

Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán

Isolation and identification of the environmental microorganism of the Tumbas Reales de Sipán museum

Rocío Farro-Barbaran¹; Willy Mauricio Ramos-Iturregui²; Sebastián Iglesias-Osores^{3*}; Carmen Carreño-Farfán⁴

¹Bióloga. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: rociofarrob@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0767-0491>

²Biólogo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: willy_rit@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7962-9028>

³Biólogo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: sebasiglo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4984-4656>

⁴Bióloga. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: ccarreno@unprg.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0003-0238-2666>

*autor de correspondencia: siglesias@unprg.edu.pe

Cómo citar: Farro-Barbaran, R.; Ramos-Iturregui, W.M.; Iglesias-Osores, S.; Carreño-Farfán, C. 2021. Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1533 <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1533>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: abril 26 de 2020

Aceptado: julio 2 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Las bacterias y los hongos son un riesgo potencial para el material arqueológico y trabajadores de los museos en Lambayeque, Perú. Con el objetivo de cuantificar la microbiología ambiental aislada del museo Tumbas Reales de Sipán, se muestrearon cuatro almacenes, con Agar Nutritivo y Agar Papa Dextrosa, incubándose a 30 °C, en aerobiosis, hasta por 7 días, para bacterias y, hasta por 10 días, para hongos. Se cuantificaron bacterias con un máximo de $2,7 \times 10^4$ UFC cm^{-2} , en las superficies de pisos y paredes; $1,4 \times 10^3$ UFC m^{-3} , en el aire y hongos filamentosos, con un máximo de $7,5 \times 10^4$ UFC cm^{-2} ,

en las superficies y $9,1 \times 10^4$ UFC m^{-3} , en el aire. Se aislaron e identificaron los géneros de bacterias: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Streptomyces* y los géneros de hongos filamentosos: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Staphylotrichum*, *Cercospora*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Chrysosporium*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Gliocladium* y *Verticillium*.

Palabras claves: Museo arqueológico; Biodeterioro; Material arqueológico; Manejo de museos; Curaduría.

ABSTRACT

Bacteria and fungi are a potential risk to archaeological material and museum workers in Lambayeque, Peru. In order to quantify the isolated environmental microbiology of the Tumbas Reales de Sipán museum, four warehouses were sampled with Nutritive Agar and Papa Dextrose Agar, incubated at 30 °C in aerobiosis for up to 7 days for bacteria and up to 10 days for fungi. Bacteria were quantified with a maximum of 2.7×10^4 CFU cm⁻² on the floor and wall surfaces, 1.4×10^3 CFU m⁻³ in the air and filamentous fungi with a maximum of 7.5×10^4 CFU cm⁻² on the surfaces and 9.1×10^3 CFU m⁻³ in the air. Bacterial genera were isolated and identified: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* and *Streptomyces* and the filamentous fungal genera: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Cyrryspunrichum*, *Cyrrysopositive*, *Cyrrysylopola*, *Rushbingum*, *Cyrrysophyllizum*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Gliocladium* and *Verticillium*.

Keywords: Archeological Museum; Biodeterioration; Archeological Material; Museum management; Curatorship.

INTRODUCCIÓN

Las culturas prehispánicas han confeccionado complejos y edificios monumentales durante siglos, así como material cerámico y textil. La región de la costa norte de Perú, se ha caracterizado por sus impresionantes cerámicas y orfebrería (Shimada *et al.* 2003). En 1987-1990, se recuperó un espectacular tesoro de artefactos ornamentales y ceremoniales de oro y plata de las tumbas reales no saqueadas de Sipán, Perú (que data de 50-300 d.c.). Estos objetos dan evidencia de la artesanía sobresaliente de los orfebres Moche y reflejan las diversas técnicas elaboradas de metalurgia disponibles, en ese momento (Hörz & Kallfass, 2000). Hoy en día, estos artefactos están almacenados en condiciones ambientales no óptimas para climas tropicales, que muestran una colonización y deterioro visibles por comunidades microbianas. Las actividades de las comunidades microbianas en patrimonio cultural son causas importantes de daños, a través de procesos químicos o mecánicos (Ciferri, 2002; Warscheid & Braams, 2000). Este tipo de daño por microbiota, se conoce como biodeterioro, que se refiere a cualquier actividad biológica que afecta la apariencia e integridad de los materiales (Sterflinger & Piñar, 2013). El término “biodeterioro”, también se puede definir como la alteración no deseada de varios materiales, causada por pequeños organismos vivos, como insectos (Kakakhel *et al.* 2019).

