

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Agentes biodeteriogenos implicados en el detrimento de patrimonio documental del siglo XIX

Aída Verónica Rodríguez-Tovar¹, Guillermo Domínguez-López¹, Sofía Pamela Roque-Bermúdez¹, Rodrigo López-Valdivia¹, Daniel Garmendia-Ruiz¹, Brenda Nallely Santos-Ocampo¹, Víctor Alejandro Estrada-López¹, Dara Araceli Valencia-Hernández², Susana Aurora Hoyos-Velasco², Adrián Ramírez-Granillo^{1,3} ✉

¹Laboratorio de Micología Médica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB)-Instituto Politécnico Nacional (IPN), Departamento de Microbiología, Ciudad de México, México.

²Subdirección de Investigación y Conservación del Patrimonio Documental-Archivo General de la Nación (AGN), Ciudad de México, México.

³Academia de Técnico Laboratorista Clínico, Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos N° 6 "Miguel Othón de Mendizábal"- Instituto Politécnico Nacional (IPN), Ciudad de México, México.

✉ adramirezg@ipn.mx

Datos del artículo

Cita: Rodríguez-Tovar Aida Verónica, Domínguez-López Guillermo, Roque-Bermúdez Sofía Pamela, López-Valdivia Rodrigo, Garmendia-Ruiz Daniel, Santos-Ocampo Brenda Nallely, Estrada-López Víctor Alejandro, Valencia-Hernández Dara Araceli, Hoyos-Velasco Susana Aurora, Ramírez-Granillo Adrián. 2023. Agentes biodeteriogenos implicados en el detrimento de patrimonio documental del siglo XIX. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(2) Especial: 1-15 pp.

Editor: Carlos Pedraza Lara.

Recibido: 9 agosto 2022.

Aceptado: 26 enero 2023.

Publicado: 24 abril 2023.

Resumen

El Archivo General de la Nación (AGN) es una institución gubernamental encargada de conservar y difundir el patrimonio documental nacional. Dentro de su inmueble, se cuenta con un conjunto de materiales documentales del siglo XVI al XX que han sufrido deterioro, término que se define como la modificación de las propiedades físicas, químicas y estéticas debido a factores intrínsecos (composición del soporte) y extrínsecos (ambientales, antropogénicos y biológicos). Cuando esta afectación es llevada por un factor biológico suele referirse a biodeterioro, proceso que provoca alteraciones en la naturaleza de los bienes culturales, depreciando su valor estético y funcional. Durante el año 2019, bajo el proyecto que realizan el AGN y la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), se llevó a cabo un estudio del patrimonio documental con riesgo biológico para su rescate. Se trabajaron con documentos que mostraban distintos grados de biodeterioro, y se tomaron muestras representativas que mostraban un ataque fúngico. Particularmente, el documento DOC-101, mostró hallazgos distintivos, y detrimento en el soporte (papel de pulpa de trapo). Las muestras obtenidas se sembraron en medios de cultivo y posteriormente, se llevó a cabo la descripción macroscópica y microscópica del agente fúngico aislado de la muestra. Los resultados mostraron un insecto muerto y observaciones en fresco del soporte, con la presencia del hongo filamentoso aislado *Aspergillus* sp. El agente entomológico muerto inoculado, *Lepisma saccharina*, comúnmente denominado pececillo de plata, es reportado como insecto bibliófago. Asimismo, fue posible aislar un agente bacteriano de la muestra del soporte, caracterizado como bacilo Gram variable.

Palabras clave: Biodeterioro, patrimonio documental, hongos filamentosos, insectos, bacterias, biodeteriogenos

Abstract

The Archivo General de la Nación (AGN) is a governmental institution in charge of preserving and broadcasting the national documentary heritage. Inside the building exists a collection of documentary materials from the 16th to the 20th century, which have been found to be deteriorated. Cultural property is exposed to different types of deterioration (chemical, physical and biological). Biodeterioration is a complex process caused by biological agents that cause alterations in the nature of cultural property, depreciating its aesthetic and functional value. During 2019, under the project carried out by the AGN and the Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) of the Instituto Politécnico Nacional (IPN), the study of documentary heritage with biological risk was considered for its rescue. Documents showing different degrees of biodeterioration were worked and representative samples of fungal attack were collected. Particularly, a document named DOC-101 was investigated due to the distinctive findings, as well as the detriments manifested in the base (rag pulp paper). The samples were seeded in culture media and subsequently, macroscopic and microscopic description of the fungal agent isolated from the sample was performed. The results have shown that from the dead insect and fresh observations of the substrate, the genus of the filamentous fungus isolated was *Aspergillus* sp. The dead entomological agent that was inoculated is a silverfish, reported as a bibliophagous insect. Likewise, it was possible to isolate a bacterial agent from the support sample, characterized as a Gram variable bacillus.

Keywords: Biodeterioration, documentary heritage, filamentous fungi, insects, bacteria, biodeteriogens

Introducción

El Archivo General de la Nación (AGN) es la institución encargada de conservar y difundir el patrimonio cultural que aporta evidencias de los sucesos más trascendentales que han marcado nuestro andar como sociedad. El acervo documental custodiado por el AGN en diversas áreas de conservación, está expuesto constantemente a sufrir alteraciones físicas, químicas y/o biológicas (1).

En el caso del deterioro biológico, o biodeterioro, los agentes biológicos involucrados provocan alteraciones no deseadas en las propiedades de los materiales de valor cultural (2,3). El soporte es el vehículo del mensaje plasmado, constituido principalmente de diversos materiales de origen natural o sintético (4). El papel es uno de los soportes más usados para la representación escrita de los documentos, siendo susceptible a alteraciones en sus propiedades a causa de diversos factores. Dentro de los factores químicos, se reportan las variaciones de pH, degradación de las macromoléculas constituyentes del papel, así como, la utilización de productos inadecuados en las restauraciones y fumigaciones (3). Asimismo, el factor biológico es determinante en los cambios indeseables en las propiedades de ciertos materiales, agentes biodeteriogenos, sumado a la combinación de las condiciones climáticas y microclimáticas de la zona geográfica (5). El deterioro gradual de las cualidades físicas, químicas y estéticas originales del objeto de interés, lógicamente, se incrementan a medida que transcurre el tiempo. En consecuencia, los sitios de resguardo para la conservación de los documentos son considerados un tema fundamental al momento de albergar el patrimonio. Las condiciones óptimas del ambiente de conservación se deben exentar de instalaciones defectuosas, factores fisicoquímicos desfavorables, almacenaje y manipulación incorrectos. Basándose en un objetivo central enfocado a evitar el biodeterioro en los patrimonios documentales y bibliográficos (6). El material documental puede presentar daños ocasionados por diferentes organismos (macroscópicos o microscópicos), los cuales se desarrollan bajo la presencia de factores extrínsecos (temperatura y humedad, entre otros) que les propician las condiciones necesarias para su crecimiento, modificando eventualmente la composición química del soporte y posteriormente, la estética del material documental (3). Los agentes causales del biodeterioro pueden clasificarse como productores o destructores (7). Los organismos productores se describen como causantes de afectaciones de forma indirecta en el soporte (algas, líquenes, cianobacterias). Como tal, el daño se deriva de los productos de su metabolismo o por deterioro físico resultado de la penetración mecánica de determinadas estructuras dentro de la obra. Los organismos destructores se reconocen por el efecto directo provocado en el material documental, ya que emplean los materiales presentes en el documento (celulosa, colas, adhesivos y diversos polímeros) para su metabolismo. Este proceso nocivo causa que se desencadene la producción de ácidos orgánicos y pigmentos ocasionando que

