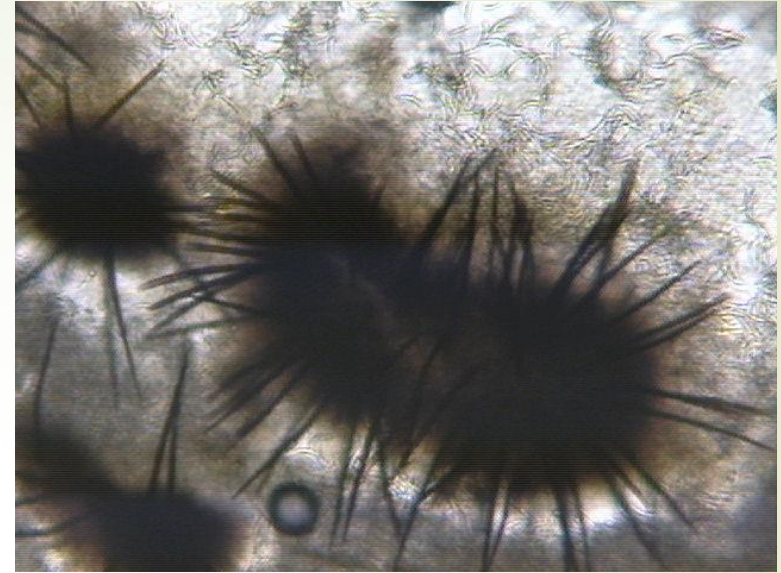




Coelomicetos: producen conidios en cuerpos fructíferos.

***Colletotrichum* spp.** **Acérvula**

***Phoma* spp.** **Picnidios**





Hifomicetos

Moniliales

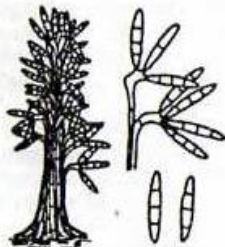
- Conidia free and produced either:
 - directly on mycellum
 - on distinct conidiophores
 - on separate conidiogenous cells

- Conidiophores:
- mostly single
 - separate/loose clusters

Conidiophores grouped/clustered

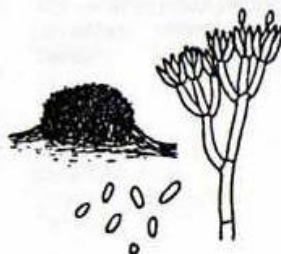
Stilbaceae

- Conidiophores = Synnemata
- Dutch elm disease
- *Stilbum* • *Pesotum*
- *Graphium* • *Arthrosporium*



Tuberculariaceae

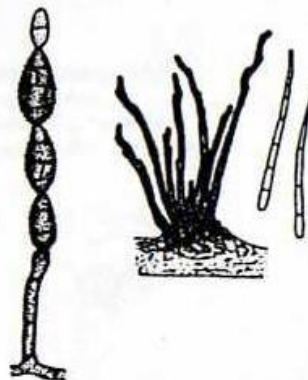
- Conidiophores = Sporodochia
- Canker, wilt diseases
- *Strumella* • *Fusarium*



Dematiaceae

- Conidia or mycellum - pigmented
- Leaf spots, blight, root rot diseases

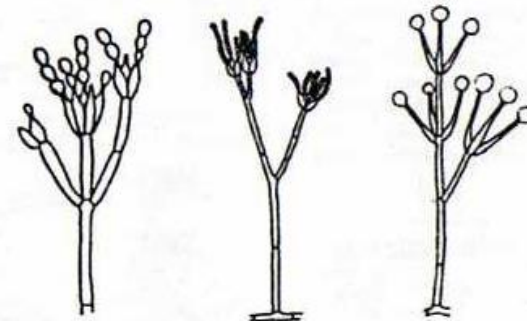
- *Aureosporium*
- *Cercospora*
- *Leptographium*
- *Cladosporium*
- *Drechslera*, *Bipolaris*
- *Alternaria*



Moniliaceae

- Conidia - hyaline
- Gray mold, wilt, root rot, blight rot of stored seed, canker diseases

