TEMA 4. 1 – ASPECTOS NUTRICIONALES Y RELACIÓN DE LOS HONGOS CON OTROS ORGANISMOS

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los hongos son **organismos eucariotas y heterótrofos**, es decir, no producen su propio alimento (carecen de clorofila) y se nutren **por absorción**.

Su estructura corporal está formada por **hifas**, filamentos microscópicos que constituyen una red llamada **micelio**.

Pueden ser **unicelulares** (levaduras) o **filamentosos** (como la mayoría de los mohos y setas).

La pared celular contiene **quitina**, y su reproducción puede ser **asexual** (esporas simples) o **sexual** (ascosporas o basidiosporas).

En función de cómo obtienen los nutrientes, los hongos se clasifican en tres tipos:

- **Saprófitos o saprobios:** viven sobre materia muerta.
- **Parásitos:** obtienen alimento de un organismo vivo al que perjudican.
- **Simbióticos (micorrícicos, líquenes, endófitos):** viven en asociación mutualista con otros seres.

CLASIFICACIÓN NUTRICIONAL Y COMPORTAMIENTO

Los hongos **saprófitos** son los principales **recicladores del ecosistema**: degradan materia orgánica compleja, como la madera, devolviendo nutrientes al suelo.



Saprófitos



Micorrícicos



Los **micorrícicos** establecen relaciones de **mutualismo con las raíces de las plantas**, intercambiando agua y minerales por azúcares.

Los **parásitos** (obligados o facultativos) invaden tejidos vivos.

Su importancia es enorme:

- **En la industria alimentaria:** fermentaciones, producción de bebidas, quesos, enzimas.
- **En medicina:** antibióticos, inmunosupresores, fármacos.
- **En ecología:** reciclaje de carbono y control biológico.
- **En la historia y etnomicología:** usos tradicionales, tóxicos o psicoactivos.

HONGOS SAPRÓFITOS

Los hongos saprófitos son **de vida libre**, y utilizan materia orgánica de origen vegetal o animal.

En los bosques, degradan **restos lignocelulósicos** (madera y hojas), desempeñando un papel esencial en la **formación del humus**.

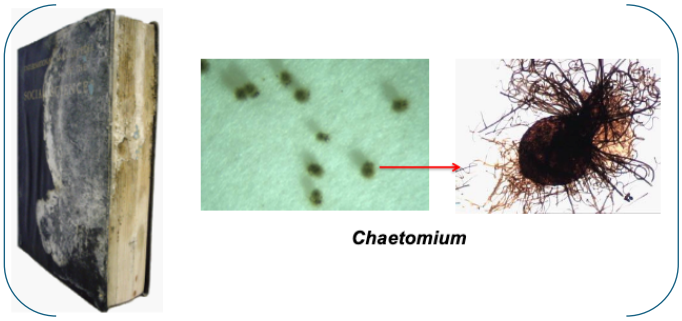
Sin embargo, su acción también puede ser **perjudicial** o **beneficiosa**:



TIPO	EJEMPLO / EFECTO
Perjudiciales	*Cladosporium* deteriora alimentos y objetos almacenados; *Chaetomium* daña libros y textiles.
Beneficiosos	*Phanerochaete* y *Chrysosporium* degradan contaminantes; *Tolypocladium inflatum* produce ciclosporina; *Saccharomyces cerevisiae* genera etanol y CO_2.

→ Perjudiciales (actividad enzimática)

- Comida (pan, frutas, vegetales, etc.), disminuyendo el valor nutricional y la **palatabilidad** (cualidad de un alimento que lo hace agradable y apetitoso al paladar), e incluso a veces produciendo micotoxinas.
  - Ejemplo: Cepas de *Cladosporium* atacan a la carne almacenada a 6ºC, plantas generando volátiles olorosos.
- Ropa, pintura, piel, ceras, hidrocarburos, películas fotográficas, cubren lentes de equipos ópticos, etc.
- Especies de *Chaetomium* tienen el punto óptimo a 50ºC (y se desarrollan hasta los 60ºC).



→ Beneficiosos (actividad enzimática)

- Bosque (enzimas lignocelulósicas).
- Vino, *Sacharomyces cerevisiae* (etanol y CO2).
- Degradación de compuestos orgánicos tóxicos, *Phanerochaete, Chrysosporium*.
- Obtención de la ciclosporina (evitar el rechazo de trasplantes, *Tolypocladium inflatu* (hongo del suelo).
- Aromas de quesos, antibióticos, etc.
- Generalmente fáciles de cultivar (pocos requerimientos nutricionales).

ESTRUCTURAS SOMÁTICAS (HIFAS)

A partir de aquí nos vamos a introducir en **la base estructural del cuerpo del hongo**, imprescindible para entender **cómo se alimenta**, **cómo crece** y **por qué puede degradar sustratos tan resistentes como la madera**.

⇒ **Qué son las hifas**

Las **hifas** son **filamentos microscópicos**, alargados y tubulares, que constituyen la **estructura básica del cuerpo vegetativo del hongo**.

Características fundamentales:

- Son **estructuras eucariotas** (con núcleo).
- Crecen **por el extremo apical** (la punta).
- Su pared celular es rica en **quitina**.
- En conjunto forman una red llamada **micelio**, que es el verdadero "cuerpo" del hongo.

Idea clave:

👉 **La seta NO es el hongo**; es solo el órgano reproductor.

👉 **El micelio (hifas) es el hongo**.

⇒ **Función de las hifas en la nutrición**

Desde el punto de vista nutricional, las hifas cumplen tres funciones esenciales:

1. **Exploración del sustrato**
   - Las hifas se introducen en el suelo, la madera o el alimento.
   - Pueden penetrar grietas microscópicas inaccesibles para otros organismos.
2. **Digestión externa**
   - Las hifas secretan **enzimas extracelulares**.
   - Estas enzimas rompen moléculas complejas (celulosa, proteínas, lignina).
3. **Absorción**
   - Los productos simples (azúcares, aminoácidos) atraviesan la pared de la hifa.
   - El alimento entra ya digerido.

👉 Esto explica por qué la **estructura filamentosa** es ideal para la nutrición fúngica.

⇒ **Hifas aseptadas (cenocíticas)**

Las **hifas aseptadas** son aquellas que **no presentan tabiques internos (septos)** o los tienen muy escasos.



Características:

- El **citoplasma** (contenido celular eucariota entre la membrana plasmática y el núcleo), es **continuo**.
- Contienen **muchos núcleos** distribuidos a lo largo de la hifa.
- Se denominan también **cenocíticas**.

Ventajas biológicas:

- Circulación rápida de nutrientes y orgánulos.
- Crecimiento muy veloz.

Inconvenientes:

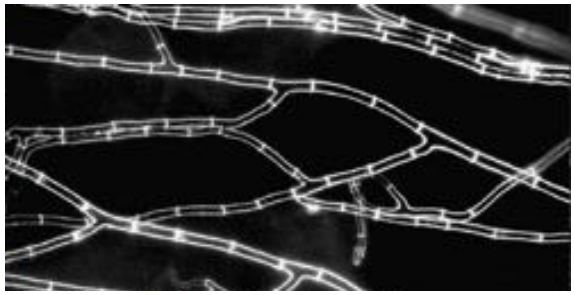
- Si se rompe una hifa, puede perderse todo el contenido.

Ejemplos típicos:

- Hongos del grupo tradicional de los **zigomicetos** (p. ej. *Mucor*, *Rhizopus*).

⇒ **Hifas septadas**

Las **hifas septadas** presentan **tabiques transversales (septos)** que dividen la hifa en compartimentos.



Características:

- Cada compartimento suele tener uno o varios núcleos.
- Los septos **no son completamente cerrados**: tienen **poros** que permiten el paso de citoplasma y orgánulos.
- En muchos hongos existen mecanismos de cierre del poro si la hifa se daña.

Ventajas biológicas:

- Mayor control interno.
- Si una parte se daña, el resto puede sobrevivir.
- Mayor especialización funcional.

Este tipo de hifa es típico de:

- **Ascomicetos**
- **Basidiomicetos**

⇒ Estos son los grupos que incluyen la mayoría de **los hongos descomponedores de madera**, por lo que es de justicia decir que:

  - Las **hifas**, especialmente las **septadas**, cuando forman un **micelio extenso**, y que tienen gran capacidad de **secreción enzimática**, son la **estructura que permitirá al hongo penetrar la madera y degradarla químicamente**.

👉 Es decir: **Sin entender las hifas, no se puede entender cómo un hongo "se come" un tronco.**

⇒ **Resumen conceptual:**

- Las hifas son la **unidad estructural básica** del hongo.
- Existen **hifas aseptadas** y **hifas septadas**, con diferencias funcionales claras.
- La forma filamentosa es clave para:
  - explorar,
  - digerir externamente,
  - absorber nutrientes.

ESTRUCTURAS SOMÁTICAS: MICELIO

Esta diapositiva explica **cómo se construye el cuerpo vegetativo del hongo**, desde una unidad microscópica (la espora) hasta una **red extensa y funcional** (el micelio).

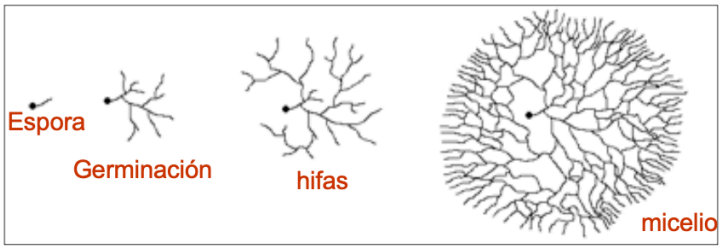
Aquí **todavía no se degrada la madera**: se está mostrando **el proceso estructural que lo hará posible después**.

1. La espora: punto de partida del hongo

La **espora** es la célula reproductora del hongo y cumple una función análoga a la semilla en las plantas, pero con diferencias importantes.

Características:

- Es **haploide** (en la mayoría de los casos).
- Está diseñada para:
  - dispersarse (aire, agua, animales),
  - resistir condiciones desfavorables,
  - permanecer latente hasta encontrar un sustrato adecuado.



Desde el punto de vista nutricional:

- La espora **no se alimenta activamente**.
- Vive de **reservas internas**.
- Su función es **colonizar**, no nutrirse.

2. Germinación de la espora

Cuando la espora encuentra condiciones adecuadas (humedad, temperatura, oxígeno y sustrato):

- Se activa metabólicamente.
- Rompe la pared en un punto.
- Emite un **tubo germinativo**.
  - 👉 Este tubo germinativo es ya: **la primera hifa**.

Aquí ocurre un cambio fundamental:

- Se pasa de una célula aislada
- a una estructura **filamentosa en crecimiento**.

3. Formación de las hifas

Las **hifas** se alargan por crecimiento apical y comienzan a:

- ramificarse,
- penetrar en el sustrato,
- explorar el medio.

Características funcionales:

- Cada hifa es un "conducto" vivo.
- Transporta agua, iones y nutrientes.
- Puede secretar enzimas al exterior.

Desde el punto de vista ecológico:

- Las hifas permiten al hongo **ocupar espacio** sin gastar energía en tejidos compactos.
- Son extremadamente eficaces para **explorar superficies grandes**.

4. Desarrollo del micelio

El **micelio** es el conjunto de todas las hifas de un hongo.