se acumulen en el soporte y, finalmente, se deteriore el patrimonio documental. Algunos ejemplos de organismos destructores que se reportan son los insectos, roedores y microorganismos (bacterias, levaduras, actinomicetos y hongos, 7,8). Conjuntamente, las modificaciones y daños que se pueden manifestar, desencadenan una serie de reacciones fisicoquímicas y biológicas, tanto a nivel superficial como estructural en el soporte. Los tipos de daño en los materiales documentales se clasifican como daños físicos, químicos y biológicos (9). El daño físico se muestra por efecto de la temperatura con endurecimiento o reblandecimiento de colas y adhesivos; rigidez, contracción, deformación, agrietamiento y craquelamiento del papel, así como, corrimiento de tintas y pigmentos. Con respecto al daño químico, es causado por las alteraciones químicas producidas en el soporte, destacando la acidificación del papel, propiciando la aparición de manchas, amarillamiento, *foxing* o corrimiento de las tintas. Para el daño biológico, de forma general, se describen dos tipos de detrimento al soporte. El primero es el daño estético, el cual se aprecia por cambios en el color del soporte y su aspecto a nivel visual (aparición de manchas de diferentes colores y pigmentos), además la acidificación del papel ocasiona la pérdida de resistencia, favoreciendo el desarrollo de microorganismos fúngicos. El otro tipo de daño se refiere al mecánico, y se muestra en función del agente biodeteriígeno implicado. La acción que ejercen los microorganismos por su crecimiento o movimiento, suele ocasionar la pérdida de la unión del soporte. Con relación a los organismos destructores, específicamente los insectos, se refieren como biodeteriógenos de gran impacto para los documentos. El daño se favorece debido a la superficie de contacto, aunado al medioambiente y los componentes del soporte. Adicionalmente, se generan lesiones como abrasiones superficiales, túneles y galerías de diámetro y forma inespecífica, dependiendo de la especie que lo efectúe (3). Específicamente, los artrópodos como los pececillos de plata, o bien, *Lepisma saccharina*, del orden Zygentoma, suelen ser algunos de los agentes bibliófagos que pueden causar biodeterioro, localizándose principalmente hacia los márgenes de los documentos, llegando a erosionar las superficies al alimentarse de colas, gelatinas, almidones, adhesivos de lomos y empastes. En caso de avistar insectos como *L. saccharina* durante monitoreos ambientales, se sugiere realizar una revisión y limpieza exhaustiva del documento, para posteriormente aplicar agentes insecticidas efectivos contra el biodeteriígeno (44). Asimismo, la conservación de archivos en el entorno de la investigación forense es sustancial dados a los procesos de justicia transicional, lo que resulta importante considerando la necesidad del resguardo de pruebas materiales en almacenes con condiciones ambientales ideales, que además, favorecen su preservación y disminuyen la posibilidad de alteración a causa de factores intrínsecos y extrínsecos. En ese mismo contexto, la dificultad que representa el control de los factores ambientales en los almacenes para la conservación de estos soportes documentales de interés forense (temperatura, ventilación y humedad relativa) se ve reflejado en la infraestructura disponible y de mantenimiento del reservorio documental (10).

El presente trabajo es un ejemplo de las oportunidades en la investigación del campo de las ciencias forenses, específicamente en la entomología forense junto con otras áreas de las ciencias biológicas como la microbiología, que se pueden abordar para su estudio. Adicionalmente, la rama de la archivística como disciplina auxiliar o funcional de la administración e historia, que se refiere a la creación y funciones de los archivos y a sus fundamentos legales o jurídicos, tiene como visión la preservación de la memoria en todos sus medios de soporte, evitando la pérdida del patrimonio documental nacional mediante este tipo de avances científicos multidisciplinarios (11,12).

Material y Método

Durante el año 2019, a partir de una revisión aleatoria de aproximadamente 1,676 cajas (la mayoría de cartón) provenientes del Laboratorio de Investigación del AGN y el área de Recepción de Documentos del edificio Anexo, se muestrearon al azar bienes documentales que datan del siglo XVI hasta el siglo XX, para determinar el grado de biodeterioro fúngico (20). Además de un interés especial por los daños físicos observados, así como otros hallazgos microbiológicos y entomológicos detectados en cada documento. El material documental de interés de este trabajo se registró con la clave DOC-101. Se describió como formato de encuadernado, con hojas de papel de pulpa de trapo con portada de piel y cartón. Dentro de los detalles históricos del bien documental, se reporta que fue registrado entre el año 1843 a 1844 con el nombre de “Receptoría de Rentas de Fepeapulco”.

Medios de cultivo

Los medios de cultivo que se implementaron para el primoaislamiento, así como, la caracterización macroscópica y microscópica de los agentes contaminantes provenientes de los diferentes documentos fueron agar papa dextrosa (PDA) y agar de infusión cerebro corazón (BHI).

