

Deterioro de material celulósico de interés patrimonial por la actividad de hongos ambientales: estado del arte.

A. C. MALLO *^{1, 5}, D. S. NITIU^{1, 6}, L. A. ELÍADES^{2, 6}, M. C. N. SAPARRAT^{2, 3, 4, 6}.

¹Cátedra de Palinología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP La Plata, Argentina. ²Instituto de Botánica Carlos Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. ³Instituto de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. ⁴Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. ⁵Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, (CIC, PBA) Argentina. ⁶Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

*Autor correspondiente: email malloa2001@yahoo.com.ar

Introducción

Desde tiempos remotos, el papel es uno de los materiales más utilizados para documentar el conocimiento humano.



- El proceso de biodeterioro de papel es una preocupación que causa enormes daños en manuscritos y libros antiguos únicos que se conserva en bibliotecas y archivos.



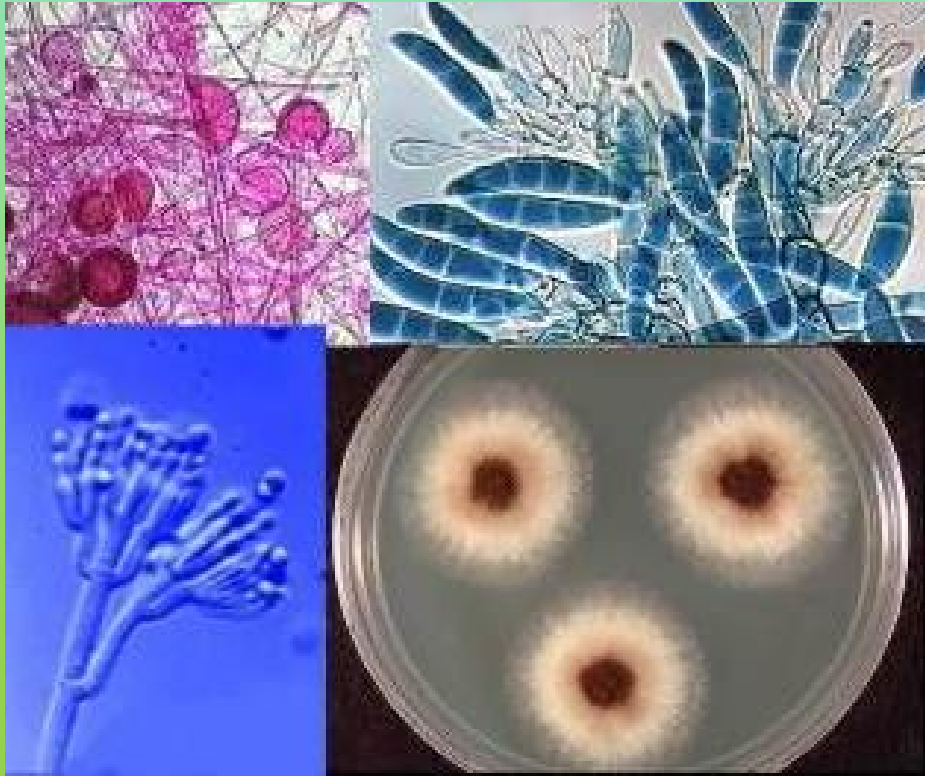
- El papel es susceptible a la colonización de un amplio rango de agentes biológicos, incluyendo a los hongos, que encuentran en el papel el sustrato adecuado para el crecimiento de estos organismos.

Objetivo

La intención de este trabajo es proporcionar una aproximación acerca del conocimiento actual sobre el proceso de transformación de diferentes soportes celulósicos de importancia patrimonial por acción de los hongos y los mecanismos involucrados en el biodeterioro y biodegradación del papel.

CARACTERÍSTICAS DE LOS HONGOS Y SU EFECTO SOBRE EL BIODETERIORO

Los hongos son un distintivo grupo de organismos descomponedores caracterizados por la composición su pared celular de quitina y sus relaciones filogénéticas.



Muchos grupos poseen sistemas enzimáticos extracelulares que despolimerizan los complejos sustratos sobre los que crecen.

