

HONGOS LISOTRÓFICOS

Muchos autores consideran únicamente como hongos en el sentido propio de la palabra, a los organismos eucarióticos, principalmente filamentosos, que tienen en común la forma de obtener alimento, la lisotrofia, es decir, la nutrición previa lisis o degradación enzimática del alimento. Esta lisis se produce fuera del cuerpo del hongo, gracias a la difusión hacia el exterior de las sustancias enzimáticas apropiadas. Por ello se habla también de digestión externa. Los alimentos suelen ser sustancias de moléculas grandes, y su degradación genera la aparición de moléculas más pequeñas, que difunden fácilmente y pueden ser absorbidas por el hongo. En micología la materia que contiene los alimentos se denomina sustrato. Todos los procesos de la lisotrofia exigen la presencia de agua, que permite la difusión de las enzimas y su activación y disuelve las moléculas resultantes, haciendo posible su absorción.

En lo que se refiere a su aspecto vegetativo, algunos hongos son endobióticos, es decir, crecen enteramente sumergidos en el interior del citoplasma de una célula parásita. Son redondeados o cortamente filamentosos. Pueden ser epibióticos y mantenerse sobre la superficie del organismo atacado, mandando sólo a su interior ramificaciones absorbentes que forman el rizomicelio. La mayoría han tomado la forma más propicia para asegurar mucha superficie de contacto con los sustratos, la filamentosamente ramificada o hifas. Las hifas son delgadas (3-10 micras) y mantienen su forma gracias a una pared rígida tubular. Tienen una gran capacidad de penetración, de captación de alimentos y de transporte. El conjunto de las hifas se denomina micelio. Puede ocurrir que el micelio no presente septos, en cuyo caso los desplazamientos del protoplasma por su interior son muy fáciles: micelio sifonado. Pero en los hongos más evolucionados aparecen septos, paredes transversales que aumentan la resistencia mecánica de las hifas sin impedir los activos transvases de sustancias, pues existen en los septos perforaciones diversas: micelio septado.

Las hifas crecen y se ramifican sólo por su parte apical, gracias a la actuación de un conjunto de vesículas derivadas del aparato de Golgi o del Retículo Endoplásmico, que constituye el aparato apical. Estas vesículas se fusionan con la membrana y contribuyen a la extensión de la pared.

Algunos hongos pueden formar, durante una parte de su vida, o siempre, células vegetativas redondeadas, libres o reunidas en cortas cadenas, que se dividen por gemación o por escisión. Son las fases de levadura o levaduriformes, que caracterizan a las levaduras en sentido amplio.

En cuanto al aparato reproductor, en hongos muy simples, la totalidad del aparato vegetativo se convierte en esporangio o gametangio. Hablamos entonces de hongos holocárpicos. Sin embargo, lo más frecuente es que sólo una parte del cuerpo vegetativo se convierta en cuerpo fructífero. Se habla entonces de hongos eucárpicos. Los hongos que generan una sola estructura reproductora se llaman monocéntricos, mientras que los que forman varias se llaman policéntricos.

Se ha producido, de manera gradual, el descubrimiento de que los hongos lisotróficos no constituyen un grupo monofilético, sino que comprenden dos grandes líneas evolutivas: pseudohongos y hongos verdaderos:

1. Pseudohongos:

- Más próximos a las algas
- Pared celular de celulosa
- Zoosporas con dos flagelos
- Ciclo diplonte con meiosis gametangial
- Hialinos o blancos
- Biosíntesis lisina vía ácido diaminopilémico (ADP)
- División Oomicotes:
 - Clase Labirintulomicetes
 - Clase Hifoquitridiomicetes
 - Clase Oomicetes

2. Hongos verdaderos

- Tronco evolutivo homogéneo
- Pared celular de quitina
- Zoosporas lisas con un flagelo liso
- Ciclo haplonte con meiosis cigótica
- Pigmentados
- Biosíntesis lisina vía ácido acetoadipico (AAA)
- División Eumicetes:
 - Clase Acitridiomicetes
 - Clase Zigomicetes
 - Clase Tricomycetes
 - Clase Ascomycetes
 - Clase Basidiomicetes
 - Clase Deuteromicetes