Toma de muestra para primoaislamiento

La selección de las muestras se llevó a cabo con base en la elección de los materiales documentales que presentaban en su interior o sobre el soporte la aparición de puntos negros, manchas de textura pulverulenta (cuyas tonalidades son verde-azuladas, marrones, cafés, negras) indicando que probablemente, el agente causante de estas modificaciones fuera fúngico (3,13). Se implementaron técnicas de siembra bajo condiciones asépticas en medios de cultivo para hongos tales como siembra directa, siembra por estría masiva a partir de un hisopo sumergido en PBS estéril, siembra por punto, siembra por picadura y siembra por raspado (14). Después de que se desarrolló alguna colonia fúngica en el medio de cultivo, fue necesario verificar si el cultivo era

axénico. En caso contrario, se realizó un aislamiento posterior hasta obtener cultivos puros en medio PDA. Los medios se incubaron durante 7 días a una temperatura a 28°C, y posteriormente se realizó la caracterización del posible agente fúngico biodeteriígeno. Adicionalmente, se sembraron inóculos del material documental en medio BHI, con el objetivo de verificar el crecimiento de agentes bacterianos.

Caracterización de los agentes biodeteriogenos

Para la caracterización macroscópica y microscópica fúngica, se procedió a la descripción de la morfología colonial y estructuras de diferenciación asexual principalmente, usando claves taxonómicas convencionales (14-18). Para la morfología macroscópica se describieron las características propias para hongos filamentosos como textura, superficie, color de la colonia (lado anverso y reverso) y producción de pigmento difusible al medio. Para la morfología microscópica, se realizaron observaciones en fresco mediante el uso del colorante azul de algodón de lactofenol. Asimismo, se realizó la técnica de microcultivo para describir microscópicamente a los hongos filamentosos e identificar el posible género fúngico involucrado. El método utilizado se realizó bajo el protocolo descrito en el Laboratorio de Micología Médica de la ENCB-IPN (14), y las preparaciones se observaron al microscopio óptico a un aumento total de 400X. Con relación a los agentes bacterianos aislados, se describió la morfología colonial para bacterias bajo las claves biológicas descritas por el Laboratorio de Microbiología General de la ENCB-IPN (46). Aplicando una tinción de Gram, se realizó la descripción microscópica bacteriana en un microscopio óptico a un aumento total de 1000X. El agente entomológico fue descrito con ayuda de las claves taxonómicas de Gálvez-Esteban, así como de Ribera y colaboradores (36,37).

Resultados

El documento DOC-101 se describió con un biodeterioro abundante, mostraba daño mecánico profundo en el interior (específicamente en la parte interna del lomo), acompañado de crecimiento fúngico, presencia de artrópodos muertos entre las hojas, formación de galerías circulares que perforaban todas las hojas bajo un mismo patrón. Con relación al agente fúngico, se observó una textura aterciopelada sobre el papel, aunado a pigmentos difusibles en varias hojas de color verde, violeta y café.

Mediante muestras obtenidas por raspado del posible agente fúngico proveniente del soporte contaminado, así como, por improntas obtenidas con cinta adhesiva, se realizaron observaciones en fresco con azul de algodón lactofenol. Las estructuras observadas se relacionaron a propágulos de reproducción asexual tales como conidióforos con vesícula y fiálides adyacentes, además de conidios dispersos (Figura 1a).

Cultivos provenientes del primoaislamiento

Las muestras del documento DOC-101 se sembraron en los medios de cultivo BHI y PDA. La técnica de inoculación que se utilizó fue por siembra directa utilizando dos especímenes. La primera muestra fue un insecto muerto (posible pececillo de plata) encontrado entre las hojas (Figura 1b). Posterior al tiempo de incubación, se observó crecimiento de una colonia fúngica aterciopelada sobre el insecto (Figura 1c, 1d). La micrografía proveniente de una muestra del cultivo del primoaislamiento, realizada en fresco con azul de algodón lactofenol, ayudó a comprobar que se trataba de un hongo filamentoso con conidios en disposición columnar catenulados (Figura 1e). Por otro lado, a partir de una segunda muestra (fragmento de papel del documento) se observó un crecimiento de consistencia suave y color blanco, que a simple vista aparentaba no ser un cultivo axénico, ni fúngico (Figura 1f, 1g).

Caracterización de agentes aislados axénicos.

A partir de los agentes aislados provenientes del DOC-101, se obtuvieron los cultivos axénicos que fueron caracterizados anteriormente. Para el caso del hongo inicialmente se sembró en medio PDA y, las características de la morfología colonial que se describieron fueron: textura aterciopelada, superficie plana, color del lado anverso verde-gris, blanco en el límite de la colonia, color del lado reverso blanco, sin pigmento difusible (Figura 2a, 2b). Posteriormente, a partir del microcultivo derivado del primoaislamiento, se observó microscópicamente el tipo de micelio descrito como septado hialino macrosifonado, con propágulos y estructuras asexuales como conidióforo con vesícula, fiálides uniseriadas y cadenas de conidios adyacentes con disposición columnar, sostenidos por el pie de hifa (Figura 2c, 2d). Los hallazgos anteriores sugieren que la identidad del agente fúngico aislado es del género *Aspergillus* sp. Al comparar ambas morfologías del cultivo axénico con los detalles microbiológicos del cultivo fúngico del primoaislamiento de *L. saccharina*, coincide la identidad en ambos cultivos. Adicionalmente, el cultivo obtenido de la muestra de papel inoculada, se sembró en BHI y perfiló una sola morfología colonial de naturaleza bacteriana de tamaño 2-3 mm, color blanco, forma circular, bordes enteros, elevación plana, superficie lisa, aspecto húmedo, luz reflejada brillante, luz transmitida translúcida y consistencia suave (Figura 2e). La morfología microscópica se describió como forma bacilar aislada de tamaño $\approx 1 \mu\text{m}$ de ancho y $\approx 3 \mu\text{m}$ de largo, con afinidad tintorial Gram variable (Figura 2f). La descripción entomológica del *L. saccharina* se realizó mediante la identificación morfológica. Presenta un cuerpo fusiforme de una longitud de 0.8 a 12 mm, formado por tres segmentos (cabeza, tórax y abdomen). Además, posee el cuerpo cubierto por pelos modificados a modo de escamas de color gris plateado, seis patas articuladas ubicadas en el tórax y, en el último segmento del abdomen presenta el filamento caudal y los cercos largos. Tiene un par de antenas largas y no presenta alas (Figura 2g). A nivel taxonómico, se ubica en el *subphylum* Hexapoda del *phylum* Arthropoda (36,37).

