

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LOS ALMACENES DEL MUSEO TUMBAS REALES DE SIPÁN EN LAMBAYEQUE, PERÚ

Bélgica G. López-Aranda¹, Sebastian Iglesias-Osores²,
Leydi Tullume Gonzales³ y Carmen Carreño-Farfan⁴

• RESUMEN •

El objetivo fue evaluar el biodeterioro de las colecciones arqueológicas de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán, en Lambayeque. Se hisopó la superficie de 24 textiles y 30 osamentas con alteraciones físicas en cuatro almacenes y se sembraron en agar, a 30° C en aerobiosis hasta por 10 días para hongos. El 100 % de textiles presentó alteraciones en la textura, coloración e integridad y el 45,8 % en los bordes. Se cuantificaron bacterias con un promedio de $4,9 \times 10^4$ UFCm⁻² en los textiles y $1,4 \times 10^5$ UFCm⁻² en osamentas. Se cuantificaron hongos con un promedio de $7,1 \times 10^3$ UFCm⁻² en los textiles y $5,2 \times 10^3$ UFCm⁻² en las osamentas. En los textiles y osamentas se identificaron los géneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Streptomyces*. En los textiles se identificaron los géneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Geotrichum*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Scopulariopsis*. En osamentas *Aspergillus*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Cercospora*, *Cladosporium*, entre otros.

Palabras clave: Museo; Biodeterioro; Microbiología ambiental, Biodeterioro microbiano, Biodegradación.

MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF WAREHOUSES OF THE MUSEUM TUMBAS REALES DE SIPÁN IN LAMBAYEQUE, PERU

• ABSTRACT •

The objective of the study was to evaluate the biodeterioration of the archaeological collections of the Tumbas Reales de Sipán museum warehouses in Lambayeque. The surface of 24 textiles and 30 bones with physical alterations in four warehouses was sown and planted on agar, at 30° C in aerobiosis for up to 10 days. 100 % of textiles presented alterations in texture, coloration, and integrity and 45.8 % at the edges. Bacteria were quantified with an average of 4.9×10^4 CFUm⁻² in textiles and 1.4×10^5 CFUm⁻² in bones. Fungi were quantified with an average of 7.1×10^3 CFUm⁻² in textiles and 5.2×10^3 CFUm⁻² in bones. The genera *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* and *Streptomyces* were identified in textiles and bones. In textiles, the genera *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Geotrichum*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, and *Scopulariopsis* were identified. In skeletons *Aspergillus*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Cercospora*, *Cladosporium*, among others.

Keywords: Museum; Biodeterioration; Environmental microbiology, Microbial biodeterioration, Biodegradation.

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII 391, Lambayeque, Lambayeque, Perú. E-mail: bglopeza19@gmail.com

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII 391, Lambayeque, Lambayeque, Perú. E-mail: siglesias@unprg.edu.pe

³Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII 391, Lambayeque, Lambayeque, Perú. E-mail: tullumegon@hotmail.com

⁴Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII 391, Lambayeque, Lambayeque, Perú. E-mail: c.carrenof1@gmail.com

Recibido el día 26 de abril de 2020. Aceptado el día 13 de noviembre de 2020

López-Aranda, B. G., Iglesias-Osores, S., Tullume Gonzales, L. & Carreño-Farfan, C. 2020. Caracterización microbiológica de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán en Lambayeque, Perú. *La Zaranda de Ideas. Revista de Jóvenes Investigadores*, 18(2), 136-145.

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA)

INTRODUCCIÓN

El biodeterioro es un proceso complejo que implica alteraciones de las propiedades fisicoquímicas por la acción de los microorganismos (Negi & Sarethy, 2019; Szostak-Kotowa, 2004). Las colecciones alojadas en los museos en condiciones inadecuadas de almacenamiento son sustratos y reservorios de microorganismos. Una elevada humedad relativa, temperatura y luz facilitan el desarrollo de los mismos y su multiplicación, lo cual favorece el biodeterioro, afectando de forma irreversible el material de valor histórico y patrimonial (Sterflinger et al., 2018). Las bacterias y hongos colonizan el material orgánico afectándolo negativamente mediante la producción de sustancias orgánicas que interactúan con el material, causando daños en su pigmentación, estructura, etcétera (Blanchette, 2000). Asimismo, la presencia de los microorganismos y sus toxinas implican riesgo para la salud del personal que investiga los materiales arqueológicos, como conservadores, arqueólogos, museólogos y visitantes (Srikanth, Sudharsanam & Steinberg, 2008).