LOS PSEUDOHONGOS: DIVISIÓN OOMICOTES. CLASE OOMICOTES

Son hongos acuáticos, saprofiticos o parásitos de organismos acuáticos, pero han dado origen a un importante grupo adaptado a la vida parásita sobre plantas terrestres. Existen unas 500 especies. La estructura que presentan es bastante variada (la estructura vegetativa). Como estructura más evolucionada se pueden dar micelios, que son cenóticos (sin tabique). Se pueden dar también, en ocasiones, individuos unicelulares. Son, en general, eucárpicos (diferenciación de las zonas de reproducción y las zonas vegetativas). A veces el talo, sobre todo cuando es filamentoso (micelio) suele tener rizoides, con función de anclaje y de absorción del substrato.

Son diploides. El sistema de reproducción más extendido es una gametogamia oogama (fusión de gametos), donde un gran gameto que es la oosfera (dentro del oogonio) se fusiona con otra. Se van a formar las oósporas, que son las esporas características de este grupo (reproducción sexual). La reproducción asexual es mediante la producción de zoosporas diflageladas, de manera que es frecuente que nos encontremos con dos tipos de zoosporas diflageladas, las piriformes y las reniformes. Además, algunos hongos pueden tener zoosporas de los dos tipos.

ORDEN SAPROLEGNIALES

Son unas 140 especies, que comprenden los mohos acuáticos, hongos generalmente saprofitos, que viven sobre la materia orgánica sumergida en el agua. Pueden obtenerse sumergiendo un cebo en un poco de agua de un estanque. Pronto aparece un micelio blanco ramificado, cenocítico, cerca de cuyos ápices se forman septos que delimitan esporangios, de citoplasma denso, que en un tiempo después dejan escapar, por una perforación apical, una nube de zoosporas que nadan activamente con sus flagelos de inserción apical. Se trata de las zoosporas primarias que tras nadar un corto espacio de tiempo se fijan y se enquistan originando por germinación zoosporas secundarias, con los flagelos insertados lateralmente. Estas se fijan definitivamente y originan un nuevo micelio.

La reproducción sexual se produce por Oogamia, controlada a menudo por la secuencia de enzimas. Los núcleos anteridiales se dirigen a los oogoniales a través de tubos de copulación. Después de la Cariogamia, maduran las oósporas, que no son sino cigotos enquistados.

La mayoría son especies acuáticas, tanto dulciacuícolas como marinas. Económicamente son las más importantes las parásitas de especies. Por ejemplo la especie de *Saprolegnia parasitica* y *Saprolegnia salmo*, produciendo la muerte de los peces ya que viven en las branquias. Son muy frecuentes en salmones, en acuarios y en piscifactorías, ya que en estos últimos la incidencia de la enfermedad es mayor.

ORDEN PERONOSPORALES

Comprende unas 150 especies, acuáticas o terrestres, entre los que se encuentran los oomicetes más especializados, que son parásitos obligados de plantas vasculares, a menudo de gran importancia en fitopatología por su virulencia y repercusiones económicas.

Presentan un micelio bien desarrollado, que en las especies parásitas es intercelular, con formación de haustorios (ramificaciones que penetran en las células sin deshacer su plasmalema) aunque puede ser también intracelular.

En los representantes más primitivos la reproducción asexual se realiza con producción de esporangios ovalados, situados sobre hifas vegetativas indiferenciadas. De tales esporangios salen zoosporas del tipo de las secundarias (con flagelos laterales). En los tipos más especializados en parasitar plantas terrestres los zoosporangios se han adaptado a la dispersión aérea, por lo que se forman sobre hifas externas especializadas, los esporangióforos y se desprenden al llegar a la madurez. Sólo después de aterrizar sobre una planta adecuada pueden liberar las zoosporas, o germinar dando directamente una hifa.

La reproducción sexual es la clásica, con contacto gametangial, pero en general madura una sólo oosfera, formándose por lo tanto una sola oóspora. Después de un periodo de reposo, las oósporas germinan produciendo directamente zoosporas o bien un micelio que pronto origina zoosporangios.