- *Aspergillus* • *Penicillium*
- *Botrytis* • *Candida*
- *Fusarium* • *Verticillium*
- *Paecilomyces* • *Trichoderma*
- *Cylindrocladium* • *Sporobolomyces*





Existen 2 metodologías para la clasificación de este taxon:

1.- El sistema de Saccardo (1886). Es un sistema artificial, que subdivide al grupo en 4 familias basándose en el color (hialo-phaeo) del conidióforo y conidio, el tipo de estructura involucrada (acérvulo, picnidios, esporodoquios, sinnemias u otros tipos intermedios). A su vez subdivide a las familias en Secciones según la morfología del conidio (tamaño y patrón de septación). Aunque este sistema es artificial, las denominaciones propuestas por Saccardo, aún se emplean ampliamente en la literatura, permitiendo un acceso simple y práctico para el alumno a las claves determinativas.

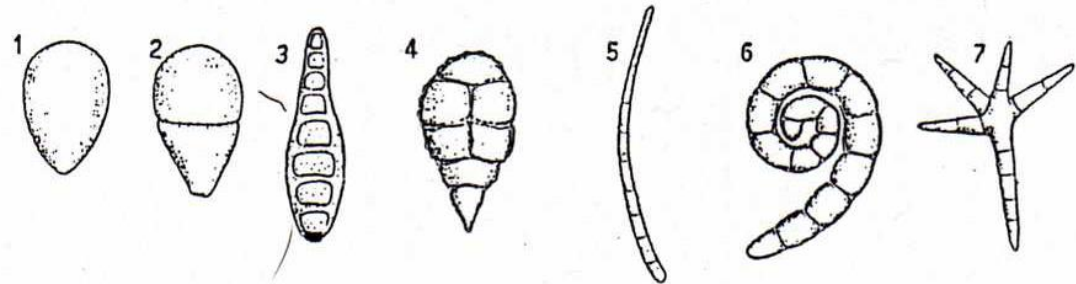
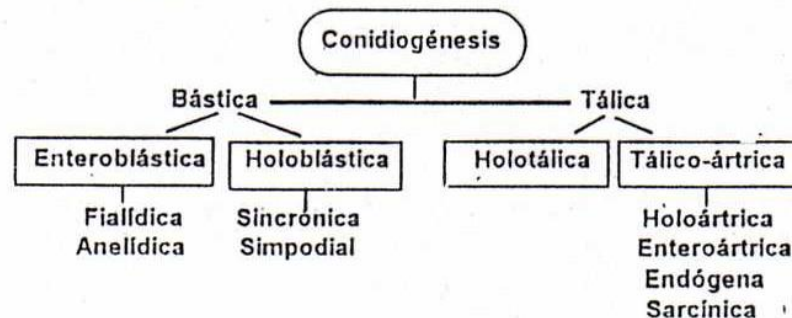


Fig. 1.- Tipos de conidios descritos según la terminología de Saccardo. 1. Ameroconidios, 2. Didimoconidios, 3. Fragmaconidios, 4. Dictioconidios, 5. Scoleococonidios, 6. Helicoconidios, 7. Stauroconidios

2.- El sistema ontogénico. Es un sistema natural, basado en las viejas ideas de Vuillemin (1910-11), que se ha estudiado con énfasis desde los tiempos de Mason (1933-37) y Hughes (1953). A pesar que en los últimos 40 años se ha generado importante información sobre el tema y útiles aportes, existe aún cierta confusión y discordia entre los taxónomos en la aplicación de la terminología y las modalidades ontogénicas, en especial debido a la existencia del pleomorfismo de estos anamorfos (pleoanamorfismo), o sea la gran plasticidad de sus modelos conidiogénicos. El desarrollo conidial y de la célula conidiógena, demuestra un amplio rango de complejidad morfogénica en dependencia del tiempo y del ambiente, o del sustrato, difícil de encuadrar y delimitar en modelos o situaciones estáticas.

Como para la identificación rutinaria, no es importante dilucidar las relaciones evolutivas (Filogenia) y las claves basadas solamente en la ontogenia conidial, son difíciles de interpretar por lo inconspicuo de algunos procesos a la microscopía óptica normal, no es raro observar en algunos textos una mezcla de los 2 sistemas de clasificación.