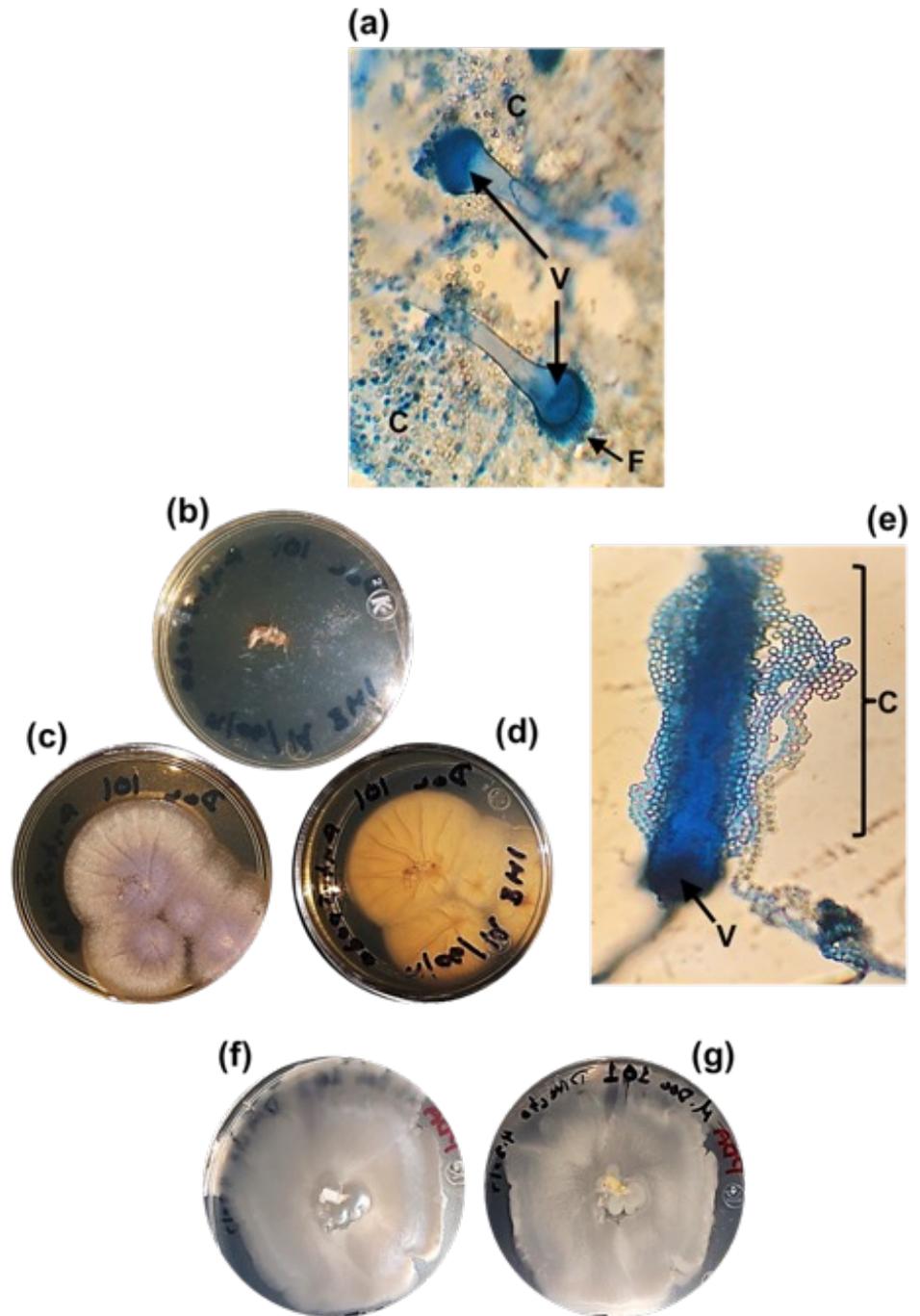


Figura 1. Micrografías de los cultivos del primoaislamiento provenientes de DOC-101. a) Preparación en fresco del hongo filamentoso procedente de una muestra directa del soporte (40X). Se observaron conidióforos con vesículas (V) y proyecciones tipo fiáldes (F); además, se perciben conidios (C) colindantes. b) Artrópodo inoculado en medio BHI, identificado como *L. saccharina*. c) Colonia fúngica del lado anverso de textura aterciopelada, superficie plana, color gris, sin pigmento difusible. d) Colonia fúngica del lado reverso con pigmento color blanco. e) Preparación en fresco del primoaislamiento del hongo filamentoso (40X). Conidióforo con vesícula (V) y conidios (C) en disposición columnar en cadena. f) Colonia de apariencia bacteriana o levaduriforme, lado anverso de color blanco y consistencia suave. g) Lado reverso color blanco.