En la imagen de la diapositiva se ve claramente la progresión:

1. Espora aislada
2. Pequeñas hifas ramificadas
3. Red densa de hifas → micelio maduro

Propiedades del micelio:

- Es el **verdadero cuerpo del hongo**.
- Puede extenderse:
  - centímetros,
  - metros,
  - o incluso hectáreas (casos extremos).
- Vive oculto en el sustrato (suelo, madera, alimento).

👉 La seta, cuando aparece, es solo un **órgano reproductor**, no es el hongo en sí.

5. Función del micelio en la nutrición

Esta es la clave del tema:

El micelio actúa como:

- **Sistema digestivo externo**
- **Sistema de absorción**
- **Sistema de transporte interno**

Funciones concretas:

- Secreta enzimas digestivas al sustrato.
- Descompone moléculas complejas en simples.
- Absorbe los productos de esa digestión.
- Redistribuye los nutrientes por toda la red.

Esto explica por qué:

- Un hongo puede "comerse" un tronco de árbol entero.
- Puede vivir de sustratos extremadamente pobres.
- Puede competir con éxito frente a bacterias y plantas.

👉 Con todo lo dicho, ya se está preparando la idea principal:
Solo un organismo con un micelio extenso, ramificado y altamente enzimático puede penetrar la madera y degradar sus componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina).

Por tanto:

- **Espora → hifa → micelio**
  no es solo un proceso morfológico,
  es la **base funcional** de la nutrición saprófita lignícola.

ESPORA, GERMINACIÓN, HIFAS Y DESARROLLO DEL MICELIO



Espora, germinación, hifas, micelio

Vamos a **retomar y ordenar** el proceso que ya hemos introducido, pero ahora lo hacemos desde un punto de vista **dinámico**: no solo qué son las estructuras, sino **cómo se encadenan en el tiempo** hasta formar un micelio funcional.

Aquí el concepto central es el **desarrollo del micelio**.

1. La secuencia biológica completa

En la imagen se resume el ciclo vegetativo inicial del hongo en una secuencia lógica:

Espora → germinación → hifas → micelio

Cada paso **depende del anterior** y supone un aumento progresivo de:

- tamaño,
- complejidad,
- capacidad nutritiva.

👉 Esto no es una enumeración teórica: es una **secuencia obligatoria**.

2. De espora a germinación: activación metabólica

La **espora**, como ya vimos, es una célula resistente y pasiva.
El paso clave es la **germinación**, que implica:

- Activación del metabolismo.
- Uso de las reservas internas.
- Inicio de la síntesis de pared celular y enzimas.
- Emisión del tubo germinativo.

Este momento marca el paso de:
fase de dispersión → fase de colonización.

3. Crecimiento de las hifas: expansión apical

Tras la germinación, el crecimiento se produce mediante **elongación apical** de las hifas.

Características importantes:

- El crecimiento es direccional.
- La hifa avanza explorando el sustrato.

- Se producen ramificaciones laterales.

Cada ramificación aumenta:
- la superficie de contacto,
- la capacidad de secreción enzimática,
- la eficiencia nutritiva.

Aquí empieza a verse la **ventaja ecológica** del crecimiento filamentoso.

4. Formación del micelio: red funcional
Cuando las hifas se ramifican y se interconectan, se forma el **micelio**.

El micelio:
- no es un conjunto caótico,
- es una **red organizada**,
- con transporte interno de sustancias.

Funciones del micelio:
- Digestión externa del sustrato.
- Absorción de nutrientes.
- Distribución interna de recursos.
- Respuesta adaptativa al medio (crecimiento hacia zonas favorables).

Este punto es clave:
👉 **el micelio es la unidad funcional real del hongo**.

5. Desarrollo del micelio y eficiencia nutritiva
A medida que el micelio se desarrolla:
- Aumenta su volumen.
- Se amplía el territorio colonizado.
- Mejora la eficiencia en la obtención de nutrientes.

Esto permite al hongo:
- sobrevivir en sustratos pobres,
- competir con otros microorganismos,
- colonizar rápidamente restos orgánicos.

6. Relación directa con la degradación de la madera
La conexión es directa y lógica:
- La madera es un sustrato duro, compacto y pobre.
- Solo un **micelio bien desarrollado** puede:
    - penetrar en ella,
    - secretar enzimas de forma masiva,
    - degradar sus polímeros complejos.

Por tanto, **sin micelio desarrollado, no hay degradación de la madera.**

INTRODUCCIÓN A LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA

En primer lugar, se nos plantea este interrogante: ¿Por qué se caen ramas y troncos de los árboles, incluso cuando parecen sanos?

No es una pregunta retórica: sirve para conectar la **micología** con la **realidad visible** de parques, calles y jardines.

1. La madera: un tejido aparentemente "inerte"

A simple vista, la madera parece:

- dura,
- seca,
- resistente,
- casi inalterable.

Por eso muchas personas piensan que:

- la madera se rompe solo por el viento,
- por el peso,
- por el envejecimiento del árbol.

👉 Pero no, **la madera es un tejido biológico**, no un material muerto en sentido funcional, y **puede ser degradado desde el interior**.

- Muchos árboles urbanos albergan **hongos en su interior**.
- Estos hongos no siempre producen setas visibles.
- El micelio puede desarrollarse durante **años** dentro del tronco o de las ramas.

👉 Cuando el daño se hace visible (rotura, caída), el proceso **ya lleva mucho tiempo activo**. De modo que, la caída no es repentina; es el **resultado final** de una degradación lenta.

2. Degradación interna vs. apariencia externa

Existe un importante **desfase entre apariencia y realidad**:

- Exterior del árbol:
  - corteza intacta,
  - hojas verdes,
  - aspecto saludable.
- Interior del tronco o la rama:
  - madera degradada,
  - pérdida de cohesión,
  - resistencia mecánica muy reducida.

Esto explica por qué:

- ramas "sanas" se rompen sin aviso,
- troncos colapsan con viento moderado,
- se producen accidentes en zonas urbanas.

3. Relación existente con la nutrición fúngica

Los hongos:

- se alimentan de **materia orgánica compleja**,
- utilizan la madera como **fuente de carbono**,
- degradan sus componentes estructurales.

Es decir: La caída de ramas es una **consecuencia visible de la nutrición fúngica**. Las ramas y troncos no se caen "de repente": se caen porque **los hongos llevan tiempo alimentándose de su madera**, debilitándola desde dentro.

Aquí la micología deja de ser abstracta y se vuelve **funcional y aplicada**.

4. Importancia ecológica y urbana

Aquí se abre dos planos importantes:

🔷 **Plano ecológico**

- En el bosque, la degradación de la madera:
  - recicla nutrientes,
  - permite la regeneración,
  - mantiene el equilibrio del ecosistema.

🔷 **Plano urbano**

- En la ciudad, el mismo proceso:
  - supone un riesgo,
  - obliga a podas y talas preventivas,
  - tiene implicaciones económicas y de seguridad.

👉 Los hongos **no distinguen** entre bosque y ciudad: el proceso biológico es el mismo.

DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Lo primero que tenemos que considerar es que **la madera se degrada porque existen organismos especializados en hacerlo**.

No se trata de un desgaste pasivo ni de un envejecimiento "natural", sino de un **proceso biológico activo**.

1. La madera como sustrato degradable

La madera es un tejido vegetal:

- muy resistente,
- rico en carbono,
- estructuralmente complejo.

Precisamente por eso:

- es un **recurso energético enorme**,
- pero **difícil de aprovechar**.

Solo ciertos organismos han evolucionado para poder explotar este recurso, y estos organismos forman **dos grandes grupos**.



2. Insectos xilófagos

Se conocen con este nombre a los insectos que se alimentan de madera, y forman dos importantes grupos:

a) Isópteros (termitas)

- Viven en colonias organizadas.
- Excavan galerías en la madera.
- En muchos casos **no digieren directamente la celulosa**, sino que dependen de:
  - protozoos,
  - bacterias simbióticas, presentes en su intestino.

Efecto:

- Deterioro mecánico rápido.
- Pérdida de resistencia estructural.





b) Coleópteros (carcoma)

- Las larvas perforan la madera.
- Dejan galerías visibles (orificios).
- Atacan muebles, vigas, estructuras históricas.

Importante:

- Su acción es **principalmente mecánica**, no química.
- Preparan la madera para la colonización posterior por hongos.

3. Hongos xilófagos

El segundo gran grupo son los **hongos xilófagos**, que son el **núcleo del tema**.



Características esenciales:

- No perforan la madera mecánicamente.
- Actúan **químicamente**, mediante enzimas.
- Se alimentan de los **componentes estructurales de la pared celular vegetal**.

👉 De modo que es importante conocer la composición de la pared celular y para entender la acción de los hongos, primero hay que entender **de qué está hecha la madera**.

4. Los hongos saprófitos como degradadores

Los hongos que degradan madera son, en su mayoría, **hongos saprófitos**.

Es decir:

- No parasitan tejidos vivos (en principio).
- Se alimentan de **materia orgánica muerta**.
- Colonizan troncos caídos, ramas, madera trabajada.

5. Ámbitos afectados por la degradación fúngica

Existen **dos grandes escenarios**:

a) Bosques

En el medio natural:

- La degradación de la madera es **esencial**.
- Permite:
  - el reciclado del carbono,
  - la liberación de nutrientes,
  - la regeneración del ecosistema.

Aquí la acción fúngica es **beneficiosa y necesaria**.

b) Patrimonio histórico español

En cambio, en el ámbito humano:

- Edificios históricos,
- Iglesias,
- Retablos,
- Artesonados,
- Muebles antiguos,

Y esta degradación fúngica supone **un problema grave**.

Síntomas visibles:

- Cambios de color.
- Reblandecimiento de la madera.
- Aparición de fisuras.
- Pérdida de las propiedades mecánicas (resistencia).

Pero hay que aclarar algo fundamental:

👉 **el daño visible es consecuencia de un proceso interno enzimático**.

6. Mecanismo real del daño: degradación enzimática de los componentes estructurales de la pared celular

Esto significa que:

- Los hongos secretan enzimas.
- Estas enzimas rompen:
  - celulosa,
  - hemicelulosas,
  - lignina.
- Al destruir estos polímeros, la madera:
  - pierde cohesión,
  - se vuelve frágil,
  - deja de cumplir su función estructural.

La caída de ramas, vigas o elementos arquitectónicos es el **resultado final** de este proceso.

→ La madera se degrada porque existen organismos especializados en aprovecharla como alimento, y entre ellos los **hongos saprófitos** son los agentes químicos más importantes.

- Insectos → daño mecánico.
- Hongos → daño químico y estructural profundo.

⇒ **Y aquí se abre el bloque de estudio de:**

- la composición de la madera,
- los tipos de degradación,
- y los distintos tipos de pudrición.

LA PARED CELULAR PRIMARIA Y SECUNDARIA

1. La pared celular vegetal como objetivo de la degradación

La madera está formada, en esencia, por **células vegetales muertas**, pero con una **pared celular muy especializada**.

Los hongos **no degradan "la madera en general"**, sino **las paredes celulares** que la componen.

Estas paredes no son homogéneas: tienen **capas distintas**, con composición y funciones diferentes.

2. La pared celular primaria

La **pared primaria** es la primera que se forma cuando la célula vegetal aún está viva y creciendo.

