

Microbiodeterioro por hongos en obras en papel: procesos de alteración y tratamientos de desinfección.

Mónica Moreno Falcón

Resumen—Partiendo de una breve aproximación a la composición química del papel y de los mecanismos-factores de alteración fúngicos que le afectan, se realiza una revisión de los tratamientos de control microbiológico empleados tradicionalmente por Archivos y Bibliotecas y de los nuevos tratamientos en vía de investigación actualmente.

Palabras Claves— biodeterioro, hongos, papel, mecanismos de alteración, tratamientos de desinfección.

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos, como principal factor de biodeteriígeno en colecciones documentales, son una de las preocupaciones principales de archivos y bibliotecas. Su presencia ubicua y la facilidad con que las esporas pueden ser transportadas por los flujos de aire les permiten infestar casi cualquier material si las condiciones ambientales son las adecuadas.

Además, gracias a la capacidad celulolítica que muchas especies presentan, pueden descomponer las macromoléculas celulósicas y utilizarlas como fuente de energía[1]. De esta forma, libros y documentos se convierten en potenciales sustancias nutritivas para los hongos.

A pesar de las propuestas de control de factores biodeteriogenos y de la existencia de diversos medios de desinfección, hoy en día no se dispone de un tratamiento que pueda ser considerado eficaz y no tóxico[2]. En este aspecto conocer los mecanismos del microbiodeterioro fúngico y las ventajas y desventajas que cada tratamiento ofrece resulta esencial para avalar la toma de decisiones en un tratamiento de desinfección.

2. EL PAPEL COMO SOPORTE CELULÓSICO

El papel puede definirse “como el material resultante del proceso de separación de fibras en una suspensión acuosa, así como de la posterior formación de una hoja”[3]. La fibra es por tanto el componente principal, tratándose muchas veces de un material orgánico vegetal con alta proporción de celulosa. Las reacciones de oxidación e hidrólisis son las principales causas de alteración de la celulosa, provocando la disminución del tamaño de la cadena molecular de la celulosa[4].

La presencia de hemicelulosa y lignina en la pasta, así como la presencia de encolantes y otros aditivos como el alumbre o el almidón también influyen en la durabilidad del papel y en su susceptibilidad al biodeterioro.

4. LA BIODEGRADACIÓN POR HONGOS DEL PAPEL

4.1. Mecanismos de alteración

Los hongos -como organismos quimiorganotrofos- son capaces de obtener alimento mediante la degradación enzimática de materiales orgánicos[1][2].

El proceso de degradación de la celulosa es producido por la enzima *celulasa* y genera la oxidación e hidrólisis de la macromolécula. El resultado es la ruptura del enlace β -glucosídico y el acortamiento de la cadena polimérica[1]. La capacidad para descomponer la celulosa en monómeros de glucosa varía según los diferentes géneros, siendo *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Paecilomyces* y *Myrriethecium* los géneros que reportan una mayor actividad celulolítica[1]. La hemicelulosa puede ser degradada por la mayoría de los hongos y bacterias. El complejo enzimático de la enzima *hemicelulasa* es la encargada de transformar la hemicelulosa en monómeros de xilosa[1].

Respecto a la lignina se trata de un polímero muy estable a la degradación microbiana. Solo puede ser atacado por basidiomicetos, actinomicetos termófilos y algunas bacterias[1]. Este proceso está catalizado por la enzima lignasa, que es en realidad un compuesto multienzimático.[1].

Los almidones empleados en la fabricación del papel o en la restauración también pueden ser degradados por la enzima amilasa dando lugar a monómeros de glucosa y maltosa. Ceras, aceites secantes y grasas también pueden ser biodegradados y utilizados como nutrientes[1].

Algunas especies de hongos son capaces de usar los substratos carbonatados de las cargas del papel para generar oxalatos y unos cristales llamados “micolitos” que precipitan sobre las fibras y modifican su reserva alcalina [2][5]. Todas las transformaciones químicas descritas con anterioridad generan cambios morfológicos en los soportes documentales que pueden ser identificadas visualmente, son los llamados indicadores de alteración.