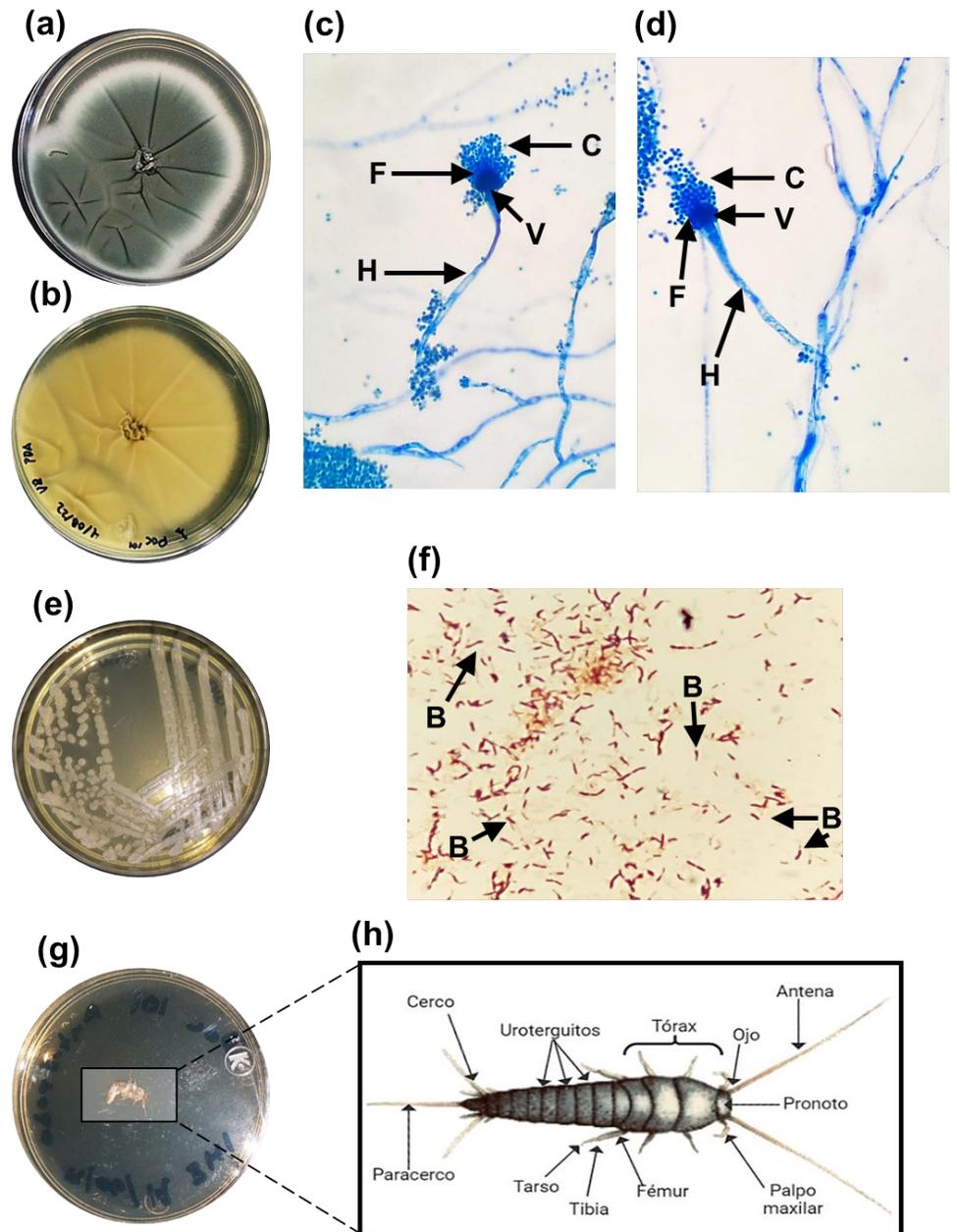


Figura 2. Cultivos axénicos provenientes de DOC-101. a) Morfología colonial en medio PDA del primoaislamiento de *Aspergillus* sp. del lado anverso; b) lado reverso. c-d) Micrografías del microcultivo (40X): vesícula (V), fiálides uniseriadas (F), conidios (C), pie de hifa (H). e) Morfología colonial bacteriana a partir del medio BHI. f) Morfología bacteriana microscópica (100X): bacilos (B). g) Primoaislamiento a partir del espécimen bibliófago. h) Estructura de *L. saccharina*: Cuerpo fusiforme formado por tres segmentos (cabeza, tórax y abdomen) color gris plateado, seis patas articuladas ubicadas en el tórax, en el último segmento del abdomen presenta el filamento caudal y cercos largos. El esquema del artrópodo fue tomado y modificado de Aak y colaboradores (47). La figura fue creada con BioRender.com.

Discusión

El biodeterioro en el patrimonio documental es una problemática a nivel mundial, que pone en riesgo el legado histórico, así como, los hallazgos sociales, culturales, políticos y económicos que aportan evidencias trascendentales que permiten entender la evolución de la sociedad a lo largo del tiempo. En nuestro país, lamentablemente, existen escasos estudios sobre esta situación nociva, lo que ha provocado pérdidas de bienes documentales causados por diversos agentes biológicos (29,45). Actualmente, en México organismos involucrados en estos eventos, se han vinculado bajo un interés científico y de beneficio para el patrimonio nacional. Instituciones como el AGN y la ENCB-IPN, bajo el apoyo de la Subdirección de Investigación y Conservación del Patrimonio Documental del AGN, han realizado actividades técnicas y científicas con el objetivo de solucionar algunas contingencias de riesgo en bienes documentales que son resguardados en dicha institución. Durante un muestreo en el año 2019, el documento de papel de pulpa de trapo DOC -101 fue de gran interés al analizarlo, por sus características estructurales del soporte y los hallazgos biológicos. Este material documental fue elaborado de forma manual, mediante este proceso de fabricación el soporte adquiere una constitución química con un alto contenido en lignina, celulosa y alfa-celulosa. En contraste, cuando los papeles se fabrican de forma mecánica, el soporte no posee la misma composición que se describió anteriormente, debido al uso de colas, adhesivos, agentes espesantes y blanqueadores. Además, variables como la humedad relativa, temperatura y pH, presentes en el ambiente de resguardo, favorecen el inicio del fenómeno de biodegradación (3,8). El biodeterioro del encuadernado DOC-101, se reportó con un nivel abundante con respecto a los agentes biodeteriogenos fúngicos, es decir, crecimiento del hongo, pigmentación y/o fragilidad presente en >75% de la superficie total del documento. En relación con este parámetro comparativo, existen otros dos niveles de biodeterioro. Uno es el nivel de biodeterioro alto, crecimiento fúngico, pigmentación y/o fragilidad que se desarrolla en el 50% del material. Por otro lado, el biodeterioro moderado es aquel que se presenta cuando el crecimiento fúngico, pigmentación y/o fragilidad alcanza <25% de la superficie afectada. Esta clasificación se implementó por el grupo de trabajo durante actividades previas de inspección y muestreo, además de la investigación de diversos criterios manejados por diversos autores (3,6,13,20,21,24). Demostrar que un agente biodeteriogeno se involucra en el detrimento del acervo documental es un proceso complejo, y debe considerarse que este efecto nocivo es multifactorial. Específicamente, en el impacto de factores biológicos como los agentes destructores, se relaciona con un daño directo comprometiendo los constituyentes químicos del soporte. En el documento DOC-101, se identificaron biodeteriogenos fúngicos y bacterianos; así como, entomológicos (Figura 1). Los hongos han sido reportados como los microorganismos con mayor responsabilidad de biodeterioro documental, debido a su carácter ubicuo, heterótrofo, saprobio y xerófilo; además son