La presencia y actividad de arqueas, bacterias, algas, líquenes, hongos, a veces animales y plantas superiores, a menudo, causan biodeterioro de reliquias de cerámica, resto óseos y metales, por lo tanto, son amenazas importantes para la preservación a largo plazo, de este valioso patrimonio cultural (Kakakhel *et al.* 2019). Los hongos juegan roles positivos y negativos en nuestra vida diaria. Son patógenos que sintetizan sustancias corrosivas y micotoxinas, que tienen el potencial de causar biodeterioro materiales, como piedra y hormigón (Meng *et al.* 2016; 2017) y también en materiales poliméricos (Gu *et al.* 1998, Gu, 2003). El daño de los objetos

del patrimonio cultural es un proceso causado por los procesos químicos y físicos, propios del metabolismo de los organismos involucrados (Kakakhel *et al.* 2019). El crecimiento microbiano en la superficie de los materiales puede causar el agrietamiento y el desplazamiento de los materiales de construcción, lo que resulta en el debilitamiento y la destrucción completa de los monumentos (Farooq *et al.* 2015; Liu *et al.* 2018). El biodeterioro, se ha discutido ampliamente, pero sus impactos negativos se han subestimado, debido a las pocas investigaciones sobre los mecanismos involucrados en el pasado (Kakakhel *et al.* 2019). Alguna vez, se creyó que los procesos químicos son los principales factores responsables de la descomposición, pero ahora las percepciones han cambiado y se ha aceptado, en general, que las bacterias, las arqueas y los hongos causan una seria destrucción al patrimonio cultural, como las momias, los libros y las pinturas, a través de su actividad enzimática, procesos metabólicos y corrosión/daño (Sterflinger & Piñar, 2013). El objetivo general fue identificar los microorganismos ambientales aislados de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán, en Lambayeque, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación fue descriptivo de corte transversal, se analizaron 54 unidades de muestreo de los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, durante agosto-octubre de 2015. El muestreo, se realizó en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, en la provincia de Lambayeque, ubicada en la región Lambayeque, a 5°28'36" y 7°14'37" latitud Sur, 79°41'30" y 80°37'23" de longitud Oeste y 18 m s.n.m. Los almacenes donde se colectaron las muestras fueron Ventarrón, El Triunfo, Santa Rosa y Sipán. En los tres primeros, se guardaban restos orgánicos y cerámicas y, en el cuarto, se almacén cerámicas y objetos metálicos. En cada almacén, las muestras se obtuvieron en la superficie del piso, superficie de pared, aire del ambiente y aire de cajas conteniendo material arqueológico, tomando en cuenta una zona expuesta, cerca de la puerta o ventana y una zona protegida (Figura 1, 2 y 3).

En la superficie de pisos y de paredes, se delimitaron dos áreas de 1m², en las zonas expuesta y protegida, donde se colocaron seis “marcos” de cuadrados de cartulina, que delimitaron áreas de 5x5 cm y una superficie de 25 cm² (Figura 1a y 1b).

Estos marcos fueron esterilizados en horno (180 °C x 20'), se ubicaron en el área delimitada: cuatro en las esquinas y dos en el centro y en el interior, se tomaron las muestras con hisopos estériles (180 °C x 2 h) y humedecidos con una solución de cloruro de sodio (NaCl 0,85 % p/v), más Tween 80. La superficie muestreada, se frotó con el hisopo en sentido horizontal, vertical y diagonal; luego, los hisopos se depositaron en tubos con la misma solución, para el posterior aislamiento en Agar nutritivo, con antibiótico Cicloheximida y Agar Papa Dextrosa con Cloranfenicol.