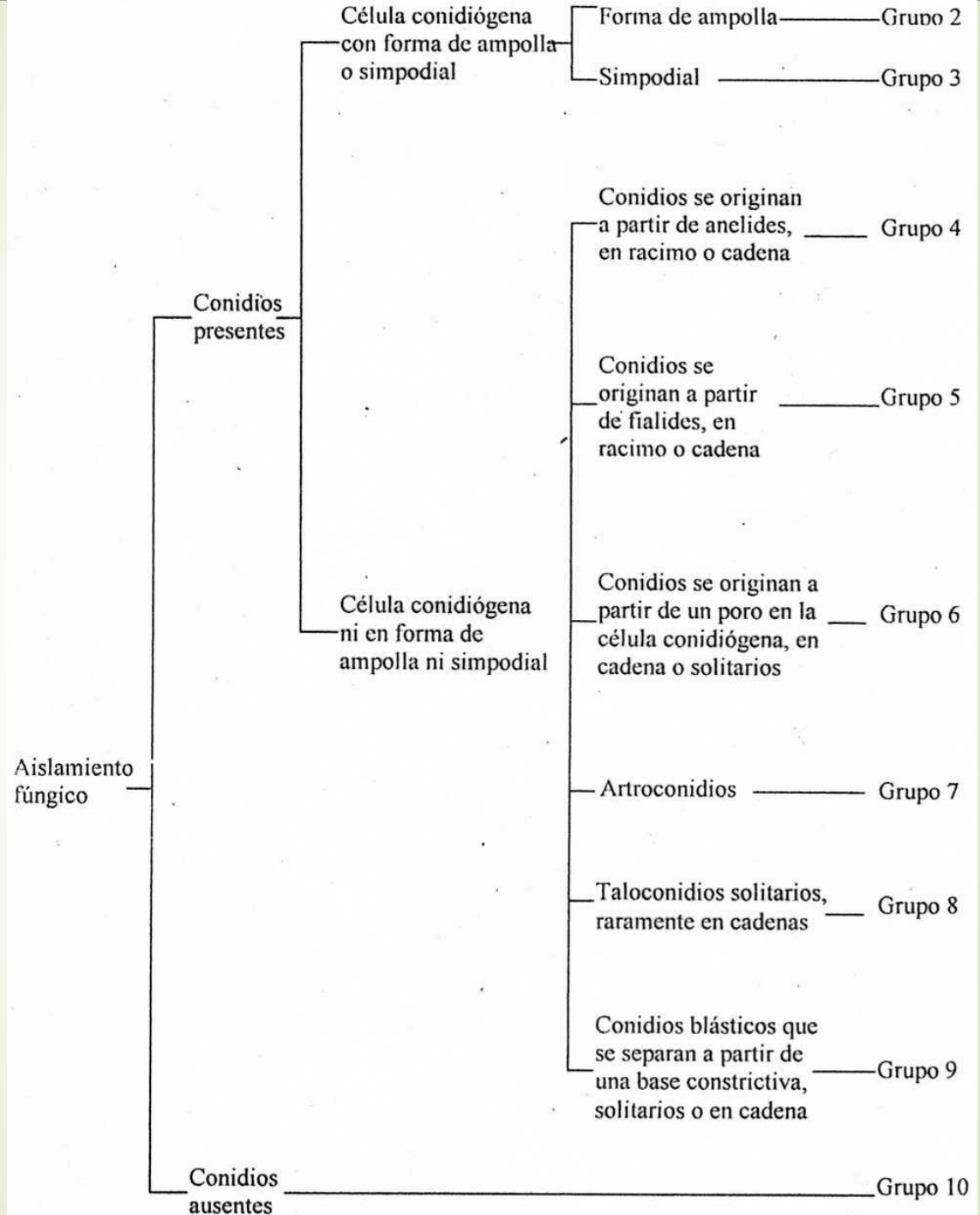


Clasificación de Hifomicetos



Clasificación de Hifomicetes

(Un ejemplo)





Hifomicetos

Sistemas de clasificación de hongos filamentosos

1.- Caracteres morfológicos macroscópicos: apariencia de la colonia cuando crece en diferentes medios de cultivo y temperaturas

- .- tamaño de la colonia, diámetro
- .- textura, lanosa, flocosa, granulosa, etc
- .- color, escala de colores
- .- presencia de surcos
- .- exudado
- .- producción de pigmento, etc...