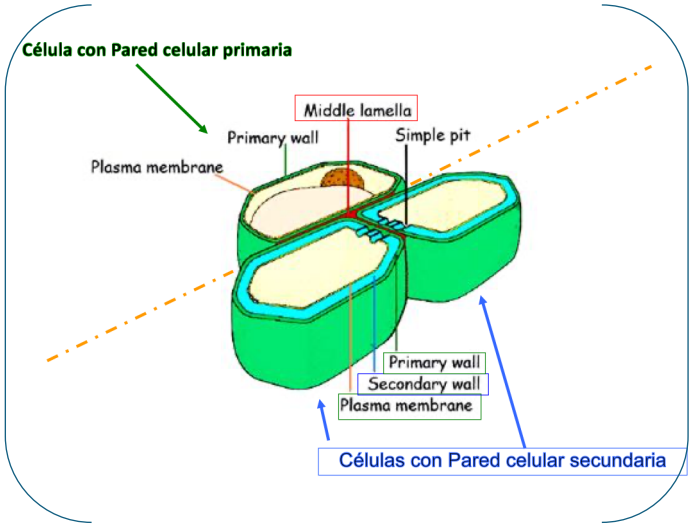
Características:

- Es **relativamente delgada**.
- Flexible.

- Permite el crecimiento celular.

Composición principal:
- **Celulosa** (microfibrillas).
- **Hemicelulosas**.
- **Pectinas**.
- Proteínas estructurales.

Desde el punto de vista de los hongos:
- Es **más accesible**.
- Se degrada con mayor facilidad.
- Muchas bacterias y hongos pueden atacarla.



3. La pared celular secundaria

La **pared secundaria** se deposita **después de que la célula ha dejado de crecer**, especialmente en tejidos leñosos.

Características:
- Mucho **más gruesa**.
- Muy rígida.
- Responsable de la **resistencia mecánica** de la madera.

Composición:
- **Celulosa** en mayor proporción.
- **Hemicelulosas**.
- **Lignina** (el componente clave).

La **lignina**:
- Es un polímero aromático complejo.
- Actúa como "cemento" entre las fibras.
- Aporta rigidez, impermeabilidad y resistencia a la degradación.

4. Diferencias clave entre pared primaria y secundaria

Desde el punto de vista de la degradación fúngica:
- **Pared primaria**:
  - Más fácil de degradar.
  - Rica en polisacáridos.
  - Menor contenido en lignina.
- **Pared secundaria**:
  - Mucho más resistente.
  - Alta concentración de lignina.
  - Principal barrera frente a microorganismos.

👉 Esta diferencia explica por qué la madera **no se degrada rápidamente**, y por qué **solo ciertos hongos** pueden hacerlo eficazmente.

5. Relación directa con la degradación de la madera

Los hongos xilófagos:
- primero acceden a las zonas **menos lignificadas**,
- después, si tienen la maquinaria enzimática adecuada, atacan la **pared secundaria**,
- y finalmente destruyen la estructura completa de la madera.

Por eso:

- algunos hongos degradan solo parcialmente la madera,
- y otros la destruyen casi por completo.

Esta explicación es fundamental, ya que:

- Introduce la **base anatómica y química** del proceso.
- Permite entender:
  - los distintos tipos de pudrición,
  - las diferencias entre hongos,
  - el ritmo de degradación.

Sin comprender la diferencia entre **pared primaria y secundaria**, no se puede entender:

- por qué existe pudrición blanca,
- por qué existe pudrición parda,
- ni por qué la lignina es tan determinante.

👉 **Idea central que hay que retener:**

La degradación de la madera es, en realidad, la degradación diferencial de las **paredes celulares vegetales**, y especialmente de su **pared secundaria rica en lignina**.

Esta idea es el **pilar conceptual** de todo lo que viene a continuación.

CÉLULA VEGETAL CON PARED CELULAR PRIMARIA

Este tema se centra **exclusivamente** en la **pared celular primaria**, es decir, en la **primera barrera estructural** que los hongos encuentran cuando comienzan a degradar la madera.

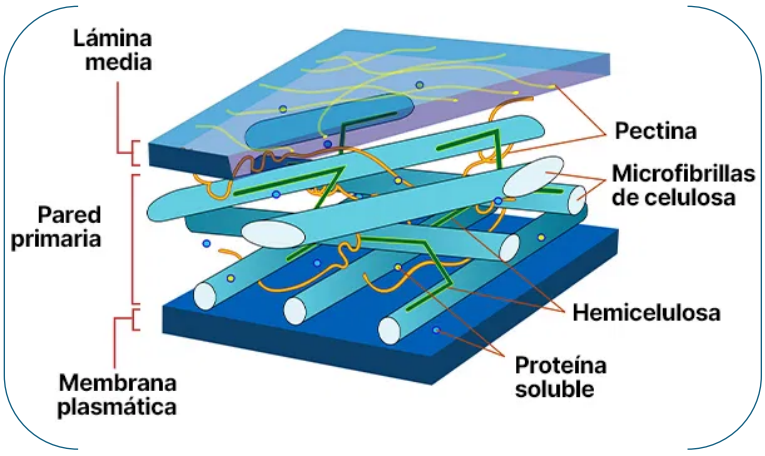
Aún no se habla de **lignina** ni de resistencia extrema: se explica **el punto de partida del proceso**.

1. Qué es la pared celular primaria

La **pared celular primaria** es la pared que poseen las **células vegetales jóvenes y vivas**, antes de que se lignifiquen.

Características generales:

- Es **delgada** comparada con la pared secundaria.
- Es **flexible**, lo que permite el crecimiento celular.
- Está presente en **todas las células vegetales**, incluidas las que luego formarán madera.



Desde el punto de vista micológico:

- Es la parte **más accesible** de la pared vegetal.
- Constituye la **primera estructura degradable** por los hongos.

2. Componentes de la pared celular primaria

- **Celulosa**

Forma microfibrillas que dan resistencia a la pared.

- **Hemicelulosas**

Polisacáridos que conectan las microfibrillas de celulosa.

- **Pectinas**
  Sustancias gelatinosas que aportan cohesión y permeabilidad.
- **Proteínas estructurales**

Estos componentes:
- Son **polisacáridos**, es decir, moléculas ricas en carbono.
- Son **susceptibles de degradación enzimática**.

3. Función biológica de la pared primaria
En la planta viva, la pared primaria:
- Protege la célula.
- Mantiene la forma.
- Permite el intercambio de agua y solutos.
- Soporta la presión de turgencia.

Pero una vez la célula muere (como ocurre en la madera):
- La pared queda como **estructura inerte**.
- Se convierte en **sustrato potencial** para hongos y otros organismos.

4. Importancia en la degradación de la madera
Desde el punto de vista del hongo:
- La pared primaria es el **primer nivel** que se degrada.
- Muchos microorganismos pueden atacarla, no solo hongos xilófagos.
- Su degradación inicial:
  - debilita la cohesión celular,
  - abre el camino hacia capas más profundas.

👉 Es decir: La degradación de la madera **no empieza en la lignina**, sino en la pared primaria.

5. Relación con la acción enzimática fúngica
Los hongos producen enzimas específicas para atacar esta pared:
- **Celulasas** → rompen la celulosa.
- **Hemicelulasas** → degradan hemicelulosas.
- **Pectinasas** → disuelven pectinas.

Estas enzimas:
- se secretan al exterior,
- actúan fuera de la hifa,
- liberan azúcares simples que el hongo absorbe.

Aquí vemos claramente el modelo de **digestión externa** típico de los hongos.

👉 **Idea clave para fijar**
La pared celular primaria es la **primera barrera estructural** de la madera y el **primer objetivo** de la degradación fúngica; su composición polisacarídica la hace relativamente accesible a la acción enzimática.

CÉLULA VEGETAL CON PARED CELULAR SECUNDARIA

Con esto se completa lo visto en la pared primaria y entra en el **núcleo del problema de la degradación de la madera**: la **pared celular secundaria**, que es la responsable de la dureza y resistencia del tejido leñoso.

Vamos a ver **por qué la madera es tan difícil de degradar** y por qué **no todos los hongos pueden hacerlo**.

1. Cuándo se forma la pared celular secundaria

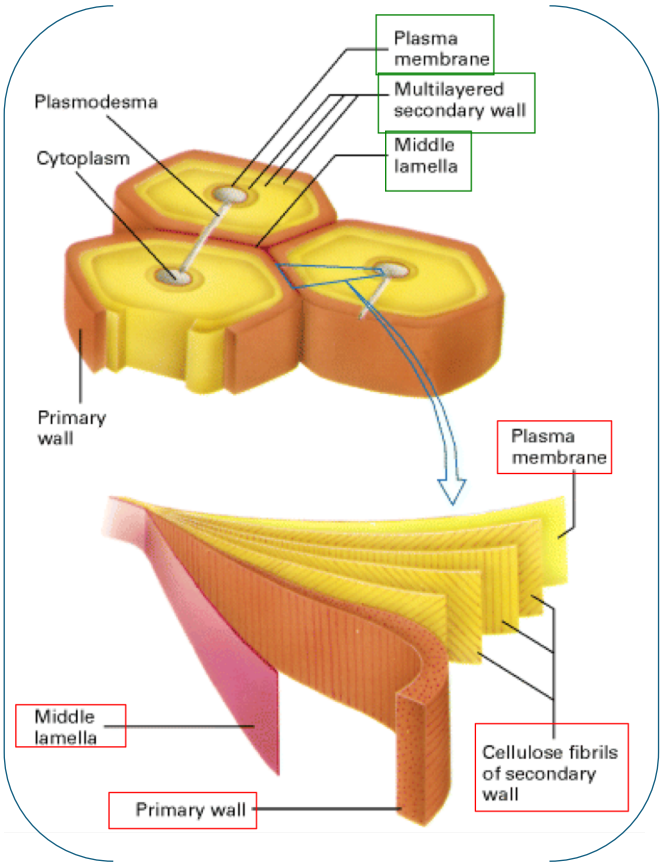
La **pared celular secundaria** se deposita **después de que la célula vegetal ha terminado su crecimiento**.

Características biológicas:

- La célula ya no se divide ni se expande.
- El objetivo ahora es **resistencia mecánica**, no flexibilidad.
- Es típica de:
  - vasos leñosos,
  - fibras,
  - traqueidas.

Estas células forman la **madera propiamente dicha**.

2. Capas representadas en el esquema



- **Lámina media (middle lamella)**
  - Rica en pectinas.
  - Une unas células con otras.
  - Es el "cemento" intercelular.
- **Pared celular primaria**
  - Más delgada.
  - Formada antes de la lignificación.
- **Pared celular secundaria multilaminar**
  - Muy gruesa.
  - Formada por varias capas concéntricas.
  - Rica en celulosa y **lignina**.
- **Membrana plasmática**
  - Ya no tiene función tras la muerte celular, pero aparece en el esquema como referencia anatómica.

Este conjunto explica la **arquitectura de la madera**.

3. Composición de la pared celular secundaria

Desde el punto de vista químico, la pared secundaria está formada por:

- **Celulosa**
  - En forma de microfibrillas muy ordenadas.
  - Aporta resistencia a la tracción.
- **Hemicelulosas**
  - Unen y estabilizan las microfibrillas.
- **Lignina**
  - Polímero aromático complejo.
  - Rellena los espacios.
  - Aporta rigidez, impermeabilidad y resistencia química.

👉 La lignina es el **gran obstáculo** para la degradación.