El muestreo de aire en los almacenes, se realizó en seis áreas delimitadas por un tablero de 50x50 cm, sostenido por un soporte de cartón prensado, a una altura de 1,20 cm. Los lugares

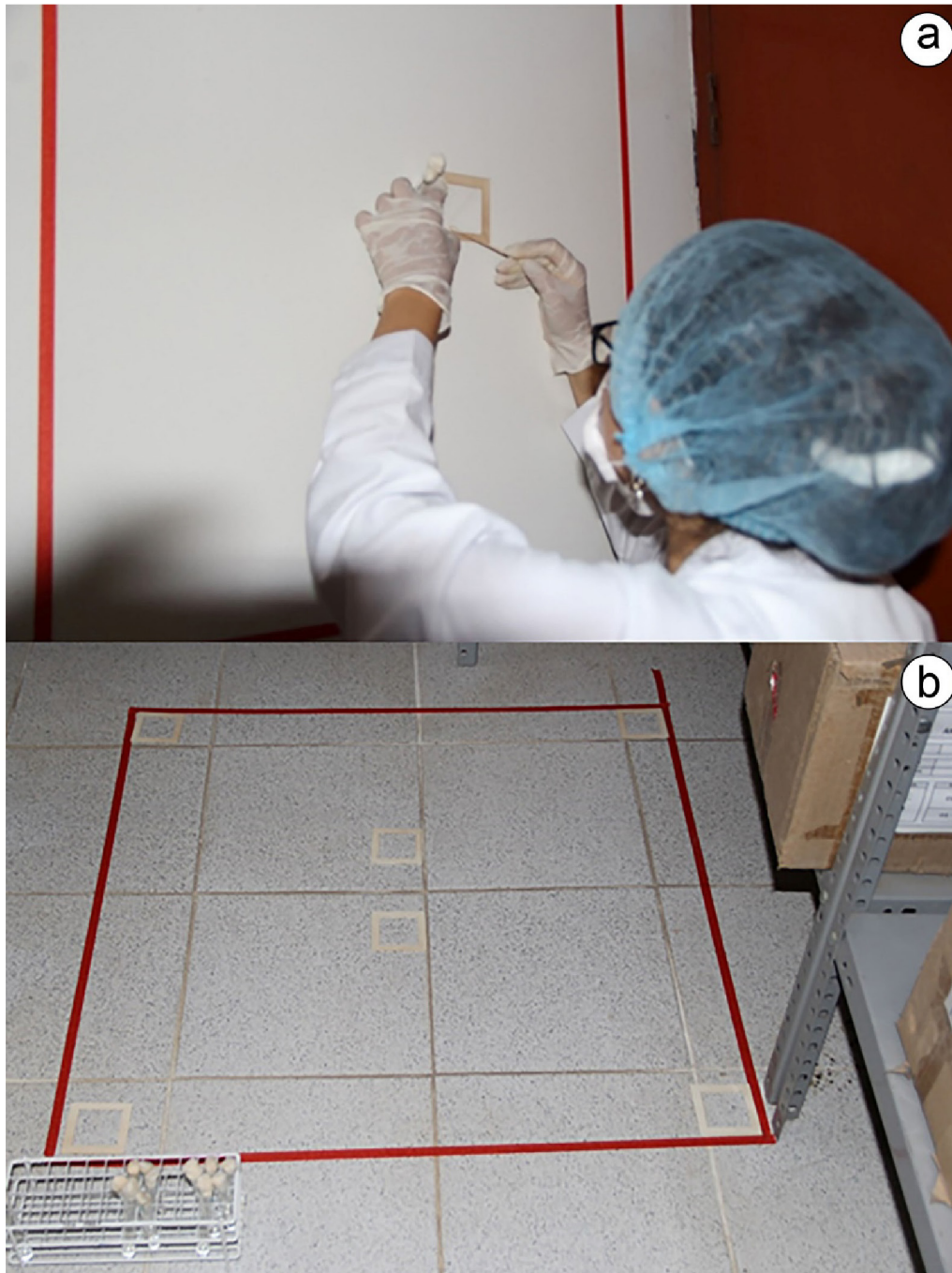


Figura 1. Ubicación de marco de cuadrado para el muestreo. a. en la pared; b. en el suelo.