Se puede reconocer la presencia de macro y microorganismos en monumentos, pinturas murales, piedra, madera, papel, fibras vegetales/animales y obras de arte de pergamino (Di Carlo, Barresi & Palla, 2017). Tanto los macroorganismos (animales, plantas y musgos) como los microorganismos (bacterias autótrofas o heterótrofas, microfungos, cianobacterias, algas y líquenes) representan los desencadenantes del biodeterioro para el patrimonio cultural (Lavin, Saravia & Guiamet, 2016). En promedio, el 10 % del material arqueológico de un museo se encuentra en exhibición, en ambientes que cuentan con las condiciones ambientales requeridas, mientras que el 90 % del material se procesa y luego se almacena. El material puede ser solicitado para futuras exhibiciones e investigaciones y el estado de conservación depende de las condiciones de las instalaciones y su estrecha relación con el medio ambiente donde el museo se localiza, además de las condiciones del sitio donde los objetos fueron extraídos

y su tratamiento inicial (Thickett & Lee, 2004).

Los hongos se consideran agentes principales del biodeterioro, existen más de 200 especies que se han aislado de documentos en papel, libros, grabados, etc. (Michaelsen, Pinzari, Barbabietola & Piñar, 2013). Pueden vivir con poca actividad de agua, están adaptados a los ambientes interiores y prosperan en microclimas causados por condensación, falta de ventilación o retención de agua por materiales higroscópicos (Sterflinger & Pinzari, 2012). Estos generan enzimas hidrolíticas producto de su metabolismo sobre los materiales como vendajes de lino, así como sobre los cuerpos de momias (Naji, Abdullah, Al-Zaqri & Alghalibi, 2014). Se ha visto que la microbiota bacteriana coloniza y daña los materiales almacenados (Biswas, Sharma, Harris, & Rajput, 2013; Karakasidou et al., 2018). Por lo cual es necesario comprender las características morfológicas y fisiológicas de los biodeteriogenos para establecer el tipo de interacción que ocurre con el material y para evaluar la causa-efecto de la acción de biodeterioro de un agente biológico específico identificado. Para una evaluación completa del biodeterioro se requiere un muestreo e identificación adecuados de los materiales almacenados (Di Carlo et al., 2017). Es indispensable evaluar y cuantificar la presencia de sistemas biológicos como microorganismos que inducen daños en los materiales de las colecciones presentes en los museos.

El museo Tumbas Reales de Sipán tiene material arqueológico almacenado en ambientes que no cuentan con las condiciones necesarias para su buena conservación, observándose deterioro en sus piezas. El objetivo del trabajo fue la identificación de las bacterias y hongos que están presentes en materiales arqueológicos como osamentas y textiles del museo Tumbas Reales de Sipán, Lambayeque, Perú.

MÉTODOS

Se utilizaron 54 unidades de muestreo de las cuales 30 corresponden a osamentas y 24 a material textil

de los almacenes del Museo Tumbas Reales de Sipán en la provincia de Lambayeque, Perú. Las muestras fueron colectadas durante agosto - octubre de 2015 en los almacenes El Triunfo, Santa Rosa, Ventarrón y La Inmaculada. En todos los almacenes se guardaban restos orgánicos como textiles, osamentas, restos botánicos e inorgánicos (cerámicas y objetos metálicos), todos dentro de bolsas de polietileno, selladas e identificadas, y depositadas en cajas de cartón. Las muestras se escogieron al azar por decisión de los investigadores, sin seguir un patrón establecido y sin contar con información antes de la investigación.