4. Por qué la pared secundaria es tan resistente
Existen tres razones clave:

1. **Multicapa**
   Varias láminas superpuestas dificultan la penetración de enzimas.
2. **Alta lignificación**
   La lignina protege la celulosa del ataque enzimático.
3. **Orden estructural**
   La disposición de las microfibrillas hace la pared muy compacta.

Por eso:

- Muchas bacterias no pueden degradar madera.
- Solo algunos hongos poseen la maquinaria adecuada.

5. Consecuencias para la degradación de la madera
Desde el punto de vista micológico:

- Los hongos que **solo degradan pared primaria** producen daños limitados.
- Los hongos capaces de atacar la **pared secundaria**:
  - destruyen la estructura de la madera,
  - causan pérdida de resistencia mecánica,
  - originan los distintos tipos de **pudrición**.

6. Relación directa con la nutrición fúngica

- La pared secundaria es una **fuente enorme de carbono**.
- Pero solo accesible a hongos con:
  - enzimas ligninolíticas,
  - lacasas (enzima que degrada lignina),
  - peroxidasas (enzimas vitales que catalizan reacciones de oxidación).

De ahí que: La capacidad de degradar lignina sea una **ventaja ecológica decisiva**.

👉 **Idea central:** La pared celular secundaria, rica en lignina y organizada en múltiples capas, es la principal responsable de la resistencia de la madera y el objetivo más complejo de la degradación fúngica.

Sin entender esta estructura, no se puede comprender:

- la lentitud del proceso,
- la especialización de los hongos xilófagos,
- ni los diferentes tipos de pudrición.

COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR VEGETAL

→ Aquí ya entramos de lleno en **química aplicada a la micología**.

1. La pared celular vegetal no es uniforme, varía incluso dentro de la misma planta
Esto significa que **no toda la madera ni todo el tejido vegetal es igual**.

Por ejemplo:

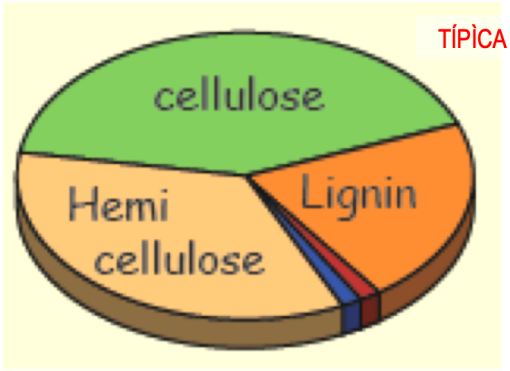
- **Raíz** → menos lignina, más flexibilidad.
- **Tallo** → más lignificación, función estructural.
- **Hojas** → paredes más finas, menos resistencia.
- **Flores y frutos** → paredes más blandas y ricas en pectinas.

👉 Para los hongos, esto implica que **no todos los tejidos ofrecen la misma resistencia** ni requieren las mismas enzimas.

2. Ejemplo: pared celular típica de una gramínea

Se utiliza una **gramínea** como ejemplo (trigo, cebada, maíz, arroz…), porque:

- son plantas muy abundantes,
- sus tejidos son ricos en **celulosa y hemicelulosa**,
- tienen una **lignificación moderada** comparada con la madera de árboles.



El diagrama circular muestra **proporciones relativas**, no valores exactos.

- **Varía incluso en las distintas partes de la planta (raíz, tallo, hojas, flores, etc.)**

3. Componentes principales de la pared celular

En el esquema aparecen tres componentes fundamentales:

🔹 **Celulosa**

- Es el componente mayoritario.
- Polisacárido formado por cadenas largas de glucosa.
- Se organiza en **microfibrillas** muy resistentes.
- Aporta resistencia a la tracción.

Desde el punto de vista fúngico:

- Es una **gran fuente de carbono**.
- Se degrada mediante **celulasas**.

🔹 **Hemicelulosas**

- Grupo heterogéneo de polisacáridos.
- Rodean y conectan las microfibrillas de celulosa.
- Son químicamente más simples y menos ordenadas.

Importancia:

- Son **más fáciles de degradar** que la celulosa.
- Se atacan primero en muchos procesos de degradación.

→ En micología: Se degradan mediante **hemicelulasas**.

🔹 **Lignina**

- Polímero aromático complejo (no es un polisacárido).
- Actúa como un **cemento rígido** entre fibras.
- Aporta:
  - dureza,
  - impermeabilidad,
  - resistencia a microorganismos.

→ Punto clave: **La lignina es el principal obstáculo para la degradación de la madera.**
Solo ciertos hongos pueden degradarla eficazmente.

4. Proporciones y dificultad de degradación

- Mucha **celulosa** → gran reserva de energía.
- Mucha **hemicelulosa** → degradación relativamente rápida.
- Mucha **lignina** → degradación lenta y especializada.

Por eso:

- Los restos herbáceos se degradan rápido.
- La madera de árboles puede tardar años en descomponerse.

5. Relación directa con la nutrición fúngica

Desde el punto de vista del hongo:

- La pared celular vegetal es su **fuente de alimento**.
- Pero acceder a ella requiere:
  - enzimas específicas,
  - tiempo,
  - condiciones ambientales adecuadas.

Según el tipo de pared:

- algunos hongos solo degradan polisacáridos,
- otros degradan también la lignina.

Esto explica la **especialización ecológica** de los hongos saprófitos.

→ **Idea central que se debe retener:** La degradación de la madera es, en esencia, la degradación diferencial de **celulosa, hemicelulosas y lignina**, cuya proporción varía según la planta y el tejido. Esta idea es **el eje químico** de todo el bloque que sigue.

COMPOSICIÓN DETALLADA DE LA PARED CELULAR VEGETAL

→ La pared celular vegetal se descompone en tres grandes niveles:

1. Lámina media o placa celular

La **lámina media** es la capa que:

- se sitúa **entre células vegetales adyacentes**,
- actúa como **cemento intercelular**.

🔹 **Composición**

- **Pectinas**
  - polímeros de **ácido galacturónico**,
  - muy **hidratadas**,
  - con **baja proporción de proteínas**.

🔹 **Importancia en la degradación**

- Es la **zona más fácil de degradar**.
- Muy accesible a enzimas pectinolíticas.
- Su degradación provoca:
  - separación de las células,
  - pérdida de cohesión del tejido.

👉 Muchos hongos comienzan la degradación **despegando células** a través de la lámina media.

2. Pared celular primaria
La **pared primaria** rodea cada célula y es la siguiente barrera tras la lámina media.

🔹 Composición
- **Pectinas**
- **Celulosa**
- **Hemicelulosas (xiloglucanos)**
- **Glucoproteínas ricas en hidroxiprolinas**

Estas glucoproteínas:
- refuerzan la estructura,
- pero no impiden la degradación enzimática.

🔹 Resistencia relativa
- Más resistente que la lámina media.
- Mucho menos resistente que la pared secundaria.
- Fácilmente atacable por:
  - celulasas,
  - hemicelulasas,
  - pectinasas.

👉 La degradación de esta pared **debilita rápidamente el tejido**, aunque aún no destruye la madera por completo.

3. Pared celular secundaria (en tejidos conductores)
Esta es la **clave de la madera**.
La pared secundaria aparece:
- en **vasos leñosos**,
- fibras,
- traqueidas,

que son los **tejidos conductores y de sostén**.

🔹 Formación
- Inicialmente rica en **microfibrillas de celulosa**.
- Posteriormente se produce la **lignificación de toda la pared celular**.
- La lignificación afecta incluso a:
  - la pared primaria,
  - la lámina media.

Esto da lugar a una **estructura extremadamente rígida**.

4. Composición de una pared lignificada
Aquí se aporta un dato cuantitativo muy importante:
- **2/3 → celulosa + hemicelulosas**
- **1/3 → lignina**

Este dato es fundamental para entender la degradación:
- Aunque la lignina sea "solo" un tercio,
- su presencia **protege físicamente** al resto de componentes,
- y dificulta el acceso enzimático.

👉 Por eso la lignina tiene un efecto desproporcionado sobre la resistencia de la madera.

5. Implicaciones para la degradación fúngica

Según esta estructura:

- Hongos que degradan **solo pectinas y polisacáridos**:
  - causan degradación superficial,
  - separación celular,
  - ablandamiento.
- Hongos capaces de degradar **lignina**:
  - destruyen la arquitectura completa,
  - producen pudriciones profundas,
  - reducen drásticamente la resistencia mecánica.

Aquí se establece la base para:

- **pudrición blanca** (ataque de lignina),
- **pudrición parda** (celulosa protegida por lignina),
- **pudrición blanda**.

6. Relación directa con el título del bloque

El encabezado **DEGRADACIÓN DE LA MADERA**:

La degradación de la madera cobra aquí todo su sentido ya que actúa de una manera secuencial: **lámina media → pared primaria → pared secundaria lignificada**.

Cada etapa requiere:

- enzimas distintas,
- tiempo,
- y hongos con diferente grado de especialización.

- La resistencia de la madera se debe a la lignificación de la pared celular secundaria; la degradación fúngica es un proceso progresivo que comienza en la lámina media y culmina con la destrucción de la pared lignificada.

POLISACÁRIDOS ESTRUCTURALES

Los grandes **polímeros estructurales** (macromoléculas formadas por la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros y que crean cadenas, determinando sus propiedades mecánicas y físicas) que forman las paredes celulares constituyen en el caso de la madera la **principal fuente de carbono** para los hongos saprófitos.

Aquí se establece una comparación muy clara entre:

- **organismos autótrofos** (plantas, algas),
- **organismos heterótrofos** (hongos, animales).

1. Polisacáridos estructurales en organismos autótrofos

Los **autótrofos** (plantas y muchas algas) construyen sus paredes celulares a partir de **polisacáridos de origen glucídico**, sintetizados gracias a la fotosíntesis.

- **Celulosa:** La celulosa es el **polisacárido estructural fundamental de las plantas**.

Características:

- Polímero lineal de **glucosa**.
- Las cadenas se agrupan formando **microfibrillas**.
- Proporciona gran **resistencia mecánica** a la pared celular.

- En relación con esto hay que señalar dos aspectos importantes:

- La celulosa **se asocia a hemicelulosas y pectinas**.
- Esta asociación permite:
  - retener agua,
  - dar cierta flexibilidad al tejido,
  - mantener la cohesión estructural.

Además, hay un dato cuantitativo clave:

- Las paredes celulares vegetales contienen **entre un 30 y un 50 % de celulosa**.

👉 Desde el punto de vista fúngico, esto convierte a la celulosa en una **enorme reserva potencial de energía**, siempre que el hongo disponga de **celulasas**.

🔹 **Xilanos y mananos**

Los **xilanos** y **mananos** son tipos de **hemicelulosas**.

- En algunas algas marinas sifonales, estos polisacáridos pueden **sustituir parcialmente a la celulosa** como elemento estructural.

→ Esto refuerza una idea importante:
No todas las paredes celulares vegetales son iguales; su composición varía según el grupo y el medio.
Para los hongos:

- esta variabilidad implica la necesidad de **enzimas distintas** según el sustrato.

2. Polisacáridos estructurales en organismos heterótrofos
En contraste con las plantas, los **heterótrofos** (como los hongos) **no utilizan celulosa** como principal polisacárido estructural de su pared celular.