seleccionados correspondieron a tres zonas protegidas (no hubo corrientes de aire) y tres expuestas (cerca de ventanas y puertas con corrientes de aire), de los almacenes. Según la técnica de sedimentación por gravedad sobre el tablero, se colocaron en las esquinas (4) y en el centro (2) placas de Petri, con Agar Nutritivo-fluconazol (tres placas), Agar Sangre-antimicótico (dos placas) y Agar Papa dextrosa (tres placas) y se mantuvieron abiertas durante 15 minutos (López-Aranda *et al.* 2020) (Figura 2).

En los estantes de los ambientes muestreados, se seleccionaron dos cajas de almacenamiento: en las zonas “protegida” y “expuesta”, se

retiraron las tapas y, en su interior, se colocaron las placas de Petri abiertas, con Agar Nutritivo (tres placas) y Agar Papa Dextrosa (tres placas). Las cajas se taparon, cada 5 minutos, las paredes y la tapa de las cajas, se golpearon durante medio minutos y después de 15 minutos, se retiraron las placas de Petri. Los tubos con las muestras de superficie y las placas de Petri con las muestras de aire, se depositaron en la caja térmica (10 ± 1 °C) y se llevaron al laboratorio de Microbiología y Parasitología, para el aislamiento de bacterias y hongos (Figura 3).



Figura 2. Muestreo de aire en almacén.



Figura 3. Placas de Petri con medios de cultivo abiertas en caja de almacenamiento.

Las muestras de superficies de pisos y de paredes colectadas con hisopos fueron sembradas en placas de Petri con Agar Nutritivo-fluconazol, para cuantificar bacterias y Agar Papa Dextrosa-antibiótico, para cuantificar hongos. La incubación, se realizó a 30 °C, en aerobiosis, hasta por 7 días, para bacterias y 10 días, para

hongos. El número de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFCm^{-3}) o metro cuadrado de superficie (UFCm^{-2}), se calculó según la ecuación 1.

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

ecuación 1

Donde: $N = \text{UFCm}^{-3}$ o UFCm^{-2} ; a = número de colonias por placa de Petri; b (para m^2) = área (lado²) del muestreador (cm^2); b (para m^3) = área (πR^2) de la placa de Petri (cm^2); t = tiempo de exposición.

Las colonias de bacterias y los hongos fueron agrupados, según su morfología y cada morfotipo, se aisló por duplicado, en viales con Agar Nutritivo y Agar Papa Dextrosa.

En la identificación de las bacterias, se determinaron las características macroscópicas de las colonias desarrolladas en agar nutritivo a 37 °C, durante 3 días. Para la identificación, a nivel de género, se realizaron tinciones de Gram y de Ziehl-Neelsen y las pruebas 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.

Para la identificación de hongos, se usaron las características macroscópicas de las colonias desarrolladas en agar papa dextrosa a 30 °C, hasta por 10 días, para llegar a género. A continuación, con la técnica de “impresión con cinta adhesiva transparente” (Labarca *et al.* 2006), sobre cada colonia de hongo, se depositó un fragmento de cinta adhesiva de 6 cm de longitud y luego se llevó a una lámina portaobjetos, conteniendo una gota de azul de lactofenol; se presionó de manera sucesiva y se observó con objetivo de 40x, identificándose las características microscópicas del micelio vegetativo y las estructuras reproductivas (Barnett & Hunter, 1998).

Los datos obtenidos fueron ordenados y expresados en tablas y figuras, que permitieron visualizar y analizar las bacterias y los hongos de riesgo potencial, para el material arqueológico y trabajadores del museo. Los datos fueron procesados utilizando los programas Microsoft Office Word 2013 y Microsoft Office Excel 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hongos y las bacterias y el número de unidades formadoras de colonias de los microorganismos aislados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, se muestran en las tablas 1 y 2.