- **Medición de temperatura y humedad relativa**

En los almacenes se registró un promedio de 27,9° C en la temperatura y 70 % de humedad relativa, correspondiendo los mayores valores a los almacenes Santa Rosa y El Triunfo. Estos parámetros fueron medidos con un termómetro e higrómetro digital. Estas mediciones son llevadas a cabo regularmente por el museo como control de la conservación.

- **Muestreo, identificación y caracterización de la microbiota ambiental**

Las bolsas de polietileno conteniendo textiles y osamentas se abrieron para determinar las alteraciones físicas mediante exámenes de superficie no destructivos. Se extrajeron los textiles y osamentas cubiertos con papel aluminio y papel de seda, con ayuda de una lupa se detectaron las zonas afectadas por biodeterioro y se caracterizaron. Las muestras de superficies de textiles y osamentas se colectaron según la técnica del *cuadrado* (Guiamet, Borrego, Lavin, Perdomo & Saravia, 2011; López-Martínez, Hernández-Hernández, Millán-Chiu, Manzano-Gayosso & Méndez-Tovar, 2007), modificada por los investigadores. Se colocaron *marcos* de cuadrados de cartulina, previamente esterilizados en horno (180° C x 20'), que delimitaron áreas de 5 x 5 cm con una superficie de 25 cm² (textiles y cráneos) y 2,5 x 2,5 cm con una superficie de 6,25 cm² (huesos largos). La superficie del interior de los marcos se frotó por triplicado en sentido horizontal, vertical y diagonal con hisopos previamente esterilizados (180° C x 2 h). Luego, los hisopos se

depositaron en tubos con medios de cultivo: caldo nutritivo para bacterias y caldo papa dextrosa para hongos, que luego se sembraron mediante la técnica de estría en placas de Petri conteniendo agar nutritivo con Cicloheximida y agar papa dextrosa con Cloranfenicol, y se incubaron a 30° C hasta por 3 días para bacterias y 7 días para hongos. El número de unidades formadoras de colonias por metro cuadrado de superficie (UFC m⁻²) se calculó según la fórmula utilizada por Omeliansky (Bogomolova & Kirtsideli, 2009):

$$N = 5 a \times 10^4 (\text{bt})^{-1}$$

Donde:

$$N = \text{UFC m}^{-2}$$

a = número de colonias por placa de Petri

b = área (lado²) de marco muestreador (cm²)

t = tiempo de exposición

La identificación de bacterias se determinó por las características macroscópicas de las colonias en agar nutritivo a 30° C, tinción de Gram y Ziehl-Neelsen, prueba de catalasa, motilidad, acidez a partir de carbohidratos, hidrólisis del almidón y gelatina, tolerancia a NaCl, hidrólisis de arginina, reducción de nitratos, prueba de Vogues Proskauer. En la identificación de hongos se determinaron las características macroscópicas de las colonias en agar papa dextrosa a 30° C hasta por 10 días. A continuación, con la técnica de *impresión con cinta adhesiva transparente*, sobre cada colonia de hongo, se tiñó con azul de lactofenol, se identificaron las características microscópicas del micelio vegetativo y las estructuras reproductivas.

RESULTADOS

Los 24 textiles investigados presentaron alteraciones en la textura y en la coloración (100%); el 70,8% (17) en el aspecto y el 45,8% (11) en los bordes. Las alteraciones en la textura correspondieron a rigidez (58,3 %); debilitamiento (25 %); resquebrajamiento (20,8 %) y disgregación del tejido (16,7 %). También se observaron pigmentaciones blanquecinas (45,8 %); verdosas (37,5 %); marrones (37,5 %); negruzcas (25,0 %) y pardas (4,2 %). Las alteraciones en el aspecto correspondieron

a deformación (50 %); eflorescencia salina (37,5 %); pulverulencia (25 %); humedad (16,7 %); cuarteamiento (4,2 %) y pliegues (4,2 %). En los bordes de los textiles se observó deshilachado (45,8 %) y desgarros (16,7 %).