Destacados grupos fúngicos

Chytridiomycota



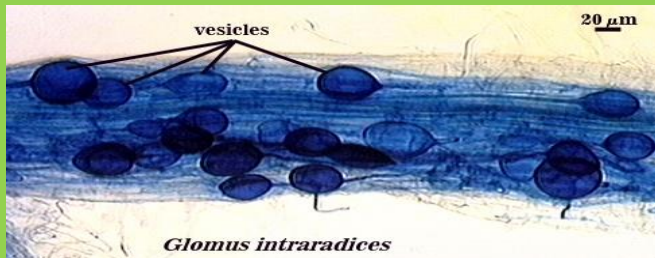
Mucorales



Ascomycota



Glomeromycota



Basidiomycota

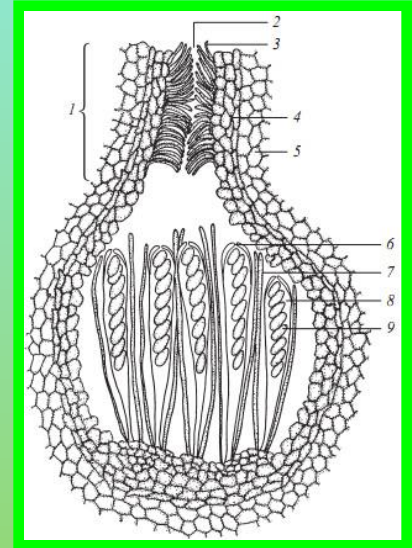
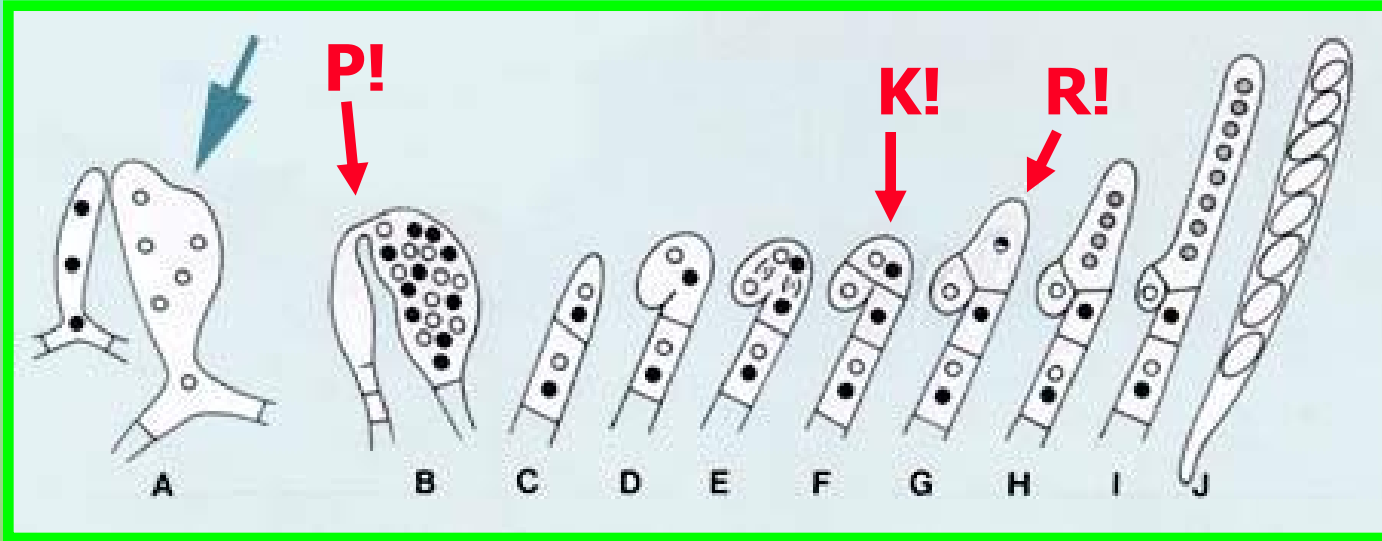


Miembros de Ascomycota y Basidiomycota, incluyen representantes con notable capacidad para la descomposición de celulosa y lignina respectivamente.