La enfermedad más importante que causan es el mildiu. La diferencia con el grupo anterior es que aquí las zoosporas sólo son reniformes y en el oogonio sólo se forma una oosfera.

Como ejemplo diremos *Plasmopara viticola*, causante del mildiu de la vid, que ataca a la uva sobre todo y en años muy húmedos. Este hongo es originario de Norteamérica, donde no causa enfermedad, y fue introducido en Europa a finales del siglo pasado. Hay otro parásito de la vid, *Phylloxera*, originario de Norteamérica también, que fue llevado a Francia donde causó un gran desastre económico. Para hacer las vides resistentes a este parásito se hizo un injerto con las plantas de Norteamérica, trayendo consigo el primer hongo. La casualidad unida a las dotes de observación de A. Millardet permitió comprobar que vides rociadas con sulfato de cobre no presentaban infección. El caldo bórdeles, una solución de sulfato de cobre estabilizada con cal apagada, fue el primer fungicida introducido en la agricultura.

En su ciclo de vida, las zoosporas suelen engrosar su pared formando quistes, hasta que las condiciones son adecuadas y el quiste germina mediante un tubo germinativo que entra en la planta. Una vez en la vid, empieza a formarse un micelio que se extiende por toda la planta. En ese micelio sale hacia fuera una hifa en cuyo extremo están los esporangios, que particularmente se dispersan completos (no una espora, sino todo el esporangio), caen al suelo y germinan, pudiéndose cerrar el ciclo de vida. Las esporas también pueden germinar directamente y atacar a las plantas vecinas.

El micelio que está dentro de la *Vitis vinifera*, cuando va a reproducirse sexualmente forma oogonios y anteridios. El anteridio se dispone sobre el oogonio y se fusionan, y en el interior del oogonio se unen los núcleos del anteroide y de la oosfera. Una vez que se fusionan los núcleos se comienza el ciclo diploide, formándose una única oóspora dentro del oogonio, que al germinar dará la zoospora de nuevo que comenzará otra vez el ciclo.

Hay otros hongos que se incluyen dentro de este orden y que son de los más representativos. *Zoophagus* son hongos pescadores parásitos de animales (rotíferos, pequeños crustáceos...). Estos hongos presentan unas hifas laterales que son la “caña de pescar” y cuando el animal va a comer la hifa, ésta se hincha como consecuencia del estímulo y no permite que el animal salga, emitiendo haustorios.

HONGOS VERDADEROS. DIVISIÓN EUMICOTES

La división Eumicotes comprende una amplia mayoría de hongos. Posiblemente deriven de los Coanoflagelados, un grupo de protozoos heterotróficos, con un flagelo posterior liso y constituyen un grupo monofilético.

Entre los aspectos más característicos destacamos la presencia de un flagelo liso dirigido hacia atrás. Estas células (zoósporas o zoogametos) son pues opistocontas y avanzan igual que un espermatozoide. La evolución de los Eumicotes condujo a la desaparición de las células flageladas. Otro aspecto característico es la composición química de la pared, que con pocas excepciones contiene quitina y nunca celulosa.

En cuanto a su ciclo vital, si bien el inicialmente básico es el haplonte, en los Ascomicetos y Basidiomicetos observamos como aparece y tiende a ser dominante una nueva fase, la dicariótica, cuyas células poseen dos núcleos haploides cada uno siendo funcionalmente diploide (ciclo haplo-dicariótico).

También es notable su metabolismo, más parecido al de los animales que al de las plantas: sintetizan lisina por vía del ácido acetoadípico, y en ocasiones sintetizan carotenoides, que les confieren sensibilidad a la luz.

1. APARATO VEGETATIVO

La mayoría tienen el aparato vegetativo en forma de micelio, formado por hifas cilíndricas, ramificadas, delimitadas por una pared tubular. Son cenocíticos. En los más evolucionados hay septos con perforaciones.