El 100 % (30) de las osamentas investigadas presentaron alteraciones en el aspecto, coloración e integridad. Las alteraciones en el aspecto correspondieron a grietas (53,3 %); fisuras (46,7 %) y eflorescencias salinas (33,3 %). También se observaron pigmentaciones marrones (66,7 %); grises (60 %); negruzcas (43,3%); blanquecinas (23,3%) y verdosas (6,7 %). Las alteraciones en la integridad correspondieron a resquebrajamientos (96,7 %), fracturas (63,3 %) y

deformaciones (3,3%).

En los textiles y osamentas de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán se cuantificaron bacterias y hongos filamentosos, pero no levaduriformes. El número promedio de bacterias fue de $4,9 \times 10^4$ UFC m⁻² en los textiles y $1,4 \times 10^5$ UFC m⁻² en las osamentas. El número de promedio de hongos fue de $7,1 \times 10^3$ UFC m⁻² en los textiles y $5,2 \times 10^3$ UFC m⁻² en las osamentas (Tabla 1). Según el almacén el mayor número de bacterias en los textiles correspondieron a Santa Rosa y en osamentas a La Inmaculada (Tabla 1). El mayor número de hongos filamentosos en textiles y osamentas se registró en el almacén El Triunfo (Tabla 1).

TABLA 1. Número promedio de unidades formadoras de colonias de bacterias y hongos filamentosos en la superficie de textiles y osamentas.

	UFCm ²	
	Textiles	Osamentas
Bacterias	$4,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^5$
Hongos filamentosos	$7,1 \times 10^3$	$5,2 \times 10^3$
Almacén	UFCm ² de bacterias según almacén	
	Textiles	Osamentas
Ventarrón	$7,8 \times 10^3$	$2,9 \times 10^4$
El Triunfo	$3,9 \times 10^4$	$3,7 \times 10^4$
Santa Rosa	$7,7 \times 10^4$	$2,2 \times 10^5$
La Inmaculada	$7,4 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$
Almacén	UFCm ² de hongos filamentosos según almacén	
	Textiles	Osamentas
Ventarrón	$6,1 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
El Triunfo	$1,4 \times 10^4$	$8,4 \times 10^3$
Santa Rosa	$3,7 \times 10^3$	$6,2 \times 10^3$
La Inmaculada	$4,9 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$

Se aislaron e identificaron cinco géneros de bacterias (Tabla 2), predominando *Bacillus* y *Micrococcus* en los textiles y osamentas, seguidos de *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Streptomyces*.

Asimismo, se aislaron e identificaron 20 géneros de hongos filamentosos (Tabla 2), 18 en osamentas y 9 en textiles, predominando *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*.

TABLA 2. Frecuencia de géneros de bacterias y hongos filamentosos identificada en los textiles y osamentas de los almacenes en el museo Tumbas Reales de Sipán.

Género bacteria	Tipo de muestra			
	Textiles		Osamentas	
	Nº	Frecuencia (%)	Nº	Frecuencia (%)
<i>Bacillus</i>	10	18,5	22	40,7
<i>Micrococcus</i>	7	13,0	15	27,8
<i>Streptococcus</i>	6	11,1	10	18,5
<i>Staphylococcus</i>	3	5,6	9	16,7
<i>Streptomyces</i>	1	1,9	2	3,7
Género hongo filamentosos	Tipo de muestra			
	Textiles		Osamentas	
	Nº	Frecuencia (%)	Nº	Frecuencia (%)
<i>Aspergillus</i>	15	27,8	24	44,4
<i>Cladosporium</i>	11	20,4	9	16,7
<i>Penicillium</i>	6	11,1	9	16,7
<i>Rhizopus</i>	2	3,7	3	5,6
<i>Geotrichum</i>	1	1,9	3	5,6
<i>Alternaria</i>	1	1,9	1	1,9
<i>Scopulariopsis</i>	1	1,9	1	1,9
<i>Chrysosporium</i>	1	1,9	0	0
<i>Gliocladium</i>	1	1,9	0	0
<i>Curvularia</i>	0	0	3	5,6
<i>Helminthosporium</i>	0	0	2	3,7
<i>Memnoniella</i>	0	0	2	3,7
<i>Cercospora</i>	0	0	1	1,9
<i>Cunninghamella</i>	0	0	1	1,9
<i>Fusarium</i>	0	0	1	1,9
<i>Stachybotrys</i>	0	0	1	1,9
<i>Syncephalastrum</i>	0	0	1	1,9
<i>Thysanophora</i>	0	0	1	1,9
<i>Trichothecium</i>	0	0	1	1,9
<i>Verticillium</i>	0	0	1	1,9