En las superficies y ambiente de los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, en Lambayeque, se cuantificaron bacterias y hongos filamentosos; en otros estudios sobre biodeterioro, también se aislaron géneros de bacterias y hongos, que colonizaban material histórico, en almacenes de museos (Grbić *et al.* 2013; Konsa *et al.* 2014). En el aire de los almacenes, se cuantificaron hasta $1,3 \times 10^3$ UFCm^{-3} , superando $2,6 \times 10^2$ UFCm^{-3} , reportados por Guimet *et al.* (2011). Esto quizás se deba a la manera de almacenamiento y a los materiales arqueológicos almacenados.

La variedad de partículas de diferente origen forma y tamaño suspendidas en el aire del interior y exterior de los ambientes constituye el aerosol atmosférico. Las instalaciones históricas,

como iglesias, criptas, bibliotecas y museos, son cruciales para preservar el patrimonio cultural, pero, al mismo tiempo, se visitan con frecuencia objetos turísticos y entornos de trabajo (Chmiel *et al.* 2019).

Se considera que la mayoría de las esporas de hongos se encuentran al aire libre, por lo que podrían ingresar a la mayoría de los locales examinados con el aire exterior o en la ropa de las personas. Por otro lado, los principales depósitos interiores de aerosoles bacterianos son la piel de humanos y animales, por lo tanto, los microorganismos predominantes en el aire atmosférico serían hongos, mientras que las bacterias prevalecerían en interiores (Cox & Wathes, 1995; Karbowska-Berent *et al.* 2011). Cuando se excluye la infiltración del aire exterior, el aumento del número de partículas fúngicas en el aire de bibliotecas, archivos y museos puede resultar de la dispersión de algunas fuentes internas, por ejemplo, colecciones contaminadas, papel tapiz o pintura (Karbowska-Berent *et al.* 2011).

En la superficie de pisos y paredes, se cuantificaron hasta $2,7 \times 10^4$ UFCcm^{-2} , de bacterias, valor inferior a $7,1 \times 10^5$ UFCcm^{-2} , reportado por Guimet *et al.* (2011), en la superficie de mapas y fotografías de un museo. Al respecto, una diversidad de bacterias se ha cuantificado y aislado en diferentes materiales arqueológicos, en fibras textiles (Eyzaguirre, 2002), momias de sarcófagos (Cavka *et al.* 2010), cuerpos preservados en catacumbas (Piñar *et al.* 2013) muscle, hair, bone, stuffing materials, clothes, and surrounding walls as well as from the indoor air. In this study, we witnessed that the different degradation phenomena observed on the variety of materials located at the Capuchin Catacombs of Palermo are biological in origin. Molecular techniques showed the dominance of halophilic species of the domains Bacteria and Archaea on the walls and - as a result of salt emanating from the walls - on the mummies themselves. Nevertheless, specialized microorganisms belonging to taxa well-known for their cellulolytic and proteolytic activities were detected on clothes and stuffing material, and on skin, muscle, hair, and bone, respectively. This specialized microbiota is threatening the conservation of the mummies themselves. Additionally, sequences related to the human skin microbiome and to some pathogenic Bacteria (order Clostridiales, aire, libros y documentos de museos y archivos (Sequeira *et al.* 2012). *Fusarium* no se conoce típicamente como un género fúngico importante que degrada la madera, sino que es un hongo asociado con la basura y el suelo, que es importante para degradar los detritos de las plantas y como patógenos de plantas; sin embargo, el género, a menudo, se aísla de los materiales de madera y se sabe que posee una alta actividad lignocelulolítica (Daâssi *et al.* 2016; Obruca *et al.* 2012). El número de hongos filamentosos fue mayor en el aire que en las superficies y la superioridad numérica, se debe a la rápida dispersión de las esporas, por el movimiento de las corrientes de aire. De igual manera, Rojas *et al.* (2012) identificaron una mayor diversidad de géneros de hongos filamentosos en el aire, en comparación con otros objetos muestreados (18 géneros).