El micelio es pobre en caracteres, y de poca ayuda para identificar los taxones. Las hifas, con su pared tubular rígida suelen tener un diámetro constante, por lo que sólo pueden crecer en longitud, al tiempo que se ramifican, penetrando así en el substrato en una búsqueda activa del alimento.

El crecimiento de las hifas está limitado a su parte apical. Cuando una espora cae sobre un medio de cultivo sólido adecuado, absorbe agua, se hincha y germina dando por crecimiento y ramificación un micelio discoidal. Cuando esto ocurre en la naturaleza la parte central, más vieja, del micelio discoidal muere, con lo que este adquiere forma de anillo. Calcando la posición de éste aparecen fructificaciones, formando un círculo o corro de brujas.

2. APARATO REPRODUCTOR Y REPRODUCCIÓN

La mayoría de los hongos son eucárpicos (solo una parte de su cuerpo se transforma en aparato reproductor). Lo típico es que se formen, en gran número células reproductoras especializadas, las esporas, que pueden ser acuáticas o nadadoras, mediante flagelos (zoósporas), o más a menudo aéreas, sin flagelos (aplanósporas).

Las esporas asexuales, se originan previa mitosis (mitósporas). En el interior de la célula madre se originan un cierto número de núcleos, en torno a los cuales se forman otras tantas esporas, que al principio madurarán encerradas dentro de la célula madre, formando un esporangio. Las esporangiosporas así desarrolladas son pues esporas internas o endosporas.

También son frecuentes las exósporas llamadas conidios, que se forman en general, previa división de una célula conidiógena. En el ciclo de un hongo, pueden alternarse fase conídicas (anamórficas) con fases de reproducción sexual (talamórficas).

La fase de reproducción sexual comporta la reunión de gametos o núcleos gaméticos, lo que hace posible la recombinación genética y conduce a la formación de esporas previa meiosis (meiósporas). Las células reproductoras se originan en el interior de los gametangios. La reproducción se puede realizar por isogamia o anisogamia, y también por oogamia en el medio acuático.

Cuando al fin se completa la reproducción sexual con la cariogamia, se forma un cigoto diploide. Experimenta en seguida la meiosis y origina endosporas en el interior de las ascas (ascósporas) o exósporas sobre basidios (basidiósporas).

La reproducción sexual está orientada a la recombinación genética, que implica la mezcla de información genética diversa, permitiendo de este modo el mantenimiento de la diversidad dentro de las poblaciones. Por ello, la mayoría de los hongos han

desarrollado barreras genéticas que tienden a impedir la fecundación entre poblaciones demasiado consanguíneas. A menudo es posible distinguir entre micelios masculinos y micelios femeninos. Cuando ambos tipos de gametangios son producidos por el mismo micelio tenemos un caso de homotalia. Es más frecuente que el hongo sea heterotálico.

Los micelios que se reproducen por copulación gametangial o por somatogamia no se diferencian externamente. Pero cuando entran en contacto dos micelios, puede ocurrir que se produzca la reproducción sexual, que no se produzca en absoluto o que sea incompleta, y, en este último caso estéril.

3. NUTRICIÓN

Las adaptaciones más notables de los hongos se podrían resumir en cuatro aspectos:

- Su capacidad para invadir y explotar el sustrato orgánico
- La secreción de diversas enzimas para realizar su digestión externa
- Su adaptación para absorber las moléculas liberadas
- Su gran eficacia para el transporte de sustancias a lo largo de las hifas

La mayor parte de los alimentos empleados por los hongos son glúcidos, pero ciertas especies pueden degradar lignina, otras queratina y otras sustancias mucho más difíciles de digerir.

El metabolismo es casi siempre aeróbico, pero algunos hongos pueden adaptarse al agotamiento de oxígeno pasando al metabolismo fermentativo.

Como sustancia de reserva, pueden acumular glucógeno, trehalosa y lípidos.

4. ECOLOGÍA

Son muchos los factores ecológicos que influyen en el crecimiento de los hongos. Después de las dos más relevantes (la disponibilidad de materia orgánica y el agua suficiente) son también muy importantes la temperatura, el pH y la luz.