En los textiles se identificaron los géneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Geotrichum*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Scopulariopsis*. En las osamentas se identificaron los géneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Cercospora*, *Cladosporium*, *Cunninghamella*, *Geotrichum*, *Helminthosporium*, *Fusarium*, *Memmoniella*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*, *Syncephalastrum*, *Thysanophora*, *Trichothecium* y *Verticillium*. Los géneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Scopulariopsis*, se identificaron tanto en los textiles como en las osamentas.

DISCUSIÓN

La acción de los hongos en libros, documentos, mapas y obras de arte en papel puede ocasionar pérdidas culturales inestimables. La mayoría de los objetos con una relativa antigüedad, tienden a sufrir daños que pueden ser irreversibles (Scheerer, Ortega-Morales & Gaylarde, 2009). Monumentos, archivos, cuadros, pinturas, cerámicas, textiles y osamentas, entre otros, están expuestos a los efectos de factores físicos, químicos y biológicos, que provocan los microorganismos (Guiamet et al., 2011; Karakasidou et al., 2018; Liu et al., 2018; Poyatos, Morales, Nicholson & Giordano, 2018). En este sentido, la identificación de bacterias y hongos involucrados se requiere para diseñar estrategias de conservación y protección de los bienes de importancia cultural (Ramos Estrada, Valverde Garnica, Alvarez Aliaga, Terrazas Siles & Giménez Turba, 2012).

Los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán presentaron una ventilación poco adecuada, condiciones que favorecen la proliferación de microorganismos, esto influye de manera negativa sobre la conservación de las colecciones históricas (Brown & Rose, 1996). De acuerdo con Valentin, (2007) la intensidad de las alteraciones por el biodeterioro se produce en función de las condiciones ambientales. En este contexto, el mayor número de hongos filamentosos en textiles y osamentas se reportó en el almacén El Triunfo en el que la humedad relativa alcanzó hasta 84 %. La ventilación juega un rol muy importante en el biodeterioro porque el movimiento del aire evita las altas concentraciones de microorganismos (Scheerer

et al., 2009).

En los textiles se observaron alteraciones físicas, en su mayoría en la textura y coloración, así como también en el aspecto y los bordes. Esto se debe a que las fibras textiles se deterioran por causas físicas, químicas y biológicas (Scheerer et al., 2009). Los deterioros físicos pueden darse por ejemplo por desastres naturales o causados por humanos, como la aplicación de técnicas inadecuadas (Feilden & Scichilone, 1982). Los deterioros químicos corresponden a los elementos como la radiación ultravioleta o el dióxido de carbono que desencadenan reacciones químicas, y las biológicas a los animales, insectos (principalmente escarabajos), polillas y microorganismos (Valentin, 2007).

El biodeterioro de un soporte de valor patrimonial es un fenómeno complejo, que implica procesos físicos o mecánicos (fractura y disgregación) y químicos (hidrólisis y descomposición) (Michaelsen et al., 2013; Montanari, Melloni, Pinzari & Innocenti, 2012). El debilitamiento y resquebrajamiento de los textiles que los hacen quebradizos, también se atribuyen a la radiación ultravioleta y el dióxido de carbono (Valentin, 2007). Por su parte, las modificaciones del aspecto estético se deben a la acción de los microorganismos (Rodríguez, Rodríguez & Borrego, 2014). La despigmentación predominó en los textiles en este estudio, alteración atribuida a la radiación ultravioleta y dióxido de nitrógeno, que destruyen las tintas y pigmentos.