El número de bacterias superó al de hongos filamentosos, coincidiendo con Guimet *et al.* (2011). En los almacenes investigados, se

Tabla 1. Nombre de almacén y procedencia de muestras colectadas en museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Nombre de almacén	Procedencia	Condición	Muestras (N°)	UFC Bacterias				
				Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
Ventarrón	Superficie de piso	Expuesta	1	Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
		Protegida	1	Superficie de piso (UFCm ⁻²)	2,7 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴		
	Superficie de pared	Expuesta	1	Superficie de pared (UFCm ⁻²)	3,4 x 10 ³	3,7 x 10 ³		
		Protegida	1	Aire de ambiente (UFCm ⁻³)	1,0 x 10 ³	1,3 x 10 ³		
	Aire de ambiente	Expuesta	3	Aire de caja (UFCm ⁻³)	1,4 x 10 ³	1,1 x 10 ³		
		Protegida	3	UFC Hongos filamentosos				
	Aire de caja	Expuesta	1	Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
		Protegida	1	Superficie de piso (UFCm ⁻²)	4,9 x 10 ⁴	7,5 x 10 ⁴		
	El Triunfo	Superficie de piso	Expuesta	1	Superficie de pared (UFCm ⁻²)	1,1 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	
			Protegida	1	Aire de ambiente (UFCm ⁻³)	9,1 x 10 ⁴	5,5 x 10 ⁴	
Superficie de pared		Expuesta	1	Aire de caja (UFCm ⁻³)	3,5 x 10 ⁴	7,3 x 10 ⁴		
		Protegida	1					
Aire de ambiente		Expuesta	3					
		Protegida	3					
Aire de caja		Expuesta	1					
		Protegida	1					
Santa Rosa	Superficie de piso	Expuesta	1					
		Protegida	1					
	Superficie de pared	Expuesta	1					
		Protegida	1					
	Aire de ambiente	Expuesta	3					
		Protegida	3					
	Aire de caja	Expuesta	1					
		Protegida	1					
Sipán	Superficie de piso	Expuesta	2					
		Protegida	2					
	Superficie de pared	Expuesta	2					
		Protegida	2					
	Aire de ambiente	Expuesta	3					
		Protegida	3					
	Aire de caja	Expuesta	2					
		Protegida	2					
TOTAL			54					

Tabla 2. Frecuencia de géneros de bacterias identificadas en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Género	Frecuencia (%) en almacenes		Género	Frecuencia (%) paredes de almacenes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Bacillus</i>	92,5	96,2	<i>Bacillus</i>	100	100
<i>Micrococcus</i>	66,6	62,9	<i>Micrococcus</i>	75,0	75,0
<i>Acinetobacter</i>	37,0	29,6	<i>Acinetobacter</i>	33,0	25,0
<i>Nocardia</i>	33,3	29,6	<i>Nocardia</i>	25,0	25,0
<i>Streptococcus</i>	18,5	14,8	<i>Streptococcus</i>	8,3	8,3
<i>Staphylococcus</i>	14,8	7,4	<i>Streptomyces</i>	16,6	8,3
<i>Streptomyces</i>	11,1	11,1	<i>Staphylococcus</i>	8,3	8,3
Género	Frecuencia (%) en piso de almacenes		Género	Frecuencia (%) en piso de almacenes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Bacillus</i>	100	100	<i>Bacillus</i>	60	80
<i>Micrococcus</i>	80	80	<i>Micrococcus</i>	60	60
<i>Acinetobacter</i>	60	60	<i>Acinetobacter</i>	20	20
<i>Nocardia</i>	60	40	<i>Nocardia</i>	20	20
<i>Streptomyces</i>	40	40	<i>Streptococcus</i>	20	20
<i>Streptococcus</i>	40	20			
<i>Staphylococcus</i>	20	20			
Género	Frecuencia (%) paredes de almacenes				
	Protegida	Expuesta			
<i>Bacillus</i>	100	100			
<i>Nocardia</i>	40	40			
<i>Acinetobacter</i>	40	20			
<i>Micrococcus</i>	40	20			
<i>Staphylococcus</i>	40	0			
<i>Streptococcus</i>	0	20			