La temperatura óptima de crecimiento de la mayoría de los hongos se encuentra entre los 25 y los 30° C, aunque suelen crecer más o menos bien por encima del punto de congelación (hongos mesófilos). También existen hongos termófilos, que pueden crecer entre los 20 y los 50° C, y hongos psicrófilos, que pueden incluso vivir sobre alimentos congelados.

En cuanto al pH, la mayoría de los hongos son acidófilos, mientras que otros son basófilos y pueden preferir los suelos calcáreos. Los valores óptimos de pH oscilan entre 5,5 y 5,7 unidades.

Con referencia a la presión osmótica del medio, existen hongos osmófilos, que pueden crecer sobre salazones o mermeladas. Los hongos xerófilos pueden crecer sobre sustratos bastante secos, pero la actividad de la fructificación va siempre ligada al aporte de agua.

Clase Zigomicetes

Los hongos de este grupo (unas 879 especies), pese a que siguen teniendo un micelio sifonado, que en este caso puede ser extenso ramificado y de crecimiento rápido viven

ya habitualmente fuera del agua, por lo que han perdido del todo las zoósporas y los zoogametos. Las esporas (aplanósporas) que suelen dispersarse por el aire, por el impacto de la lluvia o por los insectos, suelen tener una pared protectora más o menos gruesa y coloreada. En otros casos son los esporangios los que se dispersan.

La reproducción sexual se realiza por fusión o conjugación de dos gametangios (gametangiogamia), con lo que se origina un cigoto, protegido por una pared gruesa y ornamentada, que actúa como estructura de resistencia y germina cuando el ambiente es favorable produciendo un esporangio. El talo vegetativo es un micelio cenocítico, aunque podemos también encontrar individuos unicelulares y en algunas especies, sobre todo patógenos, individuos que pueden ser dimórficos. En general son saprofitos y son los más importantes porque salen en materiales tales como alimentos y tejidos, además de parasitar plantas a las cuales causan enfermedades.

a) ORDEN MUCOLARES

300 especies. Encierra principalmente mohos de vida saprofítica que crecen sobre materia orgánica. En medio líquido pueden producir formas de crecimiento con aspecto de levadura, pero habitualmente presentan un micelio muy ramificado, de crecimiento rápido, que genera hifas erectas (esporangióforos) que sostienen uno o muchos esporangios.

La reproducción asexual se produce mediante formación de esporangiósporas del tipo de las aplanósporas.

La reproducción sexual es mediante fusión de gametangios (gametangiogamia), fusión de núcleos gaméticos, no de gametos. Como consecuencia se va a formar un esporangio de resistencia que se denomina zigosporangio, en cuyo interior se va a formar una única espora que se denomina zigospora.

El género *Rhizopus* contiene organismos eucárpicos. Estos hongos son heterotálicos (hay dos talos compatibles). Cuando va a producirse el ciclo sexual dos estructuras denominadas pregametangios se fusionan. Antes de que se disuelva el tabique de cada uno de los pregametangios, se separan dos células, una el gametangio propiamente dicho.

En el interior de la zigóspora (gametangio de resistencia) se va a producir una sólo espora donde va a ocurrir la cariogamia y posteriormente la meiosis. El zigosporangio con la zigóspora en su interior puede aguantar en el sustrato mucho tiempo y cuando ha buenas condiciones germina, aunque necesita siempre de un periodo de latencia. Cuando germina lo puede hacer de dos maneras, formando un esporangio que es igual al de los de tipo sexual o bien no emitiendo un esporangio sino directamente una hifa.

De este género señalaremos como ejemplo a *Rhizopus nigricans* (moho negro del pan). Es un hongo que se utiliza en la industria para obtener sobre todo ácidos orgánicos como el ácido láctico y el fumárico. Causan graves problemas a las fresas incluso para su almacenaje.

Como hongos patógenos destacar *Absidia corymbifera*.

b) ORDEN ENDOGONALES

Es un grupo de hongos muy importantes porque viven en el suelo formando una asociación con las raíces de las plantas, que es lo que se conoce como micorrizas, conviviendo en simbiosis. El 95 % de las plantas forman micorrizas.