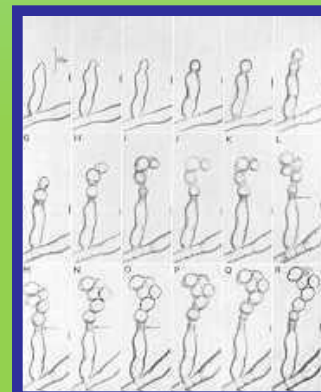
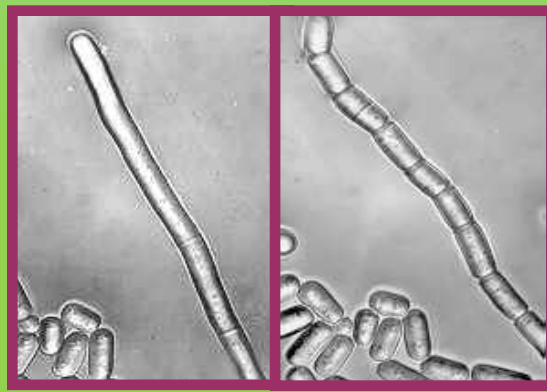
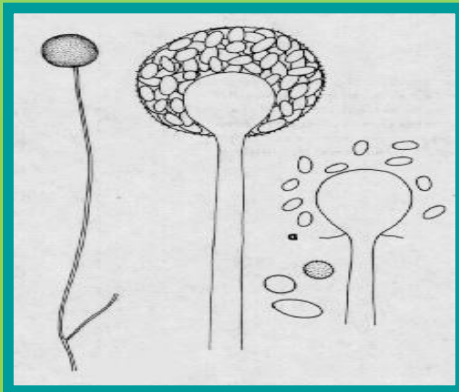
Otros, denominados “sacarofílicos” sólo utilizan sustancias solubles simples tales como azúcares y compuestos simples de carbono (Mucorales) y otros

HONGOS: esporas

Reproducción Sexual



Reproducción Asexual



Morfología de las esporas

Tipos esporales frecuentes en ambientes interiores: **A.** Tipo *Leptosphaeria*, **B.** *Tetraploa* sp., **C.** *Puccinia* sp., **D.** *Penicillium* sp., **E.** Tipo *Drechslera-Bipolaris*, **F.** *Cladosporium herbarum*, **G.** *Chaetomiium globosum*, **H.** *Curvularia* sp., **I.** *Alternaria* sp.



Beneficios

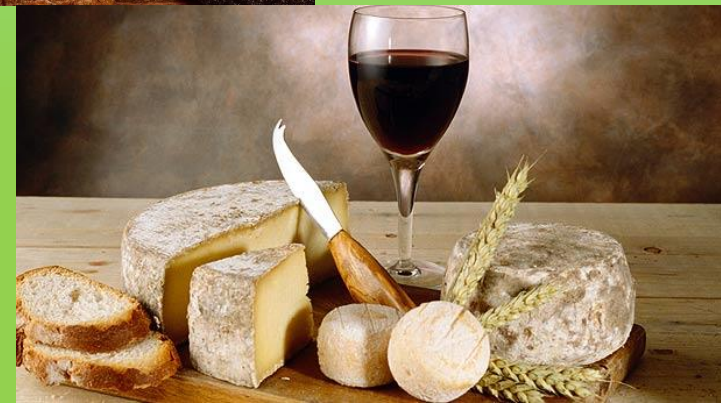
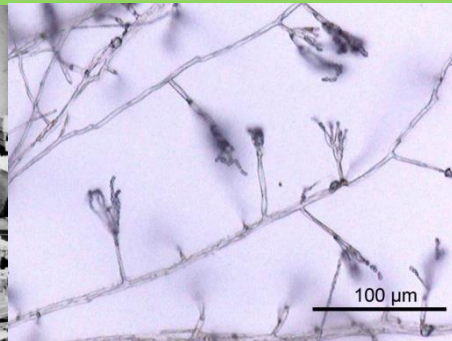
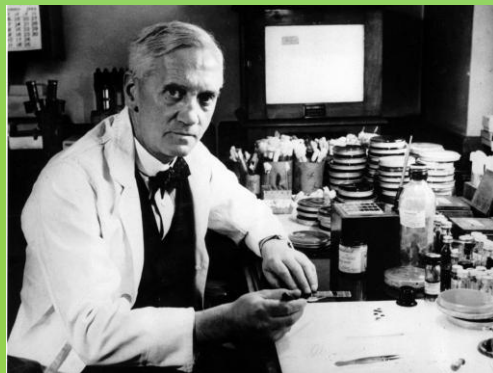
Fuente de alimento para animales y humanos