productores eficientes de diferentes metabolitos (3,25). Por consiguiente, durante la observación al microscopio de muestras en fresco, se esperaba la evidencia de hongos filamentosos, en especial del género *Aspergillus* (Figura 1a-1e; Figura 2a-2d). Dependiendo del género que ha colonizado el soporte, se puede relacionar el grado de afectación en el material documental. En varios reportes a nivel mundial, se ha mencionado que documentos con un nivel de biodeterioro abundante se vinculan con diversos agentes fúngicos colonizadores (*Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Chaetomium* sp.) siendo *Aspergillus* sp., uno de los biodeteriólogos de mayor incidencia en archivos, bibliotecas, museos y áreas de resguardo del acervo documental (25-29). Las propiedades fisicoquímicas intrínsecas del papel si han sido alteradas, como se evidenció en el material documental DOC-101, indican como se ha comprometido su integridad física. El papel del documento se mostraba con un alto grado de fragilidad y daño mecánico. El género *Aspergillus* sp. produce endoglucanasas (capaces de hidrolizar las regiones internas de la cadena celulolítica, generando celooligosacáridos), celobiohidrolasas (encargadas de remover la celobiosa), exoglucanasas (liberan la glucosa de los extremos reductores de la molécula de celulosa) y β -glucosidasas (hidrolizan los celooligosacáridos a glucosa). Dichas enzimas podrían ser parte del arsenal fúngico causante de la fragilidad en el papel, aunado a la capacidad de producir varios ácidos orgánicos como cítrico, glucónico, palmítico, oxálico, esteárico, oleico y linoleico. El efecto de estos ácidos se reporta a nivel de la actividad enzimática, aumenta la hidrólisis en los enlaces β -1,4-glicosídicos, provocando la desintegración de fibras de celulosa que brindan la fortaleza mecánica al soporte (30-33). Si bien, este tipo de hongo está en el ambiente archivístico al interior y exterior de los inmuebles, es indudable la necesidad de mantener las condiciones extrínsecas de los sitios de resguardo, como el reciclaje de aire en salas o depósitos, protocolos y medidas para la manipulación y almacenamiento de los bienes. Así también, una medida fundamental para la gestión del biodeterioro es el control de plagas, específicamente los insectos. La diseminación y posterior colonización de hongos en materiales históricos, se ha asociado a diferentes familias de insectos que actúan, por un lado como vectores biológicos y finalmente, como fuentes de nutrición decir, hongos de carácter entomopatógeno (8,34,35). La clase Insecta que constituye el grupo más amplio dentro de los artrópodos, también se considera como unos de los agentes biodeteriólogos principales. Dichos agentes bibliófagos, como también se les conoce, pertenecen al filo Arthropoda, al subfilo Hexapoda, clase Insecta y están agrupados en los siguientes órdenes: Blattodea (cucarachas), Zygentoma (pececillos de plata), Isoptera (termitas), Coleoptera (escarabajos), Lepidoptera (polillas), Orthoptera (grillos, saltamontes), Hymenoptera (abejas, avispas, hormigas), Diptera (moscas, mosquitos, tulpas) y Psocoptera (piojos de libros, 36,37). Así también, se llegan a clasificar por el patrón de daño manifestado siendo de tipo erosión o galerías. Diversos organismos entomológicos causantes de erosión, se caracterizan por mostrar deterioros con abrasiones superficiales

con contornos irregulares. Igualmente, agentes formadores de galerías se reconocen por formar túneles profundos de trayectoria irregular (3,8,38,39). El biodeterioro entomológico que fue detectado en el documento DOC-101 mostraba erosión, galerías y orificios. Proveniente de este acervo documental, fue posible recuperar un insecto muerto de la familia Lepismatidae del orden Zygenyoma, conocido por el nombre común de pececillo de plata (Figura 2g, 2h). Adicionalmente, este insecto es considerado como cosmopolita, manifestando un efecto de fototaxia negativa, complicando su observación. Requieren una humedad superior al 50% y temperaturas templadas en sus hábitats. Similar a lo reportado en los sitios dedicados al resguardo documental; motivo por el cual, estos insectos son uno de los problemas de plaga bibliófaga a nivel mundial más conocidas actualmente. Dentro de sus mecanismos biodeteriogenos, sintetizan enzimas que afectan a polisacáridos como la dextrina de los adhesivos empleados en la encuadernación de libros (43). Es pertinente mencionar que, si bien el hallazgo del pececillo de plata es indicativo de posibles procesos deteriorantes, definirlo como el agente biodeteriogeno definitivo, realmente da para un caso complejo. Por consiguiente, no se descarta que otros agentes entomológicos contribuyeron al deterioro del soporte como polillas o escarabajos (3,39), ya que también fue frecuente que se distinguieran galerías y túneles circulares en el documento. Para desempeñar este comportamiento bibliófago sobre los soportes degradando la celulosa, se reporta que los insectos pueden realizar tres estrategias para su asimilación. La primera vía es el establecimiento de la simbiosis de protozoos gastrointestinales (*Joenia* sp., *Devescovinia* sp.) y la microbiota endémica (bacterias espirales o bacilares). Esta interacción da como resultado la hidrólisis de este polisacárido mediante la síntesis de celulasas. La segunda estrategia se relaciona a una interacción hongo-insecto, siendo descrita en procesos de nutrición a partir de reservorios de almidón en células vegetales (concretamente en maderas curadas a altas temperaturas)(40).

Adicionalmente, a partir del soporte de pulpa de trazo se logró aislar a un agente bacteriano Gram variable (Figura 1f,1g; Figura 2e-2f). En lo que respecta de los géneros bacterianos biodeteriogenos aislados de los acervos documentales, han sido clasificados como quimioorganoheterótrofos, es decir, utilizan la materia orgánica del soporte para su metabolismo. Características que les otorgan la facultad para colonizar y, posteriormente, causar daños al soporte del documento; aunque también depende de la diversidad de géneros bacterianos que contaminan los archivos. Habitualmente, se reporta que las bacterias son productoras de metabolitos específicos que afectan los materiales documentales como enzimas y ácidos orgánicos. Los géneros de bacterias biodeteriogenas que son reportadas con estos mecanismos involucrados en el biodeterioro documental son *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., entre otros (3,41,42). El cultivo de la muestra del papel de pulpa del DOC-101 evidenció una bacteria con forma de bacilo Gram variable (Figura 2f). Ante la inminente identificación de este aislado bacteriano en

futuros proyectos, se investigó una posible paridad con alguna bacteria con propiedades biodeteriógicas y microscópicas similares. El género *Cellvibrio* sp. ha sido reportado causando daño a soportes de piel, adhesivos y textiles mediante proteasas, celulasas y la producción de ácido acético (3,42). Además, esta bacteria que pertenece al filo Proteobacteria, es un bacilo que se clasifica como Gram negativo, similar al aislado en este trabajo pero, se deberá confirmar con estudios posteriores. Otra bacteria que podría estar relacionada al aislado pertenece al género *Corynebacterium*. Esta bacteria con morfología microcópica de “letras chinas” se aísla frecuentemente de ambientes archivísticos (48).