Se aislaron e identificaron *Bacillus* spp. y *Micrococcus* spp. en los textiles y osamentas, estos son comúnmente encontrados en pinturas con biodeterioro (Singh, 2006). También se aisló *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Streptomyces* coincidiendo con los estudios de Borrego et al. (2010) y Guiamet et al. (2011). La presencia de microorganismos se demostró en los textiles, coincidiendo con Poyatos et al. (2018), quienes reportaron bacterias y hongos en lienzos biodeteriorados. Entre las bacterias se identificaron cinco géneros, predominando *Bacillus*, *Micrococcus* y *Streptococcus*, y con menos frecuencia *Staphylococcus* y *Streptomyces*. Todos los géneros fueron reportados previamente (Valentin, 2007). Estos géneros son los más comúnmente encontrados en estudios de biodeterioro; además de su efecto sobre la conservación del material

arqueológico afecta a la salud humana. Estos géneros de bacterias generan enzimas que degradan distintos tipos de materiales, como lo son los materiales de las colecciones del museo (Pathak & Navneet, 2017). Todos los géneros fueron reportados posteriormente en momias por Naji et al. (2014) y Piñar, Dalnodar, Voithl, Reschreiter & Sterflinger (2016).

En las osamentas se identificaron 18 géneros de hongos y predominaron *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* y *Rhizopus*, coincidiendo con Naji et al. (2014). Los géneros de bacterias identificados en textiles y osamentas se reportaron previamente en museos y archivos (Valentin, 2007) (*Streptococcus*, *Streptomyces*), documentos de papel por Guïamet et al. (2011) (*Bacillus*) y paredes de tumbas por Vasanthakumar, De Araujo, Mazurek, Schilling & Mitchell (2013) (*Micrococcus*, *Staphylococcus*). Los hongos filamentosos que se aislaron predominantemente fueron: *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, estos géneros también se reportaron el estudio de Pinheiro, Sequeira & Macedo (2019)

Se identificaron además los géneros *Scopulariopsis* y *Fusarium*. Los mismos fueron aislados en material documental (libros) por Lavin et al. (2016). Los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, y *Rhizopus* aislados en nuestro estudio también fue encontrados en el estudio de Gutarowska, Skora, Zduniak & Rembisz (2012) en seis museos y archivos diferentes en Polonia. Estos microorganismos están presentes en el medio y su hallazgo en estos materiales debería ser común. Lo que debería preocupar es el gran número de colonias aisladas en este estudio, que es muy superior a los estudios anteriormente citados.

Scopulariopsis y *Chrysosporium* fueron también hongos aislados en nuestro estudio, estos mismos fueron encontrados en el estudio de Ponizovskaya et al. (2019) en monumentos y museos. *Geotrichum* y *Gliocladium* se encontraron también en materiales de biblioteca almacenados en estanterías compactas (Pinzari & Montanari, 2011). En las osamentas se identificaron los géneros *Alternaria*, y *Curvularia*. Estos géneros de hongos se encontraron en edificios históricos de Cuba (Rojas, Aira, Batista, Cruz & González, 2012). *Cercospora* y *Cladosporium*, se reportaron también en el estudio de Nitiu, Mallo, Saparrat, & Cruz (2016).

En los textiles y osamentas se cuantificaron bacterias y hongos filamentosos, pero no levaduriformes, por el contrario, las levaduras *Candida* y *Rhodoturula* se reportaron en momias (López-Martínez et al., 2007), *Candida* en museos y archivos (Valentin, 2007) y *Pichia* en momias (Piñar et al., 2016).

Los resultados de este estudio deben llamar la atención de los conservadores ya que la capacidad de los hongos para producir ácidos orgánicos y pigmentos, desempeñan un rol crucial en la decoloración y degradación de los materiales históricos. Los ácidos forman sales de calcio o actúan como agentes quelantes de los cationes minerales, favoreciendo el proceso de biodeterioro. Las bacterias y hongos colonizan los materiales orgánicos y son responsables de serios problemas de biodeterioro en museos y archivos con problemas de condensación de agua y pobre ventilación. Se recomienda realizar estudios con los microorganismos aislados de las colecciones de museo y enfrentarlos a material similar al de las colecciones para evaluar su potencial como agentes de biodeterioro.