Saprófitos



Las levaduras se utilizan en la producción de distinto tipo de alimentos

Producción industrial y antibióticos, alcaloides y ácidos orgánicos

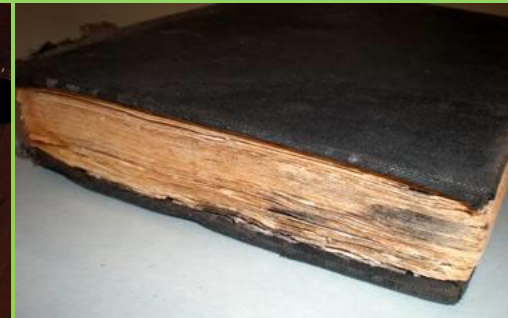


Perjuicios

- Agentes etiológicos de fitopatologías induciendo enfermedades en humanos, animales y vegetales

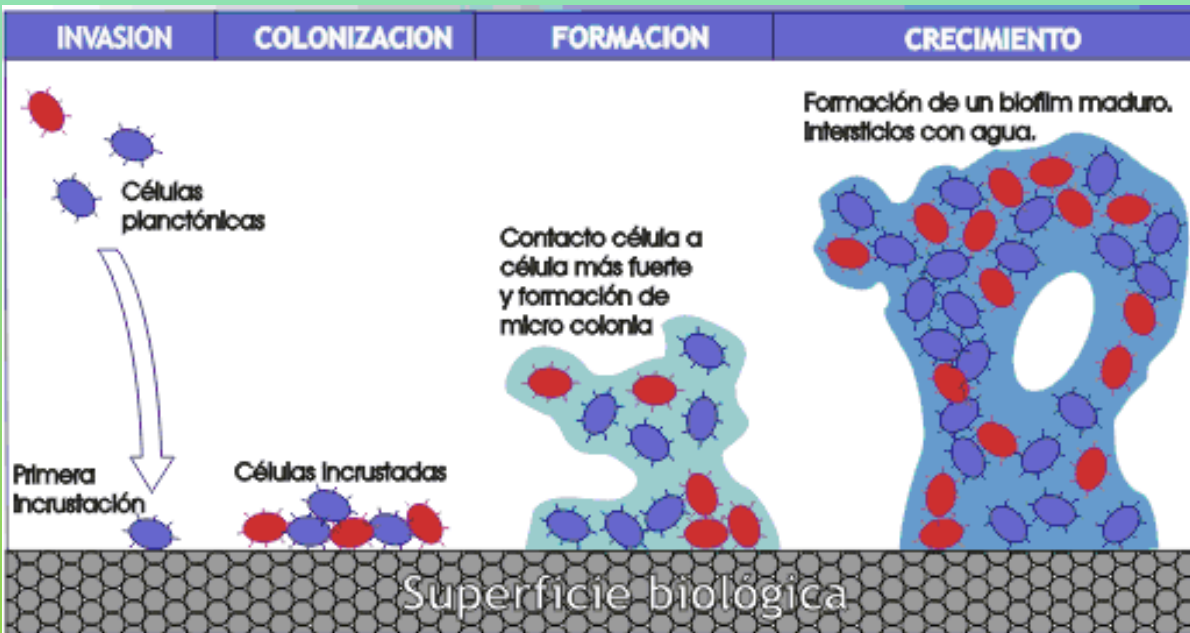


- Agentes responsables de biodeterioro

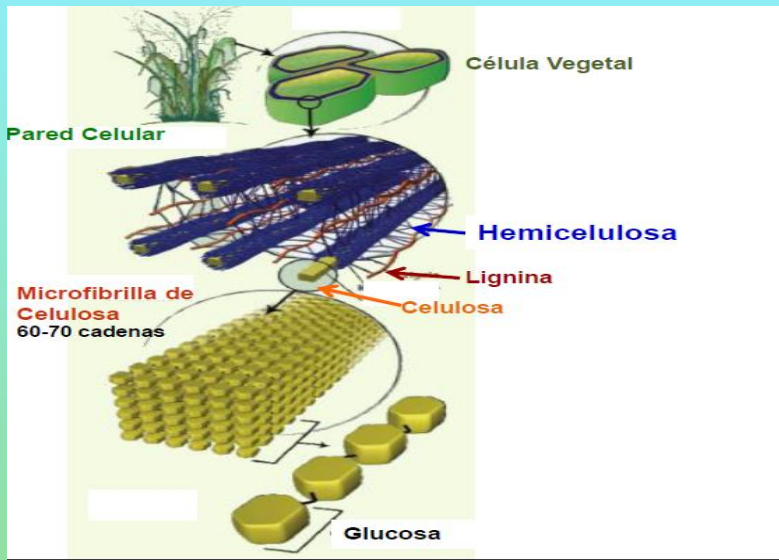


Hongos asociados al biodeterioro de material documental en soporte papel

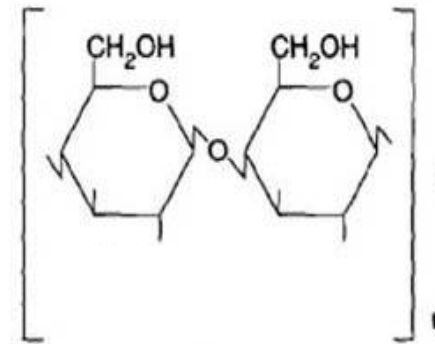
La colonización fúngica del papel puede desarrollarse a nivel superficial formando el biofilm y/o deberse a la penetración en la matriz de microfibrillas de la celulosa.



- Los mecanismos por los cuales los hongos pueden causar biodeterioro en objetos de papel se deben básicamente a dos procesos:
 - 1- Descomposición de la celulosa y/ o
 - 2- Producción de metabolitos secundarios.

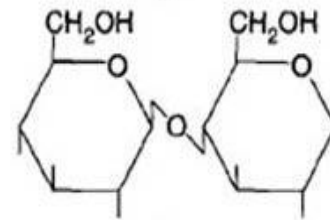


1 - Despolimerización extracelular:



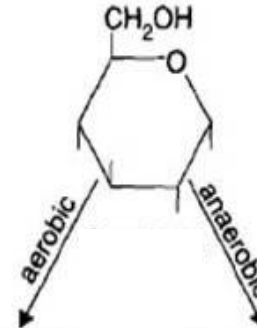
Celulosa
(1000 a 10000 unidades de glucosa)

Despolimerización

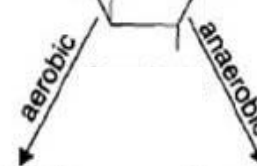


Celobiosa
(puede ser transportado al interior del hongo)