Finalmente, es de nuestro conocimiento que este reporte es una contribución a diversas áreas (ciencias forenses, archivística y ciencias biológicas) en un caso insuficientemente difundido, como el biodeterioro. Por tal motivo, se concluye con varios aspectos que fueron determinados en el trabajo presentado. Primeramente, se caracterizó el material documental DOC-101 con biodeterioro de nivel abundante. Asimismo, se obtuvieron tres posibles agentes biológicos que pueden estar implicados en el biodeterioro del documento: 1) hongo filamentoso del género *Aspergillus* sp.; 2) bacteria Gram variable; 3) insecto bibliófago conocido con el nombre común de pececillo de plata (*L. saccharina*).

Expresamente, cabe mencionar que el deterioro del patrimonio documental es un problema escasamente abordado y difundido en México. Las instituciones que atesoran acervos documentales, en específico archivos y bibliotecas, deben de concientizarse en la implementación de medidas eficientes para el control biológico, por ejemplo, protocolos de resguardo, cuarentena y tratamiento del material documental afectado por microorganismos. Y actualmente, considerando la pandemia provocada por el SARS-CoV-2, es indispensable aplicar las disposiciones de seguridad pertinentes en posibles casos extremos por contingencias de salud pública, durante su manipulación por operarios y usuarios del inmueble.

Un proyecto de este nivel donde se determine un posible agente causal protagonista del biodeterioro, en presencia de tres distintos organismos como en esta investigación, es todo un reto. La suma de diversos requerimientos como infraestructura, recursos, y enfáticamente, conocimientos y aportes multidisciplinarios de diversas áreas como en el caso de la microbiología y entomología, nunca serán suficientes. Adicionalmente, la contribución de investigaciones innovadoras que enriquezcan este campo de oportunidad, las ciencias forenses, abren la posibilidad de garantizar condiciones de objetividad y calidad para las entidades dedicadas al resguardo y conservación del patrimonio documental, brindando mayor validez científica y perpetuidad de los bienes culturales.

Agradecimiento

Agradecemos a la Secretaría de Investigación y Posgrado de la ENCB-IPN, así como, al CECyT No. 6 MOM del IPN. Adrián Ramírez Granillo es becario COFAA y SNI/CONACYT México. Aída Verónica Rodríguez-Tovar es becaria EDI, COFAA y SNI/CONACYT México. Sofía Pamela Róque Bermúdez es becaria CONACYT. Santos Ocampo Brenda Nallely es becaria BEIFI. Parte de este trabajo fue apoyado por los proyectos SIP-IPN: SIP20195841, SIP20195630, SIP2020172, SIP20210200, SIP20220564, SIP20221965. Los autores desean agradecer al Archivo General de la Nación por apoyar y proporcionar las muestras para este proyecto. También agradecemos al Director General del AGN Dr. Carlos Enrique Ruiz Abreu y a la Directora de Preservación del Patrimonio Documental M. en C. Mariana B. Gayosso Martínez por su apoyo. Asimismo, agradecemos a los alumnos de la carrera de Q.B.P. de la ENCB-IPN que participaron en las actividades de vinculación del proyecto.

Bibliografía

1. Archivo General de la Nación. (2020). Estatuto Orgánico del Archivo General de la Nación.
2. Guiamet P, Borrego S, Lavin P, Perdomo I, de Saravia SG. Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentine and at the National Archive of the Republic of Cuba. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2011 Jul;85(2):229-34. doi: 10.1016/j.colsurfb.2011.02.031. Epub 2011 Mar 2. PMID: 21439796.
3. Vaillant Callol M. Biodeterioro del patrimonio histórico documental: alternativas para su erradicación y control [Libro electrónico]. 1a ed. Albagli Neto B, editor. Río de Janeiro: Museo de Astronomía y Ciencias Afines-Casa de la Fundación Rui Barbosa; 2013.
4. Rodríguez Bravo B. Revisión de las clasificaciones documentales basadas en el soporte. *Revista española de Documentación Científica*. 2002 Mar;25(1).
5. Programa Cytel. Biodeterioro de monumentos de Iberoamérica. Sáiz-Jiménez C, Videla HA, editores. Sevilla: Rtxv-E, Cytel; 2002.
6. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas. *Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español* 2005;(5):1-48.
7. Borrego-Alonso S. Los biocidas vegetales en el control del biodeterioro del patrimonio documental. *Perspectivas e impacto*. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 2015 Sep-Dic;46(3):259-69.
8. Valentín Rodrigo N. Biodeterioro de los bienes culturales: Materiales orgánicos. La ciencia y el arte: ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico. 2008;1:265-320.
9. Rojas Lázaro CJ. Problemática del deterioro de las publicaciones periódicas en la Sala Hemeroteca "José Antonio Miró Quesada" de la Biblioteca Nacional del Perú, periodo 1996-1997. En: *Informe Académico Profesional (Lic)*. Lima: Universidad Mayor de San Marcos; 1998. p. 35.
10. Giraldo Vásquez LE, Castañeda Correa ML, Sánchez Correa LG, Duque RC, Durango Zuleta MM, Correa E, Gómez Giovan F. Bacterias y hongos en el ambiente y sobre la superficie de documentos de un archivo forense colombiano. *Memorias Forenses*. 2020 Ago;(4).
11. Pérez Matos NE, Remigio Montero MC. Archivología, bibliografía, bibliotecología y ciencias de la información: ¿todas para una o una para todas?. *ACIMED*. 2007 Feb;15(2).
12. Diario Oficial de la Nación. Programa Institucional 2020-2024 del Archivo General de la Nación. 2020.
13. Abrams E. *Microbiological deterioration of organic materials: its prevention and method of test*. 1a ed. Washington: U.S. Government Printing Office; 1948.
14. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. *Introducción a la Micología general y médica. Guía Práctica de Laboratorio de Micología General y Médica*. Ciudad de México: Academia de Micología Médica. Instituto Politécnico Nacional; 2018.
15. Pasqualotto AC. *Aspergillosis: from diagnosis to prevention*. 1a ed. Dordrecht: Springer, Cop; 2010. doi: 10.1007/978-90-481-2408-4.
16. Bonifaz TA. *Micología médica básica*. 5a ed. México: McGraw Hill; 2020.
17. Walsh TJ, Hayden RT, Larone DH. *Larone's Medically Important Fungi: A Guide to Identification*, 6a ed. Washington: Asm Press; 2018. doi:10.1128/9781555819880.
18. Arenas Guzmán R, Torres Guerrero E. *Micología médica ilustrada* 6a ed. Ciudad De México: McGraw Hill; 2019.
19. Identificación de biodeterioro causado por ataque fúngico en documentos históricos del AGN. www.youtube.com.
20. Archivo General de la Nación. El Instituto Politécnico Nacional asesora al #AGNMex para contrarrestar el desarrollo de hongos en los documentos históricos. 2019.
21. Piñar G, Tafer H, Sterflinger K, Pinzari F. Amid the possible causes of a very famous foxing: molecular and microscopic insight into Leonardo da Vinci's self-portrait. *Environ Microbiol Rep*. 2015 Dec;7(6):849-59. doi: 10.1111/1758-2229.12313. Epub 2015 Aug 19. PMID: 26111623; PMCID: PMC4959533.
22. Borrego S, Molina A, Santana AC. Fungi in Archive Repositories Environments and the Deterioration of the Graphics Documents. *EC Microbiology*. 2017 Sep; 205-226.
23. Mallo AC, Nitiu DS, Eliades LA, Saparrat MCN. Deterioro de material celulósico de interés patrimonial por la actividad de hongos ambientales: estado del arte. sedici.unlp.edu.ar. 2017.
24. Archivo General de la Nación. *Atlas para la identificación de deterioros en documentos textuales*. Ciudad de México: Gobierno de México; 2021.
25. Molina Veloso A, Borrego AS. Aerobiología y biodeterioro del género aspergillus link en depósitos de tres instituciones patrimoniales cubanas. *Bol. Micol*. 2016;31(1).
26. Peña G, Flórez C, Peña D, Martínez MM, Rojas J, Zambrano S, et al. Seguimiento y control de biodeterioro