→ **La Quitina** es característica de:

- **hongos**,
- **artrópodos** (insectos, crustáceos).

Características químicas:

- Polímero lineal de **N-acetilglucosamina**.
- Muy resistente.
- Similar en estructura a la celulosa, pero con grupos nitrogenados.

Funciones:

- Aporta rigidez y protección.
- Hace la pared celular del hongo **resistente pero ligera**.

3. Importancia de la quitina en el contexto del tema
La quitina sirve para que:

- Los hongos **no degradan su propia pared**.
- Producen enzimas dirigidas **contra polisacáridos vegetales**, no contra quitina.

Esto explica:

- la especificidad enzimática,
- la capacidad de degradar celulosa ajena,
- sin autodestruirse.

4. Relación con la degradación de la madera

- La madera contiene grandes cantidades de:
  - celulosa,

- hemicelulosas (xilanos, mananos).

- Los hongos saprófitos:
  - producen **celulasas**,
  - producen **hemicelulasas**,
  - liberan azúcares simples aprovechables.

Pero:

- la presencia de lignina (vista en diapositivas anteriores),
- protege estos polisacáridos,
- y condiciona el tipo de degradación.

👉 **Idea clave que debes retener**

La madera es rica en polisacáridos estructurales vegetales (celulosa y hemicelulosas), que constituyen la principal fuente de carbono para los hongos; la quitina, en cambio, es el polisacárido estructural de los propios hongos y no es objeto de degradación por ellos.

OTROS COMPONENTES DE LA PARED CELULAR DE LOS HONGOS: MELANINAS

Aquí nos apartamos momentáneamente de la **pared celular vegetal** para fijarnos en la **pared celular del propio hongo**. La razón es didáctica: entender **por qué el hongo resiste** condiciones que destruirían a otros microorganismos mientras degrada la madera.



1. Qué son las melaninas fúngicas

Las **melaninas** son **pigmentos poliméricos** de color marrón oscuro a negro que se depositan en la **pared celular** de muchos hongos.

No son universales en todos los hongos, pero sí **muy frecuentes** en:

- hongos del suelo,
- hongos lignícolas,
- hongos expuestos a condiciones ambientales extremas.

A diferencia de los polisacáridos (quitina, glucanos), las melaninas **no cumplen una función estructural primaria**, sino **protectora**.

2. Funciones de las melaninas

a) Resistencia a la lisis enzimática

- La melanina dificulta el acceso de enzimas externas a la pared celular.
- Protege al hongo frente a:
  - enzimas de otros microorganismos,
  - enzimas defensivas de plantas,
  - procesos de autólisis.

👉 Mientras el hongo secreta enzimas para degradar la madera, **su propia pared queda protegida**.

b) Resistencia mecánica

- La melanina refuerza la pared celular.
- Aumenta la dureza y la estabilidad frente a presiones externas.

Esto es importante en:

- madera compacta,
- suelos duros,
- ambientes con tensiones físicas.

c) Protección frente a la radiación UV y solar

- Las melaninas absorben radiación ultravioleta.
- Protegen el ADN y las membranas celulares.

Esto explica por qué:

- muchos hongos expuestos (troncos, superficies) son oscuros,
- los cuerpos fructíferos melanizados resisten mejor a la intemperie.

d) Protección frente a la desecación

- La melanina reduce la pérdida de agua.
- Ayuda a soportar periodos de sequía.

En la degradación de la madera:

- el hongo puede quedar expuesto a fluctuaciones de humedad,
- la melanina mejora su **supervivencia a largo plazo**.

3. Importancia de las melaninas en la degradación de la madera

- La degradación de la madera es:
  - lenta,
  - prolongada en el tiempo,
  - ambientalmente exigente.
- El hongo necesita **permanecer activo durante meses o años**.

Las melaninas permiten:

- resistir ataques químicos,
- soportar radiación y sequedad,
- mantener la integridad celular mientras el hongo degrada un sustrato muy resistente.

👉 En otras palabras: **no solo importa qué enzimas tiene el hongo, sino cuánto tiempo puede sobrevivir mientras actúa**.

4. Comparación implícita con la pared vegetal

Lo expuesto refuerza una comparación importante del tema:

- **Pared vegetal**:
  - celulosa,
  - hemicelulosas,
  - lignina,

  → objetivo de la degradación.
- **Pared fúngica**:
  - quitina,
  - glucanos,
  - melaninas,

  → estructura resistente que **no se degrada a sí misma**.

👉 Esto subraya la **asimetría biológica** del proceso: el hongo ataca, pero está protegido.

🔹 **Idea clave para retener**

Las melaninas de la pared celular fúngica confieren al hongo una protección química, mecánica y ambiental que le permite sobrevivir durante largos periodos mientras degrada la madera.

Vamos a ver **el mecanismo enzimático concreto** por el cual los hongos saprófitos degradan la madera.

Ya no hablamos de "qué hay" en la pared celular, sino de **cómo se rompe químicamente**.

1. Degradación de la celulosa

La **celulosa** es el polisacárido más abundante de la pared vegetal y una **fuente enorme de carbono**. Se degrada mediante **enzimas** que pueden actuar:

- **intracelularmente**,
- pero sobre todo **extracelularmente**, que es lo relevante en la madera.

→ **Tipos de celulasas**

Se distinguen dos grandes grupos funcionales:

- **Endocelulasas**
  - Cortan enlaces **internos** de la cadena de celulosa.
  - Rompen la estructura cristalina.
  - Generan fragmentos más cortos.
- **Exocelulasas**
  - Actúan desde los extremos de la cadena.
  - Liberan unidades de celobiosa o glucosa.

👉 La degradación completa de la celulosa requiere la **acción coordinada** de ambos tipos.

2. Degradación de las pectinas

Las **pectinas** son los primeros componentes que se movilizan. Se degradan mediante enzimas **intra o extracelulares**, y suelen ser **las primeras en ser atacadas**.

Razón:

- Son polisacáridos **muy hidratados**,
- químicamente menos resistentes,
- abundantes en la **lámina media** y en la pared primaria.

Consecuencia:

- La degradación de pectinas provoca:
  - separación de células,
  - pérdida de cohesión del tejido,
  - ablandamiento inicial de la madera.

👉 Este paso "abre" la estructura y facilita el ataque posterior a otros componentes.

3. Degradación de las hemicelulosas

Las **hemicelulosas** (xilanos, mananos, etc.) son químicamente diversas. Se degradan mediante **múltiples enzimas**, en particular:

- **endoxilanasas** (cortes internos),
- **exoxilanasas** (liberación desde los extremos).

Importancia:

- Las hemicelulosas rodean y estabilizan las microfibrillas de celulosa.
- Su degradación:
  - debilita la estructura,
  - facilita el acceso a la celulosa.

👉 En muchos hongos, la degradación de hemicelulosas **precede** a la de la celulosa.

4. Degradación de la lignina: el punto crítico

La **lignina** es el componente más resistente y el **principal obstáculo** para la degradación de la madera.

4.1 Condiciones para la degradación de la lignina

Las enzimas ligninolíticas:

- Se producen **en ausencia de fuentes de nitrógeno**.
- Se **inducen** por los productos de la degradación de la propia lignina.

Esto tiene un sentido ecológico claro:

- El hongo solo invierte energía en degradar lignina
- cuando **no dispone de nutrientes más fáciles**.

4.2 Función de la degradación de la lignina

La degradación de la lignina **deja accesible la celulosa y la hemicelulosa** para que puedan ser atacadas.

Es decir:

- la lignina **no es el principal alimento**,
- su degradación es una **estrategia de acceso** al resto del carbono.

5. Enzimas ligninolíticas:

a) Ligninasas

- Dependientes del **alcohol veratrílico**.
- Capaces de romper enlaces complejos de la lignina.
- Muy características de hongos de pudrición blanca.

b) Peroxidasas

- **Dependientes de H_2O_2** (peróxido de hidrógeno).
- Oxidan estructuras aromáticas.
- Muy potentes, pero poco específicas.

c) Lacasas

- **Dependientes de O_2**.
- Oxidan fenoles y otros compuestos aromáticos.
- Importantes en degradación ambiental y biotecnología.

👉 Estas enzimas actúan **fuera de la célula**, generando radicales que rompen la lignina.

6. Enfoque integrado del proceso

Es necesario entender la degradación de la madera como un **proceso secuencial y estratégico**:

1. Pectinas → separación celular.
2. Hemicelulosas → debilitamiento de la matriz.
3. Lignina → apertura de la estructura.
4. Celulosa → obtención masiva de glucosa.

No todos los hongos realizan todas las etapas:

- algunos se quedan en fases iniciales,
- otros completan el proceso.

🔹 **Idea clave a retener**

La degradación de la madera es un proceso enzimático complejo y secuencial en el que los hongos utilizan diferentes conjuntos de enzimas para atacar pectinas, hemicelulosas, celulosa y, en los casos más especializados, lignina.

TIPOS DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Vamos a ver de forma ordenada los **tres grandes tipos de degradación fúngica de la madera**, según **qué componentes de la pared celular son atacados** y **qué aspecto final adquiere la madera**.

1. Idea general de "podredumbre" o "pudrición"

Los términos **podredumbre** y **pudrición** se usan como sinónimos y describen:

- la **pérdida progresiva de integridad estructural** de la madera,
- causada por la **actividad metabólica de los hongos**,
- mediante degradación enzimática.

Cada tipo de pudrición refleja:

- **qué polímeros se degradan**,
- **cuáles permanecen**,
- y **cómo cambia la madera** en color, textura y resistencia.

2. Podredumbre o pudrición parda es la que degrada:

- Principalmente **celulosa y hemicelulosas**.
- La **lignina no se degrada**, o lo hace muy poco.

Consecuencia química

- La lignina queda concentrada.
- Al ser de color oscuro, la madera adquiere un tono **pardo o marrón**.

Aspecto de la madera

- Muy **oscura**.
- **Quebradiza**.
- Se fragmenta en bloques o cubos → *fractura cúbica* (visible en la imagen del tronco).

Consecuencia mecánica

- Pérdida rápida de resistencia.
- La madera se rompe con facilidad, incluso con poca presión.

Hongos típicos

- *Serpula lacrymans* (pudrición seca en edificios).
- *Fomitopsis*.
- *Gloeophyllum*.

👉 Importante: aunque la **lignina** permanezca, **la madera deja de cumplir su función estructural**.

3. Podredumbre o pudrición blanca

Qué se degrada

- Lignina, además de celulosa y hemicelulosas (en distinto grado).

Consecuencia química

- Al eliminarse la lignina (oscura), la madera pierde color.
- Quedan fibras claras ricas en celulosa.

Aspecto de la madera

- Blanquecina o clara.
- Fibrosa.
- Esponjosa, a veces con aspecto algodonoso.

Consecuencia mecánica

- Pérdida progresiva de rigidez.
- La madera se vuelve blanda, pero no tan quebradiza como en la parda.

Hongos típicos

- *Trametes*.
- *Ganoderma*.
- *Phanerochaete*.

👉 Este tipo es **ecológicamente clave**, porque permite la **eliminación natural de la lignina**, algo que casi ningún otro organismo puede hacer.

4. Podredumbre o pudrición blanda

Dónde aparece

- Ambientes **muy húmedos**.
- Maderas en contacto con el suelo o el agua.
- Zonas costeras o suelos encharcados.