β 1,4-glucosidasa



Glucosa



Respiración

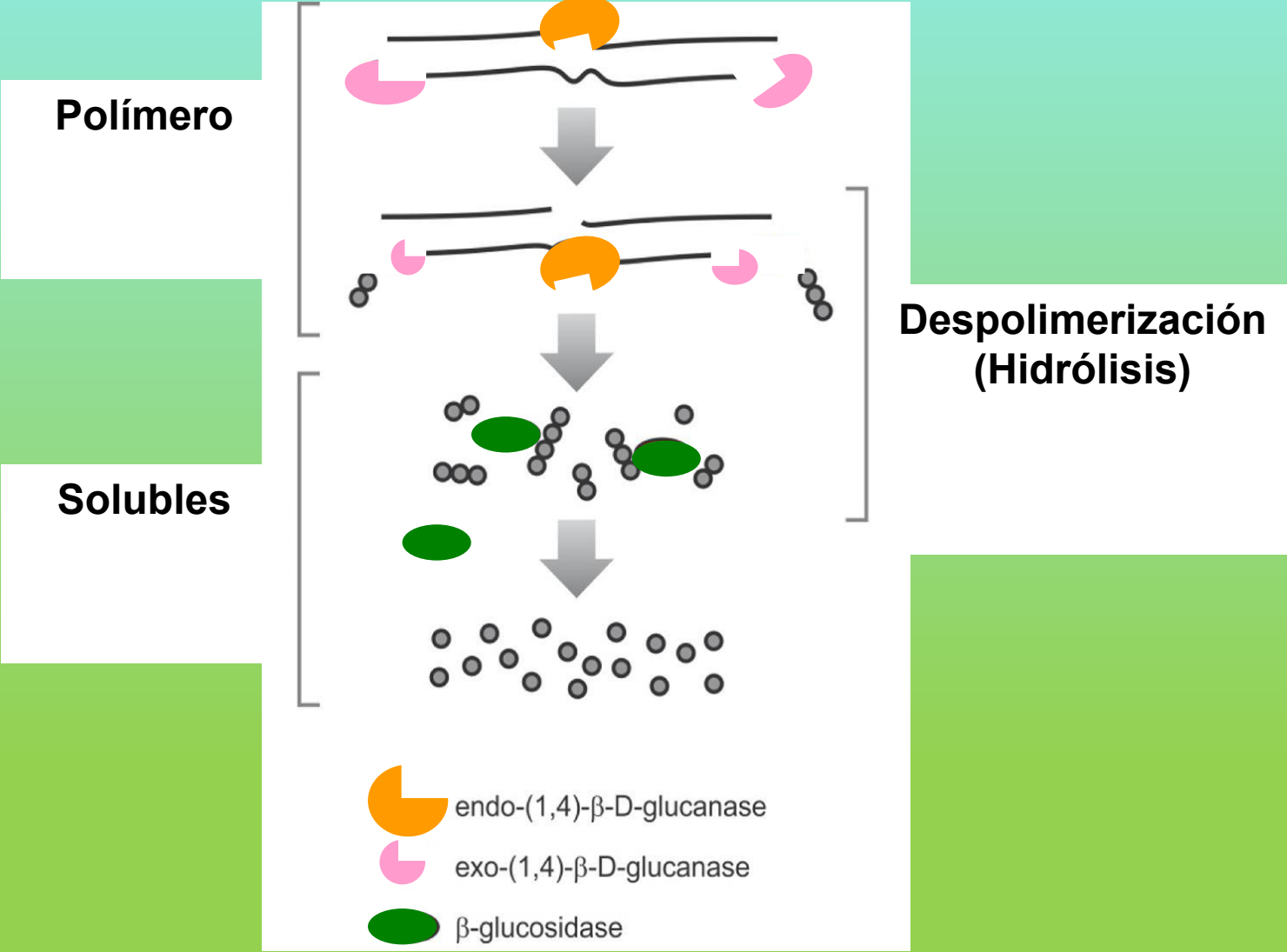
Fermentación

Celulólisis fúngica

2 – Oxidación en el interior del hongo

Glucólisis

El proceso de biodeterioro fúngico involucra mecanismos **enzimáticos y no enzimáticos**. La despolimerización de la celulosa ha sido atribuida principalmente a la actividad de tres tipos de hidrolasas extracelulares:



Degradación de papel

Azúcares solubles

Desarrollo de microbiota asociada

Mucorales

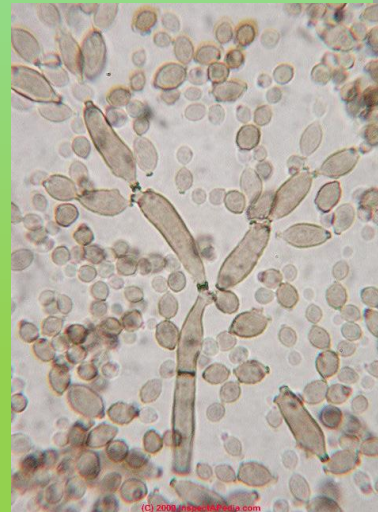


La tabla 1 presenta algunas referencias de reciente publicación acerca del estado actual del conocimiento sobre el proceso de transformación de la celulosa por agentes fúngicos asociado a materiales de interés patrimonial en soporte de papel.