2.- Caracteres morfológicos microscópicos:

- .- estructuras reproductoras asexuales: conidios, artroconidias, clamidoconidias, etc...
- .- micelio: hifas gruesas, hifas delgadas, septadas, con ramificaciones (clamp connections) , etc.

Estos estudios han sido utilizados para elaborar claves de identificación que nos permiten clasificar las especies de los diferentes géneros de hongos filamentosos.

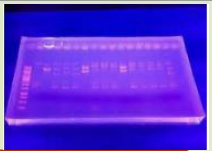


Claves taxonómicas

- ❑ Existen distintos tipos de claves para hacer identificación de hongos.
- ❑ Hay claves generales que nos permiten identificar géneros.
- ❑ Hay claves más específicas para identificar especies dentro de un género.

Cuando se usan caracteres fenotípicos en la clasificación, para disminuir al mínimo los errores debidos al pleomorfismo, es importante respetar las condiciones de desarrollo del hongo que se indican en la clave que se va a utilizar:

- Medios de cultivo
- Temperatura
- Tiempos de desarrollo
- Atmósfera
- Metodología empleada para la observación



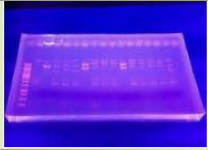
Taxonomía

Clásica

- Baja reproducibilidad: pleomorfismo
- Bajo poder discriminatorio
- Incongruencia entre datos morfológicos y fisiológicos
- Técnicas sencillas
- En algunos caso, requiere personal especializado

Molecular

- Rapidez y simplicidad de las técnicas
- Sensibilidad
- Reproducibilidad
- Necesidad de instrumental especializado
- Útil para relaciones filogenéticas, epidemiología, métodos de referencia



Biología molecular

Caracterización de ácidos nucleicos

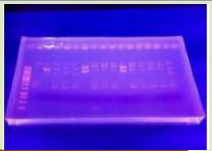
- ADN nuclear
- ADN mitocondrial
- ADN plasmídico

Se analizan

- **Zona conservadas:** individuos alejados filogenéticamente
- **Zonas variables:** individuos cercanos filogenéticamente

Metodologías

- restricción del ADN mitocondrial
- polimorfismos de ADN generados aleatoriamente por PCR (RAPD-PCR)
- PCR específicas para la identificación a nivel de especie
- electroforesis de campo pulsante
- amplificación y restricción del ADN ribosomal

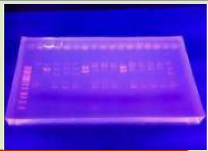


Biología molecular

- Secuenciación de genes nucleares y mitocondriales
 - gen de la Beta-tubulina
 - gen de la Orotidina descarboxilasa
 - gen de la Chitina sintetasa
 - gen de la Actina
 - gen del Factor de elongación
- **Tipificación Mediante Secuenciación Multilocus (MLST)**
 - gran sensibilidad y especificidad.
 - permite diferenciar cepas de una misma especie, al comparar nucleótidos polimórficos simples de cinco a siete fragmentos de genes

Estos estudios filogenéticos han permitido descubrir gran variabilidad dentro de las especies identificadas por taxonomía clásica

El número de especies fúngicas ha sufrido un espectacular aumento, siendo muchas de ellas, especies crípticas que forman parte de complejos de especies que han sustituido a lo que antes eran consideradas como simples morfoespecies



MALDI-TOF-MS

- **MALDI:** desorción / ionización láser asistida por matriz
- **TOF:** tiempo de vuelo
- **MS:** espectrometría de masas

- ✓ rápida (30 minutos)
- ✓ sencilla
- ✓ Identifica a nivel de género y especie
- ✓ puede determinar sub-especies
- ✓ puede determinar especies crípticas