Qué se degrada

- Principalmente **pared primaria y capas externas de la secundaria**.
- La lignina se degrada poco o nada.

Aspecto de la madera

- Reblandecimiento superficial.
- Degradación lenta.
- La madera mantiene su forma externa durante mucho tiempo.

Hongos implicados

- Frecuente en **ascomicetos** y hongos imperfectos.
- Menos especializada que la pudrición blanca.

👉 Es una degradación **más lenta y superficial**, pero persistente.



🔹 En la imagen se muestra un ejemplo típico de **pudrición parda**:

- Color oscuro.
- Grietas profundas.
- Fragmentación en bloques.

Esto ayuda a fijar visualmente:

- que el tipo de degradación **se reconoce a simple vista**,
- pero solo se entiende bien conociendo **qué polímeros han sido degradados**.

5. Importancia de esta clasificación

- Resume **el resultado final** de la degradación.
- Permite:
  - diagnosticar el tipo de hongo implicado,
  - prever el riesgo estructural,
  - aplicar medidas de conservación o control.

En el patrimonio histórico:

- la pudrición parda es **especialmente peligrosa**,
- la blanca es **más lenta pero muy destructiva**,
- la blanda es **difícil de detectar** en fases iniciales.

👉 **Idea clave a retener**

Los tipos de degradación de la madera reflejan **qué componentes de la pared celular vegetal han sido degradados** y determinan el color, la textura y la resistencia final de la madera.

PODREDUMBRE O PUDRICIÓN PARDA (O SECA, CÚBICA)

Vamos a pasar al estudio **pormenorizado** de los tipos de degradación. Comenzamos por la **pudrición parda**, también llamada **pudrición seca** o **pudrición cúbica**.

Es uno de los tipos **más destructivos desde el punto de vista mecánico**, especialmente relevante en **construcciones y patrimonio**.

1. Por qué se llama "parda"

El nombre **pudrición parda** se debe al **color final de la madera** tras la degradación.



La causa es química:

- El hongo **degrada la celulosa y las hemicelulosas**.
- La **lignina no se degrada**, o lo hace muy poco.
- Al eliminarse los polisacáridos claros, la lignina queda **concentrada**.

Como la lignina es de color oscuro:

👉 la madera adquiere un tono **marrón o pardo** característico.

2. Por qué se llama "seca"



También se denomina **pudrición seca** porque:

- La madera afectada pierde rápidamente su capacidad de retener agua.
- Se vuelve **seca, frágil y quebradiza**.

Importante aclaración:

- No significa que el proceso ocurra en seco.
- El hongo **necesita humedad para crecer**.
- "Seca" describe el **estado final** de la madera, no las condiciones iniciales.

3. Por qué se llama "cúbica"

El otro término **cúbica** describe el **modo de fractura** de la madera.

Características:

- La madera se agrieta siguiendo:
  - anillos de crecimiento,
  - radios leñosos.
- Se fragmenta en **bloques más o menos cúbicos**.

Este patrón es muy típico y permite:

- reconocer visualmente la pudrición parda,
- incluso sin análisis microscópico.

4. Qué componentes se degradan

Desde el punto de vista bioquímico:

- **Celulosa** → degradada de forma intensa.
- **Hemicelulosas** → también degradadas.
- **Lignina** → permanece prácticamente intacta.

Consecuencia estructural:

- Aunque la lignina siga presente,
- la madera pierde su **esqueleto interno**,
- y deja de soportar cargas.

👉 La resistencia mecánica cae de forma **rápida y brusca**.

5. Mecanismo de degradación

Los hongos de pudrición parda:

- no dependen tanto de enzimas ligninolíticas,
- utilizan mecanismos **oxidativos** que rompen la celulosa.

En muchos casos:

- generan radicales libres,
- atacan la celulosa **a distancia**,
- incluso antes de que las enzimas entren en contacto directo.

Esto explica:

- la rapidez del deterioro,
- la profundidad del daño.

6. Hongos causantes más conocidos

Algunos géneros típicos:

- *Serpula* (muy conocida en edificios).
- *Fomitopsis*.
- *Gloeophyllum*.

Especial mención:

- *Serpula lacrymans* es responsable de graves daños en construcciones de madera, incluso en ambientes urbanos.

7. Importancia ecológica y práctica

En el medio natural

- Participa en el reciclado del carbono.
- Descompone madera muerta en bosques.

En construcciones y patrimonio

- Es **extremadamente peligrosa**:
    - vigas,
    - suelos,
    - techumbres,
    - artesonados.

La madera puede parecer intacta por fuera y estar **totalmente inutilizada por dentro**.

👉 **Idea clave a retener**

La pudrición parda destruye la celulosa y las hemicelulosas, dejando la lignina concentrada, lo que da lugar a una madera oscura, seca y fragmentada en bloques cúbicos, con una pérdida muy rápida de resistencia mecánica.

PODREDUMBRE O PUDRICIÓN BLANCA

Pasamos ahora a describir el **segundo gran tipo de degradación fúngica de la madera** y, desde el punto de vista ecológico, **el más singular**: aquel en el que el hongo **es capaz de eliminar la lignina**. Recordemos que la lignina es el segundo biopolímero más abundante en la Tierra después de la celulosa, y que forma parte de las paredes celulares de las plantas, proporcionándoles **rigidez, soporte y protección** contra los microorganismos.

Por eso recibe varios nombres equivalentes:

- **Pudrición blanca** → por el color final de la madera.
- **Pudrición fibrosa** → por la textura resultante.
- **Pudrición corrosiva** → por la acción química profunda.
- **Pudrición deslignificante** → por su rasgo definitorio: la eliminación de la lignina.

1. Qué se degrada en la pudrición blanca

A diferencia de la pudrición parda, aquí el hongo degrada:

- **Lignina** (de forma intensa),
- **Celulosa**,
- **Hemicelulosas**,

aunque **no siempre al mismo ritmo**.

Hay dos patrones frecuentes:

- **Deslignificación selectiva**: se elimina primero la lignina y quedan fibras de celulosa.
- **Degradación simultánea**: se degradan lignina y polisacáridos a la vez.

Esto explica la **variabilidad de aspecto** que muestran las imágenes de la diapositiva.

2. Por qué la madera se vuelve blanca

La lignina:

- es el componente **más oscuro** de la madera,
- aporta tonos pardos y marrones.

Al ser degradada:

- desaparece el color oscuro,
- quedan restos ricos en celulosa,
- la madera adquiere un aspecto **claro, blanquecino o amarillento pálido**.

👉 El color blanco es, por tanto, un **indicador visual de deslignificación**.

3. Aspecto macroscópico de la madera

Estas imágenes ilustran muy bien el resultado final:









- Madera **clara**.
- Textura **fibrosa**, a veces con aspecto de “algodón”.
- Estructura **esponjosa**.
- Se deshace en **fibras largas**, no en cubos.

A diferencia de la pudrición parda:

- no hay fractura cúbica,
- la madera no se vuelve quebradiza, sino **blanda y flexible**.

4. Consecuencias mecánicas

Desde el punto de vista estructural:

- La resistencia disminuye **de forma progresiva**.
- El colapso mecánico suele ser **más lento** que en la pudrición parda.
- Puede pasar desapercibida durante bastante tiempo.

Esto la hace:

- menos llamativa al inicio,
- pero **muy destructiva a largo plazo**, sobre todo en árboles vivos y grandes troncos.



5. Enzimas implicadas

La pudrición blanca es posible gracias a la producción de **enzimas ligninolíticas**:

- **Ligninasas** (dependientes de alcohol veratrílico),
- **Peroxidasas** (dependientes de H_2O_2),
- **Lacasas** (dependientes de O_2).

Estas enzimas:

- actúan **fuera de la célula**,
- generan radicales libres,
- rompen enlaces complejos de la lignina.

👉 Es un proceso **energéticamente costoso**, por eso solo ciertos hongos pueden hacerlo.

6. Hongos causantes más representativos

Los hongos de pudrición blanca suelen ser **basidiomicetos** lignícolas, entre ellos:

- *Trametes* (p. ej., *Trametes versicolor*),
- *Ganoderma*,
- *Phanerochaete* (especialmente *P. chrysosporium*),
- *Pleurotus* (en fases tempranas).

🔹 Estos hongos son **ecológicamente imprescindibles**, porque sin ellos la lignina se acumularía en los ecosistemas.

7. Importancia ecológica

La pudrición blanca es **única en la naturaleza** por una razón clave: **Los hongos de pudrición blanca son prácticamente los únicos organismos capaces de eliminar lignina a gran escala.**

Gracias a ello:

- se cierra el ciclo del carbono,
- se liberan nutrientes atrapados en la madera,
- se permite la renovación de los bosques.

Desde el punto de vista ecológico, **es el tipo de degradación más completo**.

8. Importancia en el patrimonio y arbolado

→ En entornos humanos:

- puede afectar a vigas, techumbres y elementos históricos,
- debilita la madera lentamente,
- produce daños extensos antes de ser visible.

→ En arbolado urbano:

- degrada el interior del tronco,

- mantiene la corteza aparentemente intacta,
- aumenta el riesgo de caída en fases avanzadas.

🔹 **Relación con la pudrición anterior**

→ Si comparamos:

- **Pudrición parda** → se elimina celulosa, queda lignina.
- **Pudrición blanca** → se elimina lignina y también polisacáridos.

→ Esto explica:

- diferencias de color,
- diferencias de textura,
- diferencias de velocidad y tipo de colapso.

🔹 **Idea clave ha retener**

La pudrición blanca es una degradación profunda y completa de la madera, caracterizada por la eliminación de la lignina, que da lugar a una madera clara, fibrosa y esponjosa, y desempeña un papel esencial en el reciclado natural del carbono.

PUDRICIÓN BLANDA (SOFT ROT)

La **pudrición blanda** es el **tercer gran tipo de degradación de la madera** producida por hongos. Se diferencia claramente de la pudrición parda y de la blanca tanto por **el tipo de hongos implicados**, como por **el mecanismo de degradación** y **las condiciones ambientales en las que aparece**.

1. Qué se degrada en la pudrición blanda

En la pudrición blanda:

- Se degrada principalmente:
  - la **pared celular primaria**,
  - y las **capas externas de la pared secundaria**.
- La **lignina apenas se degrada** o no se degrada en absoluto.

Esto significa que:

- la estructura profunda de la madera puede mantenerse durante bastante tiempo,
- pero la madera **pierde cohesión y se reblandece progresivamente**.

👉 No es una degradación tan profunda como la blanca, ni tan rápida como la parda, pero es **persistente**.

2. Qué hongos producen la pudrición blanda

A diferencia de los otros dos tipos:

- La pudrición blanda es producida sobre todo por:
  - **Ascomicetos**,
  - y algunos **hongos imperfectos** (anamorfos).

Esto es importante porque:

- muchos de estos hongos **no poseen enzimas ligninolíticas potentes**,
- pero sí un buen repertorio de **celulasas y hemicelulasas**.

Ejemplos frecuentes (a nivel de género):

- *Chaetomium*,
- *Kretzschmaria* (en algunos contextos),
- *Trichoderma* (en fases iniciales o superficiales).

3. Condiciones ambientales típicas

La pudrición blanda aparece sobre todo en **condiciones extremas** para otros hongos:

- **Alta humedad persistente**.
- Contacto directo con el **suelo** o el agua.
- Ambientes:
  - encharcados,
  - costeros,
  - suelos muy húmedos,
  - maderas enterradas.