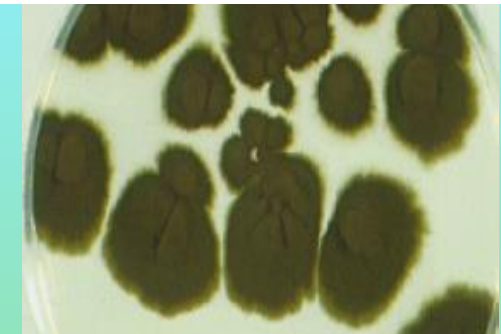
Fuente de aislamiento de los hongos	Taxones*	Referencias bibliográficas
Postil de profesores de la Facultad de Derecho (siglo XVII) del archivo de la Universidad de Coimbra (Portugal); papel de elaboración manual constituido por fibras de algodón, cáñamo y lino.	<i>Cladosporium cladosporioides</i> ^a como la especie más frecuente y <i>Cladosporium</i> ^a y <i>Penicillium</i> ^a como los géneros más frecuentes.	(Mesquita et al 2009)
Libro de un notario privado del Monasterio de Santa María de Cárquere Rota do Românico (Portugal, siglo XVIII); papel constituido con pulpa de origen leñoso.	<i>Phlebiopsis gigantea</i> ^b .	(Mesquita et al 2009)
Material de la Mapoteca del Archivo Nacional de Cuba.	<i>Aspergillus</i> ssp. ^a y <i>Penicillium</i> ssp. ^a .	(Molina Veloso & Borrego, 2014)
Papel tipo secante, blando (siglo XVII).	<i>Aspergillus sclerotiorum</i> , <i>Cladosporium</i> sp. ^a y <i>Torula</i> sp. ^a .	(Stepanowska & Cavaliere, 2012)
Autorretrato de Leonardo da Vinci (1513) dibujado en papel con tiza roja, disponible en la Biblioteca Real de Turín.	Ascomycota ^a formadores de líquenes y <i>Acremonium</i> sp. ^a como los representantes más dominantes, aunque los resultados son dependiente de la metodología empleada.	(Piñar et al, 2015)
Manchas “foxing” del Autorretrato de Leonardo da Vinci (1513) dibujado en papel con tiza roja, disponible en la Biblioteca Real de Turín.	<i>Eurotium halophilicum</i> ^a .	(Piñar et al, 2015)
Fotografías, libros y mapas del siglo XIX con signos de deterioro.		
Material deteriorado de un libro del siglo XVI.	<i>Aspergillus versicolor</i> ^a , <i>Aspergillus nidulans</i> ^a , <i>Botryotinia fuckeliana</i> ^a , <i>Cladosporium cladosporioides</i> ^a , <i>Debaryomyces hansenii</i> ^a , <i>Epicoccum nigrum</i> ^a , <i>Penicillium pinophilum</i> ^a , <i>Rhizopus arrhizus</i> ^c .	(Michaelsen et al, 2006)

Hongos identificados diversos documentos de interés patrimonial en soportes celulósicos

- *Alternaria alternata*
- *Aspergillus melleus*
- *Aspergillus sclerotiorum*
- *Cladosporium cladosporioides*
- *Penicillium sp.*
- *Penicillium purpurogenum*
- *Pithomyces chartarum*
- *Ulocladium alternarie*
- Levaduras