4.2. Indicadores de alteración

Manchas de diferentes colores-texturas y biopátinas son el principal indicador de microbiodeterioro. El tono de

estas manchas depende en gran parte de los pigmentos excretados por los microorganismos así como por el color de la colonia (Fig. 1). Aunque el microorganismo no use el soporte como fuente de energía, los productos metabólicos excretados junto al anhídrido carbónico del ambiente pueden producir cambios químicos que a su vez generan cambios cromáticos. Esta es la causa de que no siempre sea posible identificar si las manchas han sido generadas por agentes biológicos o químicos[1][5].

Variaciones en las características mecánicas y la pérdida de cohesión de los soportes documentales son otros indicadores que pueden evidenciar la presencia de un ataque microbiológico. Estas alteraciones pueden ser causadas por la acción mecánica de los microorganismos durante su crecimiento o por las sustancias ácidas excretadas [1][5]. A su vez, estas facilitan la fragmentación del documento y aumentan la superficie de contacto que puede ser atacada a posteriori

Decoloración del soporte, de las tintas y disolución de los adhesivos también son considerados indicadores de microbiodeterioro[5].

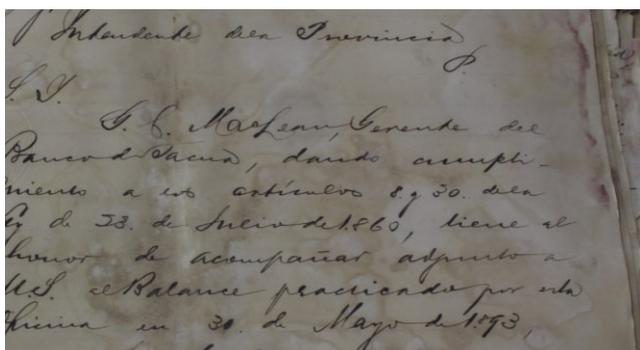


Fig. 1. Manchas generadas por ataque biológico. Fondo Intendencia de Tacna. Archivo Histórico Vicente Dagnino. Foto tomada por Mónica Moreno, 2018.

4.3. Fenómenos que propician la alteración

Los factores ambientales y las mismas características específicas del papel pueden influir en el desarrollo de infestaciones fúngicas o actuar como factores limitantes.

Entre los factores intrínsecos, la composición y naturaleza de los materiales, la higroscopicidad y el contenido acuoso, la presencia de impurezas y el pH son los factores que más condicionan los procesos de biodeterioro[1].

Entre los factores extrínsecos, la humedad relativa es quizá uno de los más influyentes ya que cualquier reacción metabólica requiere de ambientes acuosos. Tradicionalmente humedades relativas que superen el 65% han sido consideradas como óptimas para el desarrollo de colonias de hongos[1]. La actividad acuosa (a_w) es un parámetro estrechamente ligado a la humedad de la materia, si es superior a 0.6 a_w es suficiente para permitir el crecimiento de una amplia variedad de hongos [2][5].

La temperatura como fuente de energía calorífica condiciona las relaciones metabólicas y por lo tanto el crecimiento y reproducción de los seres vivos. En general 30°C suele ser una temperatura óptima para el desarrollo de

microorganismos. Además, es importante considerar que las oscilaciones de los parámetros anteriormente descritos favorece la germinación de las esporas[1].

Respecto a la luz visible esta es una fuente primaria de energía para los organismos fotosintéticos. En relación al ciclo metabólico de los hongos no se conoce muy bien cuáles son sus efectos, aunque algunos autores afirman que puede acelerar la esporulación [1]. La radiación ultravioleta en cambio puede ser usada con funciones biocidas ya que por debajo de los 260 nanómetros genera la ruptura de las moléculas[2].

El oxígeno condiciona el desarrollo de las especies aeróbicas estrictas, aunque no influye en el desarrollo de aquellas especies anaeróbicas o aeróbicas facultativas.