En estas condiciones:

- los hongos de pudrición blanca y parda **no prosperan bien**,
- pero los causantes de pudrición blanda **sí pueden actuar**.

👉 Por eso la pudrición blanda es típica de:

- postes,
- traviesas,
- maderas en contacto con tierra,
- zonas bajas y mal ventiladas.

4. Mecanismo de degradación

Desde el punto de vista microscópico:

- Las **hifas** penetran en la pared celular primaria.
- Se producen **cavidades o canales microscópicos** en la pared secundaria.
- La degradación avanza **desde el interior de la pared hacia fuera**, pero de forma limitada.

Existen dos patrones clásicos (descritos en microscopía):

- **Tipo I**: formación de cavidades alargadas dentro de la pared secundaria.
- **Tipo II**: erosión progresiva desde la superficie de la pared.

👉 Estos detalles ayudan a entender el proceso.

5. Aspecto macroscópico de la madera

La madera afectada por pudrición blanda presenta:

- **Reblandecimiento superficial**.
- Color relativamente **poco alterado** (no muy oscura ni muy blanca).
- La forma externa suele mantenerse.
- La degradación avanza **lentamente**.

A diferencia de:

- la parda → no hay fractura cúbica,
- la blanca → no aparece el aspecto fibroso blanquecino.

👉 Es una degradación **discreta**, pero continua.

6. Consecuencias mecánicas

Desde el punto de vista estructural:

- La pérdida de resistencia es **gradual**.
- La madera puede parecer aceptable durante mucho tiempo.
- El daño se acumula de forma silenciosa.

→ Esto la hace:

- peligrosa en estructuras enterradas o húmedas,
- difícil de detectar en fases tempranas.

7. Importancia ecológica

En el medio natural:

- La pudrición blanda permite la degradación de madera en ambientes:
  - demasiado húmedos o pobres en oxígeno, donde otros hongos no actúan.

Es, por tanto:

- una **vía alternativa de reciclado**,
- complementaria a la pudrición blanca y parda.

8. Comparación clara con las otras pudriciones

Esta comparación es importante para fijar ideas:

- **Pudrición parda**
  - degrada celulosa,
  - deja lignina,
  - madera oscura y cúbica,
  - colapso rápido.
- **Pudrición blanca**
  - degrada lignina (y polisacáridos),
  - madera clara y fibrosa,
  - degradación profunda y completa.
- **Pudrición blanda**
  - degrada pared primaria y capas externas,
  - lignina casi intacta,
  - madera reblandecida lentamente,
  - típica de ambientes muy húmedos.

👉 **Idea clave a retener**

La pudrición blanda es una degradación superficial y progresiva de la madera, producida principalmente por ascomicetos en ambientes muy húmedos, que afecta a la pared celular primaria y a capas externas de la secundaria sin degradar significativamente la lignina.

⇒ Ahora vamos a dar otro recorrido sobre este tema de la **pudrición blanda**, pero en un ambiente muy distinto, lo que nos va a servir para para identificar una de las enfermedades más comunes y destructivas en el mundo agrícola y la jardinería doméstica, saber cómo combatir este problema y que supone.

Se caracteriza por transformar tejidos vegetales firmes en una masa acuosa, blanda y, a menudo, con un olor muy desagradable.

1. ¿Qué la causa?

A diferencia de otros problemas del jardín causados por hongos, la podredumbre blanda es provocada principalmente por **bacterias**, siendo las más comunes:

- ***Pectobacterium carotovorum*** (antes llamada *Erwinia*)
- ***Dickeya spp.***
- ***Pseudomonas spp.***

Estas bacterias producen enzimas que disuelven la **pectina**, que es el "pegamento" que mantiene unidas las células de las plantas. Al romperse esa estructura, la planta colapsa y se vuelve líquida.

2. Síntomas principales

- **Textura acuosa:** Las áreas afectadas se sienten como papilla al tacto.
- **Olor fétido:** Es muy característico, similar a materia orgánica en descomposición profunda (debido a infecciones secundarias).
- **Cambio de color:** Las manchas suelen empezar como zonas "empapadas" de color verde oscuro, que luego pasan a ser marrones o negras.
- **Colapso rápido:** En condiciones de calor y humedad, una planta puede pasar de estar sana a estar totalmente podrida en cuestión de días.

3. Condiciones que la favorecen

- **Exceso de humedad:** Suelos encharcados o riego excesivo.
- **Heridas en la planta:** Cortes de poda mal curados, daños por insectos o granizo que sirven como puerta de entrada.
- **Falta de ventilación:** El aire estancado mantiene la humedad sobre la superficie de la planta.
- **Temperaturas altas:** La mayoría de estas bacterias prosperan entre los **20°C y 30°C**.

4. Prevención y Control

Lamentablemente, **una vez que la infección es grave, no tiene cura**. La clave es la prevención y la higiene:

- **Eliminación inmediata:** Retirar y destruir las plantas o partes afectadas. **No usarla para compost**, ya que las bacterias sobrevivirán.
- **Desinfección de herramientas:** Limpia las tijeras con alcohol al 70% después de cada corte para no propagar la bacteria a plantas sanas.
- **Mejorar el drenaje:** Asegurarse de que el sustrato no retenga agua en exceso.
- **Control de plagas:** Muchos insectos transportan estas bacterias; controlarlos ayuda a reducir los brotes.
- **Tratamientos con cobre:** Los fungicidas a base de cobre pueden ayudar a prevenir la entrada de bacterias, aunque su efectividad es limitada una vez que la infección está dentro del tejido.

CULTIVOS MÁS AFECTADOS

TIPO	EJEMPLOS
Hortalizas	Patatas (papa), zanahorias, cebollas, lechugas y tomates.
Ornamentales	Calas, orquídeas, cactus y suculentas (muy comunes por exceso de riego).

⇒ Al tratar la **podredumbre blanda en árboles frutales** el escenario cambia respecto a las hortalizas. Aunque las bacterias que mencionamos antes pueden atacar brotes tiernos, en los árboles frutales generalmente se trata de dos problemas graves: la **afección de brotes y frutos** o, de forma más estructural, a la **podredumbre de la madera** (como ya hemos visto anteriormente).

→ Estos son los tipos de pudrición blanda más comunes en el contexto forestal y frutal:

1. Fuego Bacteriano (*Erwinia amylovora*)

Es la versión más peligrosa de la "podredumbre blanda" en árboles de la familia de las rosáceas (manzanos, perales, membrillos, nísperos).

- **Síntomas:** Las flores, hojas y brotes jóvenes se vuelven negros o marrones de repente, como si se hubieran quemado.
- **El signo clave:** En condiciones húmedas, aparece un **exudado bacteriano** (un líquido viscoso, blanco o anaranjado) que gotea de las partes infectadas. Es tejido vegetal deshecho por bacterias.
- **Gravedad:** Puede matar un árbol joven en una sola temporada.

2. Pudrición de Raíces y Cuello (*Phytophthora* y *Pythium*)

Aunque técnicamente son *oomicetos* (parecidos a hongos), causan una descomposición blanda y húmeda en la base del árbol.

- **Síntomas:** La corteza en la base del tronco (el cuello) se vuelve blanda, oscura y puede desprenderse con facilidad. Si raspas la corteza, verás el tejido de debajo marrón o negro en lugar de verde/blanco sano.
- **Causa:** Casi siempre es por **exceso de riego** o suelos compactados que no drenan.

¿CÓMO IDENTIFICAR CUÁL ES LA CAUSA?

SI SE VE...	PROBABLEMENTE SEA...
Ramas jóvenes "quemadas" con líquido pegajoso	**Fuego bacteriano** (Muy grave)
Corteza blanda y húmeda a ras de suelo	**Phytophthora** (Exceso de agua)
Madera de un tronco viejo que parece una esponja mojada	**Podredumbre estructural blanda**
Frutos que se deshacen en una papilla maloliente	**Pectobacterium** (Bacteriosis del fruto)

¿Qué se puede hacer?

1. **Cirugía vegetal:** Si la podredumbre está en una rama, corta **al menos 30-50 cm por debajo** de la zona afectada. Las bacterias viajan por dentro antes de que se vea el daño.
2. **Higiene estricta:** Desinfecta las herramientas con lejía o alcohol entre corte y corte. Si no lo haces, tú mismo extenderás la enfermedad al resto del árbol.
3. **Drenaje:** Si el problema está en la base (cuello/raíces), deja de regar inmediatamente y, si es posible, retira un poco de tierra para que el cuello del árbol respire y se seque.
4. **No usar abonos nitrogenados en exceso:** El exceso de nitrógeno crea brotes muy tiernos y débiles que son "carne de cañón" para estas bacterias.

DIVERSIDAD DE LOS HONGOS DE LA MADERA

La mayoría de los hongos lignícolas pertenecen al grupo de los **Basidiomicetos**, en especial a las órdenes **Aphyllophorales** y **Agaricales**.

Presentan:

- Cuerpos fructíferos resistentes (anuales o perennes),
- Sistemas de hifas monomíticos, dimíticos o trimíticos,
- Himenios de tipo liso, tubular o lamelar.

Ejemplos:

- *Phanerochaete* (saprófito, descomponedor de lignina).
- *Hydnum repandum* (hongo comestible con himenóforo en forma de aguijones).

CULTIVO DE HONGOS SAPRÓFITOS

Aquí el tema adquiere un enfoque **biotecnológico y aplicado**.

Condiciones generales de cultivo

- Temperatura: 20–30 °C (óptimo para la mayoría).
- pH: ligeramente ácido (3,5–6,5).
- Oxígeno: aerobios o anaerobios facultativos.
- Agua: esencial, aunque resisten sequía.
- Luz: necesaria para la **formación de esporas**.
- Nutrientes: carbono, nitrógeno y oligoelementos.

Cultivo industrial

Los hongos más cultivados son:

- **Agaricus bisporus** (*champiñón*),
- **Pleurotus ostreatus** (*seta de ostra*),
- **Lentinula edodes** (*shiitake*),
- **Flammulina velutipes** (*enoki*),
- **Agrocybe aegerita** (*seta de chopo*).

Fases del cultivo

1. **Aislamiento e inoculación del micelio.**
2. **Crecimiento sobre sustratos lignocelulósicos (paja, serrín, compost).**
3. **Incubación y expansión miceliar (in vitro).**
4. **Fructificación (ex vitro) bajo control de luz, humedad y temperatura.**

En el *Pleurotus eryngii*, por ejemplo, el micelio coloniza el sustrato en 30 días y forma cuerpos fructíferos en una o dos semanas.

La cosecha puede repetirse varios ciclos.

Casos destacados

- *Agaricus bisporus:* cultivado desde el siglo XVII (Versalles, 1670); actualmente industrializado en cuevas o naves controladas.
- *Coprinus comatus:* hongo comestible de rápido crecimiento sin necesidad de compostaje previo.
- *Volvariella volvacea:* "seta de paja de arroz", típica de Asia tropical.
- *Pleurotus citrinopileatus* y *P. djamor:* especies coloreadas sin fermentación previa.

APLICACIONES E INVESTIGACIÓN

El cultivo de macromicetos presenta grandes ventajas:

- Producción regular y controlada.
- Ahorro de suelo agrícola.
- Reducción de intoxicaciones por setas silvestres.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas.
- Libre de contaminantes y metales pesados.