Se concluye que existen microorganismos que podrían interactuar con el material almacenado en los museos, ocasionando biodeterioro de textiles y osamentas, requiriéndose establecer medidas de prevención y control para disminuir la contaminación hacia el personal humano de los museos y el biodeterioro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Museo Tumbas Reales por habernos facilitado las muestras para el estudio y al arqueólogo Edgar Bracamonte Lévano por su ayuda en la realización del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biswas, J., Sharma, K., Harris, K. K. & Rajput, Y. (2013). Biodeterioration agents: Bacterial and fungal diversity dwelling in or on the pre-historic rock-paints of Kabra-pahad, India. *Iranian Journal of Microbiology*, 5(3), 309-314.

Blanchette, R. A. (2000). A review of microbial deterioration found in

- archaeological wood from different environments. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46(3), 189-204.
- Bogomolova, E. & Kirtsideli, I.** (2009). Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(2), 156-160.
- Borrego S.** (2012). Cladosporium: género fúngico que deteriora soportes documentales y afecta a la salud del hombre. *Boletín del Archivo Nacional*, 18, 104-118.
- Brown, J. P. & Rose, W. B.** (1996). Humidity and Moisture in Historic Buildings: The Origins of Building and Object Conservation. *Association for Preservation Technology International Bulletin*, 27(3), 12-24.
- Di Carlo, E., Barresi, G. & Palla, F.** (2017). Biodeterioration. En Palla, Franco, Barresi & Giovanna (Eds.), *Biotechnology and Conservation of Cultural Heritage* (pp. 1-30). Italia: Springer International Publishing.
- Feilden, B. M. & Scichilone, G.** (1982). Museums: the right places for conservation? *Museum International*, 34(1), 10-20.
- Guiamet, P., Borrego, S., Lavin, P., Perdomo, I. & Saravia, S. G.** (2011). 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 and Surfaces B: Biointerfaces*, 85(2), 229-234.
- Gutarowska, B., Skora, J., Zduniak, K. & Rembisz, D.** (2012). Analysis of the sensitivity of microorganisms contaminating museums and archives to silver nanoparticles. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 68, 7-17.
- Karakasidou, K., Nikolouli, K., Amoutzias, G. D., Pournou, A., Manassis, C., Tsiamis, G. & Mossialos, D.** (2018). Microbial diversity in biodeteriorated Greek historical documents dating back to the 19th and 20th century: A case study. *Microbiology Open*, 7(5), 1-11.
- Lavin, P., de Saravia, S. G. & Guiamet, P.** (2016). Scopulariopsis sp. and Fusarium sp. in the Documentary Heritage: Evaluation of Their Biodeterioration Ability and Antifungal Effect of Two Essential Oils. *Microbial Ecology*, 71(3), 628-633.
- Liu, Z., Zhang, Y., Zhang, F., Hu, C., Liu, G. & Pan, J.** (2018). Microbial community analyses of the deteriorated storeroom objects in the Tianjin Museum using culture-independent and culture-dependent approaches. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1-12.
- López-Martínez, R., Hernández-Hernández, F., Millán-Chiu, B. E., Manzano-Gayosso P. & Méndez-Tovar, L. J.** (2007). Efectividad del imazalil en el control del deterioro por hongos de momias del museo de El Carmen, Ciudad de México. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24(4), 283-288.
- Michaelsen, A., Pinzari, F., Barbabietola, N. & Piñar, G.** (2013). Monitoring the effects of different conservation treatments on paper-infecting fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84, 333-341.
- Montanari, M., Melloni, V., Pinzari, F. & Innocenti, G.** (2012). Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 75, 83-88.
- Naji, K.M., Abdullah, Q.Y., Al-Zaqri, A.Q. & Alghalibi, S.M.** (2014). Evaluating the biodeterioration enzymatic activities of fungal contamination isolated from some ancient yemeni mummies preserved in the national museum. *Biochemistry Research International*, 2014, 1-9.