La circulación del aire y la ventilación son factores que evitan la condensación de agua ambiental minimizando la germinación de las esporas de los hongos.

5. TRATAMIENTOS DE CONTROL MICROBIOLÓGICO

5.1. Medidas preventivas

El registro y control de medidas ambientales (temperatura, humedad relativa y grado de ventilación); el mantenimiento regular de los conductos del aire acondicionado; la limpieza de los espacios de depósito; y el desarrollo de protocolos que eviten el ingreso de materiales contaminados son medidas habitualmente llevadas a cabo por Archivos y Bibliotecas[1][6].

5.2. Identificación de especies y daños.

Si bien las técnicas de aislamiento y cultivo han sido empleadas tradicionalmente por la microbiología en la identificación de especies fúngicas, recientes estudios demuestran que solo pueden identificar alrededor de un 5% del total de los microorganismos presentes[5]. En este aspecto el desarrollo de las técnicas de biología molecular en la última década está introduciendo cambios significativos[7]. Respecto a la cuantificación del grado de infestación, el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) permite visualizar si se trata de un ataque en superficie o si afecta en profundidad al sustrato celulósico[5].

5.3. Tratamientos químicos

El timol, empleado como fumigante durante años, además de su toxicidad ha demostrado provocar un fuerte amarilleamiento del papel y degradar las tintas meta-lóicas[8]. Las sales cuaternarias de amonio, si bien no parecen influir en la estabilidad de la celulosa, pueden tener efectos negativos sobre el sistema inmunitario humano[2]. El óxido de etileno es inflamable, mutagénico y cancerígeno. Un caso similar sería el del uso del formaldehído igualmente tóxico y cancerígeno[8]. Pentaclorofenol, paradiclorobenceno, ortofenilfenol, formaldehído y otras sustancias igualmente tóxicas han sido usadas en tratamientos de desinfección[2].

Actualmente, biocidas y fumigantes están siendo sustituidos paulatinamente por la aplicación de etanol al 70% con efecto fungicida en tiempos de exposición de 2 a 3 min [5]. Recientes estudios revisan las posibilidades que

el etanol ofrece como desinfectante en distintas proporciones [9]. La pérdida de brillo del papel y la disolución de algunas tintas son los efectos negativos provocados por este tratamiento[5].

La aplicación de propionato de calcio disuelto en etanol también es empleada actualmente como inhibidor del crecimiento de hongos, aunque hay autores que plantean que a largo plazo pueden aumentar la producción de esporas y que variaciones en el pH de la disolución podrían reducir su efectividad[2]. Los parabenos son utilizados con la misma función pero con mejores resultados[8].

El dióxido de titanio (TiO₂) expuesto a luz UV de menos de 385 nm presenta un fuerte poder oxidante y provoca la muerte de los microorganismos[5]. Aunque los hongos son menos sensibles que las bacterias a este tratamiento se está investigando su uso como dispersión de nanopartículas[10]. Para evitar la posible reacción del TiO₂ con la celulosa se está testando su aplicación en soportes gelificados, hasta ahora, con buenos resultados[11].

Las nanodispersiones de óxido de zinc también están siendo testadas por sus cualidades protectoras ante los efectos nocivos de la luz y los ataques de hongos y bacterias[11], así como las nanodispersiones de clotrimazol[12].

5.4. Tratamientos físicos

La radiación ultravioleta y la radiación gamma han sido y son usadas con funciones fungicidas con resultados muy efectivos a pesar de haberse demostrado que, hasta en dosis muy bajas, provocan la despolimerización y el amarilleamiento de la celulosa. Además el papel irradiado es más propenso al ataque de insectos y hongos[8][5].

Las temperaturas extremas, ya sea por altas temperaturas o por congelación también han sido empleadas como técnica de desinfección, aunque las altas temperaturas favorecen las reacciones de oxidación de la celulosa[2].