Además, se desarrollan proyectos de **investigación aplicada** (agronómica, medicinal y ecológica), con estudios sobre **taxonomía, ecología y filogenia**.

En el ámbito industrial se requiere:

- **Laboratorio** con autoclaves, incubadores y cámaras de flujo.
- **Técnicas de esterilización, inoculación y fructificación controlada.**

Se realizan **experimentos sobre bioacumulación radiactiva en basidiocarpos**, que analizan cómo los hongos pueden absorber y concentrar contaminantes del entorno.

TEMA 4.2 – LOS HONGOS PARÁSITOS Y LA PATOLOGÍA FORESTAL

CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los **hongos parásitos** colonizan la superficie o el interior de **plantas y animales vivos**, pero no viven exclusivamente de sus exudados.

Cuando su acción causa daño o enfermedad al hospedante, se les denomina **patógenos**.

Algunos son **inocuos o débiles**, otros **altamente virulentos**.

La **virulencia** mide el grado de daño que producen, y cuando es extrema puede llevar a la **muerte del huésped** y, por tanto, a la desaparición del propio parásito: el equilibrio entre ambos depende de la **selección natural**.

Existen alrededor de **5.000 especies que parasitan plantas** y unas **500 que afectan a animales y humanos** (destacan *Candida*, *Pneumocystis carinii*, dermatofitos).

El hongo más grande del planeta es *Armillaria ostoyae*, cuyo micelio ocupa **890 hectáreas** en Oregón y tiene unos **2.400 años** de antigüedad.

EJEMPLOS E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

Ejemplos de parásitos vegetales:

- *Puccinia menthae* (roya de la menta).
- *Ustilago maydis* (carbón del maíz).
- *Armillaria ostoyae* y *A. gallica* (hongos radiculares, con **rizomorfos** negros que penetran en raíces).



Estos hongos no sólo atacan árboles y cultivos, sino que modelan los ecosistemas al controlar la densidad y renovación de los bosques.

CONCEPTO DE PATOLOGÍA FORESTAL

La **Patología Forestal** estudia las **enfermedades de los árboles y plantas del monte**, tanto **fisiológicas** (causadas por el ambiente) como **parasitarias** (causadas por patógenos vegetales).

Cuando el origen es animal (insectos, ácaros, vertebrados), se estudia en **Entomología Forestal**.

El concepto moderno de **plaga forestal** incluye hongos, bacterias, virus, fanerógamas parásitas e incluso vertebrados y malezas.





CAUSAS DE ENFERMEDAD: FACTORES ABIÓTICOS

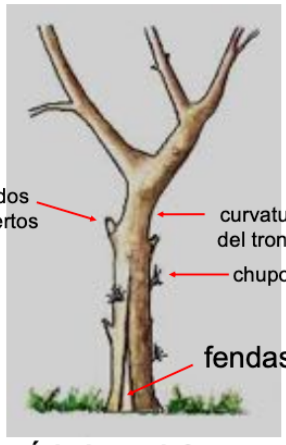
Los **factores abióticos** (externos) producen enfermedades **no infecciosas**, de origen ambiental o fisiológico:

TIPO DE FACTOR	EJEMPLO O EFECTO PRINCIPAL
Falta de agua	Marchitez, bordes secos en hojas, muerte de pies aislados. Afecta más a plántulas y especies no adaptadas.
Exceso de agua	Asfixia radicular en suelos arcillosos. Decoloración de hojas.
Frío	Grietas radiales ("fendas"), deshidratación, daño por heladas.
Calor	Quemaduras en corteza y cambium (especialmente en troncos orientados al mediodía).
Suelo	Deficiencias o excesos de nutrientes: N, Fe, Mg, Ca, etc.
Contaminación atmosférica	Gases industriales, ozono, sales marinas, pesticidas.
Daños mecánicos	Heridas por poda, animales, granizo, viento, etc. Facilitan la entrada de hongos xilófagos.

Aquí podemos ver un esquema muy claro con síntomas de **carencias minerales** en las hojas: el nitrógeno causa amarilleamiento general, el hierro afecta a las hojas jóvenes y el potasio produce bordes necróticos.



Árbol sin defectos aparentes



Árbol con defectos







FACTORES BIÓTICOS (PATÓGENOS)

Los **factores bióticos** son organismos que **parasitan o depredan** otras especies. Incluyen hongos, bacterias, virus y plantas parásitas.

Entre los hongos hay **depredadores de nematodos** como *Arthrobotrys*, que usa **anillos adhesivos y constrictores** para atraparlos.

Otros, como *Ustilago maydis*, forman una **simbiosis parasítica** con el maíz, desarrollando tumores oscuros (carbones).

Ejemplo de biotrofia:

- *Erysiphe graminis* o *Blumeria graminis* (oídio de los cereales): forma un micelio superficial con **haustorios** que penetran las células vivas del huésped sin matarlas.

En la diapositiva 41 se observa su estructura: **conidióforos y haustorios**.

Ejemplo de necrotróficos:

- Hongos que primero destruyen las células y luego se alimentan del tejido muerto (pudriciones, chancros).

ROYAS Y CARBONES

Roya de los cereales, ***Puccinia graminis***



Puccinia graminis

Roya de gimnospermas
Cronartium ribicola



Cronartium ricocola

- *Puccinia graminis* (roya del trigo) y *Cronartium ribicola* (roya de pinos y groselleros) son ejemplos de hongos biotróficos complejos, con varios hospedantes alternos y distintos tipos de esporas.

CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁSITOS

1. **Según su dependencia del huésped:**
   - **Obligados:** sólo viven en tejidos vivos (*Puccinia*, *Erysiphe*).
   - **Facultativos:** pueden vivir de materia muerta (*Armillaria*).
2. **Según su localización:**
   - **Exoparásitos:** crecen sobre la superficie.
   - **Endoparásitos:** crecen en el interior.
3. **Según el tipo celular:**
   - **Biotróficos:** células vivas.
   - **Necrotróficos:** células muertas.
   - **Hemibiotróficos:** comienzan biotróficos y terminan necrotróficos.
4. **Según el número de hospedantes:**
   - **Estricto (monoxénico)** o **omnívoro (polixénico)**.

FITOPATÓGENOS MÁS IMPORTANTES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

1. Virosis

Afectan a **Acer, Eucalyptus, Populus, Ulmus**, produciendo moteados y "escobas de brujas".

Transmisión por **insectos, poda o injertos**.

2. Bacteriosis

La única forestal importante es la **tuberculosis del pino** (*Pinus halepensis*), que produce tumores en ramas.

3. Fanerógamas parásitas

El **muérdago** (*Viscum album*) ataca abetos, pinos y chopos; su eliminación es costosa porque vuelve a brotar si no se corta la rama afectada.

Otros géneros como *Arceuthobium* producen "escobas de brujas" en enebros (*J. communis*) y abetos (*Abies*).

4. Micosis (hongos patógenos)

Son las **más graves**.

Abarcan numerosos géneros que afectan a viveros, coníferas y frondosas.

TIPO DE PLANTA	GÉNEROS Y ENFERMEDADES
Viveros	*Fusarium*, *Alternaria*, *Pythium*, *Phytophthora*.
Coníferas	*Armillaria* spp. y *Heterobasidion annosum*.
Castaño	*Endothia parasitica* (chancro) y *Phytophthora cinnamomi* (tinta).
Olmo	*Ceratocystis ulmi* (grafiosis).
Encina y roble	*Hypoxylon mediterraneum* (chancro carbonoso), *Phytophthora*, *Armillaria*.
Otras frondosas	*Nectria cinnabarina*, *Rhytisma acerinum*.

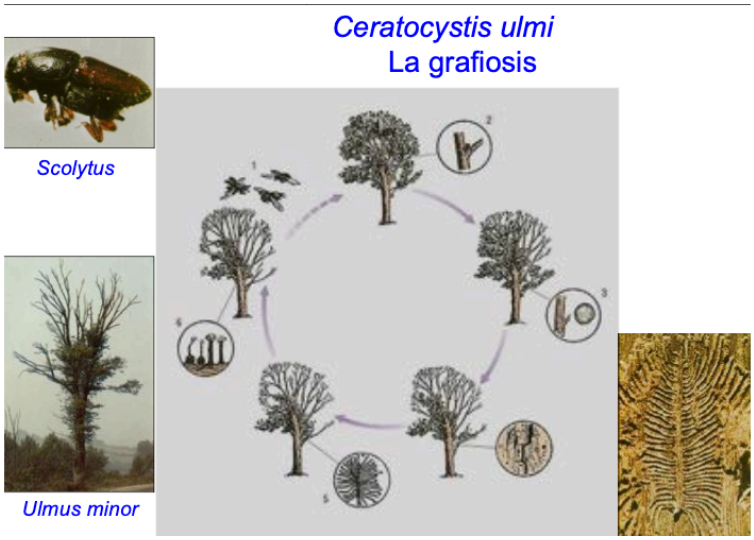
LA GRAFIOSIS DEL OLMO

Causada por *Ceratocystis ulmi*, transmitida por el escarabajo *Scolytus*.

Provoca marchitez, desecación y muerte progresiva del árbol (*Ulmus minor*).

La enfermedad se detectó en Europa a principios del siglo XX y devastó los olmos urbanos y rurales.

Los dibujos del ciclo muestran cómo el insecto introduce las esporas al alimentarse de la savia.



EL CHANCRO CARBONOSO DE LAS QUERCÍNEAS

Causado por *Hypoxylon mediterraneum*, se manifiesta como **placas negras bajo el corcho**, sin afectar al exterior, pero destruyendo el tejido interno.

Aparece sobre todo en **alcornoques debilitados** por sequía o heridas.

El control se basa en **desinfectar herramientas de poda y descorche** y eliminar las ramas afectadas.

La "**seca**" es un síndrome complejo en el que intervienen varios agentes: *Phytophthora spp.*, *Armillaria spp.* y *Hypoxylon mediterraneum*, combinados con el estrés hídrico.

OTROS HONGOS RELEVANTES

Incluyen especies saproparásitas que causan **pudriciones de tronco** o **enfermedades debilitantes**:

- *Ganoderma lucidum* (reishi, también de interés medicinal).
- *Fomes fomentarius* (yesca).
- *Fomitopsis pinicola*, *Phellinus pini* (casco de caballo).
- *Chondrostereum purpureum*, *Inonotus hispidus*, *Fistulina hepatica*.
- *Piptoporus betulinus*, usado desde la Edad de Cobre (como muestra el hallazgo del "hombre de los hielos", Ötzi, con ejemplares atados a su cinturón).

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

Tres tipos de medidas se aplican para evitar o reducir las enfermedades forestales:

1. **Profilácticas y terapéuticas:**
    - *Químicas*: fungicidas o desinfectantes.
    - *Mecánicas*: podas, retirada de material infectado.
    - *Biológicas*: control mediante hongos antagonistas (p. ej. *Trichoderma*).
2. **Selección genética:**
    - *Híbridos resistentes*, como los del castaño.
    - *Especies resistentes* a patógenos locales.
3. **Medidas administrativas:**
    - Controles fitosanitarios en fronteras y viveros.
    - Vigilancia de importaciones de plantas y maderas.

Las **Trichodermas**, son ejemplos de **agentes biocontroladores**: colonizan raíces, producen enzimas antifúngicas y compiten con los patógenos, evitando la infección.