- Negi, A. & Sarethy, I. P.**
(2019). Microbial Biodeterioration of Cultural Heritage: Events, Colonization, and Analyses. *Microbial Ecology*, 78(4), 1014-1029.
- Nitíu, D. S., Mallo, A. C., Saparrat, M. N. & Cruz, M. G. S.**
(2016). Survey of the state of conservation of the *Myloodon listai* (Xenarthra-Mylodontidae) skin fragment from the Pleistocene of Argentina kept at the Museum of La Plata (Argentina). *Ge-Conservacion*, 10, 44-53.
- Pathak, V. M. & Navneet**
(2017). Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 1-31.
- Pinheiro, A. C., Sequeira, S. O. & Macedo, M. F.**
(2019). Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health. *Critical Reviews in Microbiology*, 45(5-6), 686-700.
- Piñar, G., Dalnodar, D., Voitl, C., Reschreiter, H. & Sterflinger, K.**
(2016). Biodeterioration risk threatens the 3100 year old staircase of hallstatt (Austria): Possible involvement of halophilic microorganisms. *Public Library of Science ONE*, 11(2), 1-20.
- Pinzari, F. & Montanari, M.**
(2011). Mould Growth on Library Materials Stored in Compactus-Type Shelving Units. En S. Abdul-Wahab (Ed.), *Sick Building Syndrome* (pp. 193-206). Heidelberg: Springer Berlin.
- Ponizovskaya, V. B., Rebrikova, N. L., Kachalkin, A. V., Antropova, A. B., Bilanenko, E. N. & Mokeeva, V. L.**
(2019). Micromycetes as colonizers of mineral building materials in historic monuments and museums. *Fungal Biology*, 123(4), 290-306.
- Poyatos, F., Morales, F., Nicholson, A. W. & Giordano, A.**
(2018). Physiology of biodeterioration on canvas paintings. *Journal of cellular physiology*, 233(4), 2741-2751.
- Ramos Estrada, N. J., Valverde Garnica, G. M., Alvarez Aliaga, M. T., Terrazas Siles, E. & Giménez Turba, A.**
(2012). Deterioro Causado Por Microorganismos En Textil Arqueológico Y Lienzos. *Revista Boliviana de Química*, 29(2), 170-176.
- Rodríguez, J. C., Rodríguez, B. & Borrego, S. F.**
(2014). Evaluación de la calidad micológica ambiental del depósito de fondos documentales del Museo Nacional de la Música de Cuba en época de lluvia. *Asociacion de Universidades Grupo Montevideo*, 6(537), 123-146.
- Rojas, T. I., Aira, M. J., Batista, A., Cruz, I. L. & González, S.**
(2012). Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba). *Grana*, 51(1), 44-51.
- Scheerer S, Ortega-Morales O, Gaylarde C.**
(2009). Microbial deterioration of stone monuments--an updated overview. *Advances in Applied Microbiology*, 66, 97-139.
- Singh, D. J.**
(2006). The built environment of fungi and the development. En Jagjit Singh (Ed.), *Building Mycology- Management of decay and health in buildings* (pp. 1-18). Londres: Taylor & Francis.
- Srikanth, P., Sudharsanam, S. & Steinberg, R.**
(2008). Bio-aerosols in indoor environment: Composition, health effects and analysis. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 26(4), 302.
- Sterflinger, K., Little, B., Pinar, G., Pinzari, F., de los Rios, A. & Gu, J. D.**
(2018). Future directions and challenges in biodeterioration research on historic materials and cultural properties. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 129, 10-12.
- Sterflinger, K. & Pinzari, F.**
(2012). The revenge of time: Fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment. *Environmental*

Microbiology,14(3), 559-566.

Szostak-Kotowa, J.

(2004). Biodeterioration of textiles. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 53(3), 165-170.

Thickett, D. & Lee, L. R.

(2004). Selection of materials for the storage or display of museum objects. *The British Museum Occasional Paper*, 111, 1- 30.

Valentin, N

(2007). Microbial Contamination in Archives and Museums : Health Hazards and Preventive Strategies Using Air Ventilation Systems. Trabajo presentado en *Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies*. Tenerife, Spain.

Vasanthakumar, A., De Araujo, A., Mazurek, J., Schilling, M., & Mitchell, R.

(2013). Microbiological survey for analysis of the brown spots on the walls of the tomb of King Tutankhamun. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 79, 56-63.