- microbiológico en documentos de interés histórico en el Archivo General de la Nación. *Universitas Scientiarum*. 2004;9(1):37-46.
27. El Bergadi F, Laachari F, Elabed S, Mohammed IH, Ibsouda SK. Cellulolytic potential and filter paper activity of fungi isolated from ancient manuscripts from the Medina of Fez. *Ann Microbiol*. 2014 Oct;64(2):815-22. doi: 10.1007/s13213-013-0718-6.
 28. Coronado-Ruiz C, Avendaño R, Escudero-Leyva E, Conejo-Barboza G, Chaverri P, Chavarría M. Two new cellulolytic fungal species isolated from a 19th-century art collection. *Sci Rep*. 2018 May;8(1):7492. doi: 10.1038/s41598-018-24934-7. PMID: 29748544; PMCID: PMC5945893.
 29. Medina Ávila A. Los hongos mitosporicos como agentes de biodeterioro en tres acervos documentales del INAH [Internet]. *Mediateca-Instituto Nacional de Antropología e Historia*. 2020 Ene-Abr;20:86-94.
 30. Pérez J, Muñoz-Dorado J, de la Rubia T, Martínez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int Microbiol*. 2002 Jun;5(2):53-63. doi: 10.1007/s10123-002-0062-3. PMID: 12180781.
 31. Rabinovich ML, Melnick MS, Bolobova AV. The structure and mechanism of action of cellulolytic enzymes. *Biochemistry (Mosc)*. 2002 Aug;67(8):850-71. doi: 10.1023/a:1019958419032. PMID: 12223085.
 32. Cappitelli F, Sorlini C. From papyrus to compact disc: the microbial deterioration of documentary heritage. *Crit Rev Microbiol*. 2005;31(1):1-10. doi: 10.1080/10408410490884766. PMID: 15839400.
 33. Molina Veloso A, Valdés Pérez O, Borrego Alonso SF, Pérez Morenza D, Castro M. Diagnóstico micológico ambiental en la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial dirigido a la conservación documental y la salud del personal. *NACC [Internet]*. 2014 Dic;21.
 34. Kalwasińska A, Burkowska A, Wilk I. Microbial air contamination in indoor environment of a university library. *Ann Agric Environ Med*. 2012;19(1):25-9. PMID: 22462441.
 35. Pacheco Hernández M de L, Reséndiz Martínez JF, Arriola Padilla VJ. Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Rev mex de cienc. forestales*. 2019 Nov;10(56). doi:10.29298/rmcf.v10i56.496.
 36. Gálvez-Esteban R. ¿Quién es quién? Directrices de uso de una clave dicotómica para la identificación de artrópodos en educación primaria. *Didácticas Específicas*. 2021;(24):75-89.
 37. Ribera I, Melic A, Torralba A. Introducción y guía visual de los artrópodos. *Revista IDE@-SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa*. 2015;2:1-30.
 38. Astorga A. Centenares de insectos y microorganismos ponen en peligro el patrimonio de los 30.000 archivos y bibliotecas de España. *abc*. 2003.
 39. Cruz García L. El biodeterioro de documentos. *Alternativas para el control de plagas*. 2015
 40. Bolívar Galiano FC. Los agentes de biodeterioro del patrimonio pictórico, textil y gráfico. *Revista PH*. 1995 Sep;(12):50.
 41. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. *Microbiología Práctica. Morfología colonial y obtención de cultivos puros*. Ciudad de México: Academia de Microbiología. Instituto Politécnico Nacional; 2018.
 42. Pyzik A, Ciuchcinski K, Dziurzynski M, Dziewit L. The Bad and the Good-Microorganisms in Cultural Heritage Environments-An Update on Biodeterioration and Biotreatment Approaches. *Materials (Basel)*. 2021 Jan;14(1):177. doi: 10.3390/ma14010177. PMID: 33401448; PMCID: PMC7795576.
 43. Pellizzari J, Guillermina-Couso M, Rossi Batiz M, Mariani R. Intervención sobre la documentación histórica de la colección arqueológica Benjamín Muniz Barreto del Museo de La Plata, Argentina. *Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos*. 2021;6(2):24-37.
 44. Salamanca L. Los insectos y la conservación de archivos en soporte papel: memoria histórica. *Revista Con^oTacto*. 2018 Oct; Boletín No. 12.
 45. Ramírez Muñoz SJ. Biodeterioro y control de plagas en archivos y acervos documentales. *Legajos*. 2012;7(13).
 46. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. *Manual de Laboratorio de Microbiología*. Ciudad de México: Academia de Microbiología General. ENCB-IPN. Instituto Politécnico Nacional; 2016.
 47. Aak A, Rukke BA, Ottesen PS, Hage M. Long-tailed Silverfish (*Ctenolepisma longicaudata*) – Biology and Control. Oslo: Norwegian Institute of Public Health; 2019. www.fhi.no.
 48. Kraková L, Chovanová K., Selim SA, Šimonovičová A, Puškarová A, Maková A, Pangallo D. A multiphasic approach for investigation of the microbial diversity and its biodegradative abilities in historical paper and parchment documents. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2012;70:117-125. doi: 10.1016/j.ibiod.2012.01.011.