Respecto a las atmósferas de gases inertes, si bien su uso es muy efectivo para infestaciones de insectos y los estudios realizados hasta la fecha muestran efectos inhibidores del crecimiento de hongos, algunos autores los atribuyen en parte a los fenómenos de reducción de la humedad que llevan asociados atmósferas bajas en oxígeno[2]. Por último la deshidratación también ha sido ampliamente usada, especialmente en caso de inundaciones[2].

6. CONCLUSIONES

La fenomenología del microbiodeterioro puede variar significativamente en función de las distintas especies de hongos, la naturaleza del soporte celulósico y los factores físico-químicos del ecosistema.

Si bien el uso de productos químicos en tratamientos de desinfección ha sido algo habitual, la alta toxicidad de muchos de los materiales empleados tradicionalmente así como los efectos negativos causados sobre algunos soportes desaconsejan su uso hoy en día.

A nivel práctico, la corriente actual es evitar el uso de productos tóxicos y optar por aplicar medidas de conservación preventiva y disoluciones de alcohol etílico al 70% para el caso de infestaciones activas.

Los nuevos tratamientos fundamentados en el uso de

nanomateriales si bien ofrecen resultados prometedores, su eficacia e inocuidad todavía deben ser testadas sobre materiales originales.

REFERENCIAS

- [1] M. Vaillant Callol, *Biodeterioro del patrimonio histórico documental: alternativas para su erradicación y control*. Rio de Janeiro, 2013.
- [2] S. Sequeira, E. J. Cabrita, and M. F. Macedo, "Antifungals on paper conservation: An overview," *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 74, pp. 67–86, 2012.
- [3] V. Daniels, "Paper," in *Conservation Science: Heritage Materials*, pp. 32–55, 2007.
- [4] S. Zervos, *Natural and accelerated ageing of cellulose and paper*, Nova Scien., 2015.
- [5] K. Sterflinger and F. Pinzari, "The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment," *Environ. Microbiol.*, vol. 14, no. 3, pp. 559–566, 2012.
- [6] S. O. Sequeira, E. J. Cabrita, and M. F. Macedo, "Fungal biodeterioration of paper: How are paper and book conservators dealing with it? An international survey," *Restaurator*, vol. 35, no. 2, 2014.
- [7] V. M. M. Chaparro, J. R. P. Castiñeira, and M. S. Puerto, "174. Estudio de microorganismos causantes de biodeterioro mediante técnicas de biología molecular en el IAPH," *Rev. ph*, vol. 0, no. 84, 2013.
- [8] S. Zervos and I. Alexopoulou, "Paper conservation methods: a literature review," *Cellulose*, vol. 22, no. 5, pp. 2859–2897, 2015.
- [9] S. O. Sequeira, A. J. L. Phillips, E. J. Cabrita, and M. F. Macedo, "Ethanol as an antifungal treatment for paper: short-term and long-term effects," *Stud. Conserv.*, vol. 62, no. 1, pp. 33–42, 2017.
- [10] H. Wang, G. Lu, J. Zhang, and D. Zheng, "Multifunctional nanocomposites for paper conservation," *Stud. Conserv.*, vol. 58, no. 1, pp. 23–29, 2013.
- [11] M. Afsharpour and S. Imani, "Preventive protection of paper works by using nanocomposite coating of zinc oxide," *J. Cult. Herit.*, vol. 25, pp. 142–148, 2017.
- [12] S. O. Sequeira, C. A. T. Laia, A. J. L. Phillips, E. J. Cabrita, and M. F. Macedo, "Clotrimazole and calcium hydroxide nanoparticles: A low toxicity antifungal alternative for paper conservation," *J. Cult. Herit.*, vol. 24, pp. 45–52, 2017.



Mónica Moreno Falcón diplomada en Conservación y Restauración por la Escuela Superior de Conservación de Bienes Culturales de Madrid y magister en Sistemas de Información Geográfica por la Universidad de Extremadura.

Actualmente se desempeña como encargada de la Colección Patrimonial Alfredo Wormald Cruz, perteneciente a la Universidad de Tarapacá (Arica,

Chile). Su interés investigador se centra en la gestión de riesgos en colecciones documentales.