Hongos identificados en materiales en soporte papel



Cladosporium cladosporioides



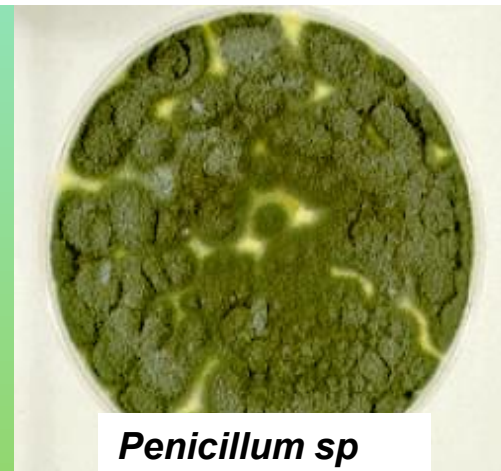
Exophiala jeanselmei



Cladosporium fusiforme



Cladosporium sphaerospermum



Penicillium sp



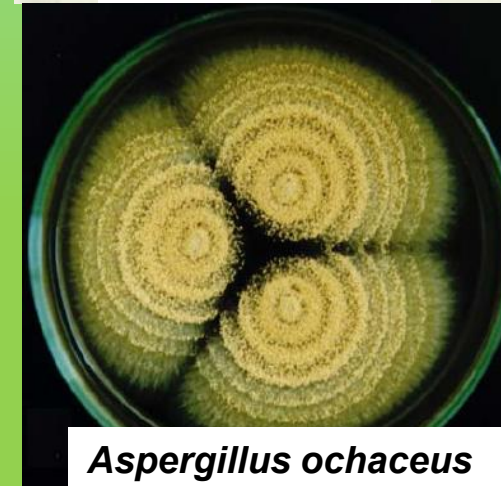
Aspergillus oryzae



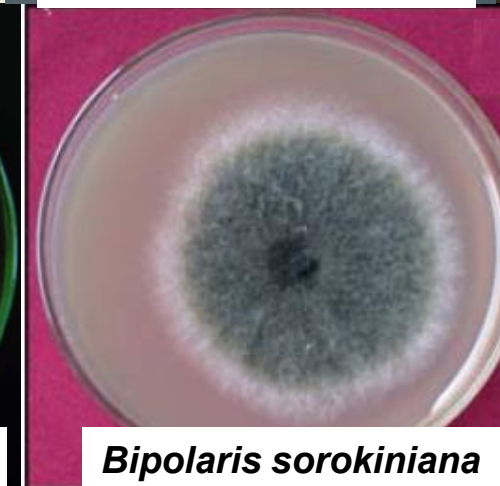
Aspergillus fumigatus



Alternaria sp.



Aspergillus ochraceus



Bipolaris sorokiniana



Aspergillus candidus



Fusarium sp

Ataque fúngico del papel



Daño estructural

Daño estético



Daño estético: foxing



- Manchas pardo-rojizas.
- Este fenómeno se ha relacionado con:
 - depósitos de óxidos y sales de hierro,
 - alteración de las fibras del papel,
 - acumulación de componentes aditivos utilizados en la elaboración de papel, y
 - oxidación de la celulosa por aditivos usados en la elaboración de papel.

Foxing: causas

Diferentes hipótesis:

- 1- Procesos abióticos (Prajapati, 2005)
- 2- Oxidación directa de metales y migración de los productos solubles de degradación (Ardelean y Melniciuc-Puică, 2013).
- 3-Contaminación por microorganismos posiblemente suspendidos en el aire (Ardelean y Melniciuc-Puică, 2013).
- 4- Reacciones de autooxidación, en condiciones de alta humedad relativa causando la decoloración en la superficie del papel (Ardelean y Melniciuc-Puică, 2013).
- 5- Participación de metales en el proceso de oxidación de la celulosa [Bicchieri *et al*, 2002].
- 6- Reacciones de condensación entre productos de oxidación de la celulosa con compuestos nitrogenados [Guggenberger, 2005].

Pigmentos fúngicos

Muchos hongos son capaces de sintetizar pigmentos de distinta naturaleza química y solubilidad como carotenoides (lipofílicos), antraquinonas (hidrofílicos) y melaninas (solubles en soluciones alcalinas) que causan deterioro estético en el papel.

Los pigmentos pueden encontrarse en las esporas, cuerpos fructíferos y micelio así como en estructuras de resistencia como los esclerocios.



Desarrollo in vitro de *Chaetomium globosum* LPSC 259 sobre papel de abacá. A. Vista general del papel mostrando los peritecios desarrollados por el hongo sobre la superficie. B. Matrix fibrilar del papel deteriorado por desarrollo de hifas fúngicas. C. Detalle de un sector del peritecio oscuro asociado con una masa de hifas y ascosporas pigmentadas que se unen al papel deteriorado.

Conclusiones

- La limpieza y el control ambiental de sitios de guarda del patrimonio cultural, así como el monitoreo de la calidad del aire son procedimientos claves para la prevención del biodeterioro.
- La degradación de la celulosa por acción fúngica causa tanto destrucción de los documentos como la producción de sustancias que afectan el material y facilita la colonización de hongos no celulolíticos que secretan otros metabolitos problemáticos.
- El conocimiento de la biología de estos organismos, que pertenecen a distintos grupos ecofisiológicos es fundamental para la conservación y restauración de papel biodeteriorado.
- Hasta el momento no hay datos concluyentes acerca de los mecanismos y factores que inducen el biodeterioro. Por lo tanto, son necesarias más investigaciones para desarrollar procesos efectivos y sustentables para disminuir el impacto del biodeterioro fúngico en el patrimonio cultural.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado con el financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) PIP 112-201101-00087, PIP 112-201101-00391; Agencia Foncyt PICT 2013-0418, y el Proyecto de Incentivos a la Investigación (N11/781) de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM), Argentina.

-



MUCHAS GRACIAS!

)