identificaron siete géneros de bacterias, entre los que *Bacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus* y *Streptomyces* fueron reportados por Guimet *et al.* (2011), así como *Acinetobacter* y *Nocardia*. Las bacterias Gram positivas predominaron frente a las Gram negativas, similar con Guimet *et al.* (2011). Los cocos Gram positivos están asociados a la actividad humana; son acarreados en la piel y membranas mucosas (Zhu *et al.* 2003). El género *Bacillus*, se identificó en todas las muestras investigadas, evidenciándose un requerimiento de mantenimiento adecuado en los ambientes de procedencia (Guimet *et al.* 2011).

En cuanto a las zonas investigadas, el número promedio de hongos filamentosos fue superior en las muestras de superficie de pisos,

paredes y aire de las cajas de zonas expuestas, así como también en el aire del ambiente de zonas protegidas (Tabla 1). El número promedio de bacterias fue menor que el de hongos filamentosos en las superficies de pisos y paredes y en el aire de ambientes y cajas de los almacenes, en el museo Tumbas Reales Señor de Sipán (Tabla 1).

En los almacenes investigados, se identificaron 15 géneros de hongos filamentosos, entre los que *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* fueron reportados en ambientes y material arqueológico, por Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012).

El género *Syncephalastrum* fue reportado por Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012); los géneros *Rhizopus* y *Stachybotrys*, por Rojas *et al.* (2012); *Alternaria* y *Nigrospora*, por Rojas *et al.* (2012); *Chrysosporium*, por Cavka *et al.* (2010).

Los géneros *Verticillium*, por Piñar *et al.* (2013); *Gliocladium* también, se identificaron *Cunninghamella*, *Circinella*, *Staphylotrichum* y *Cercospora*, hongos encontrados sobre materia orgánica vegetal.

El género *Aspergillus* fue el más frecuente, similar con Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012). Este género de hongo filamentoso ha sido reportado en el aire en superficies de mapas y fotografías (Guimet *et al.* 2011), en momias (López-Aranda *et al.* 2020; Cavka *et al.* 2010) y en ambientes interiores y exteriores de bibliotecas (Montanari *et al.* 2012). Asimismo, Rojas *et al.* (2012), en el aire y soportes de siete edificios históricos, identificaron *Aspergillus*, como uno de los géneros de hongos filamentosos más comunes, correspondiéndole el 34,2 %, de 38 especies identificadas.

Tabla 3. Frecuencia de géneros de hongos filamentosos identificados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Género	Frecuencia (%) en almacenes		Género	Frecuencia (%) superficies de paredes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Aspergillus</i>	88,8	75,9	<i>Aspergillus</i>	100	40
<i>Cladosporium</i>	62,9	59,2	<i>Circinella</i>	0	80
<i>Circinella</i>	25,9	40,7	<i>Cladosporium</i>	40	20
<i>Syncephalastrum</i>	37,0	18,5	<i>Syncephalastrum</i>	40	0
<i>Penicillium</i>	29,6	14,8	<i>Rhizopus</i>	40	0
<i>Alternaria</i>	14,8	14,8	<i>Staphylotrichum</i>	0	20
<i>Staphylotrichum</i>	7,4	14,8	Género	Frecuencia (%) en el ambiente	
<i>Cercospora</i>	7,4	7,4		Protegida	Expuesta
<i>Rhizopus</i>	14,8	0	<i>Cladosporium</i>	100,0	75,0
<i>Cunninghamella</i>	0	11,1	<i>Aspergillus</i>	100,0	66,6
<i>Chrysosporium</i>	0	7,4	<i>Syncephalastrum</i>	50,0	25,0
<i>Nigrospora</i>	7,4	0	<i>Alternaria</i>	33,3	33,3
<i>Stachybotrys</i>	0	7,4	<i>Penicillium</i>	33,3	33,3
<i>Gliocladium</i>	3,7	0	<i>Circinella</i>	16,6	25,0
<i>Verticillium</i>	3,7	0	<i>Cercospora</i>	16,6	16,6
Género	Frecuencia (%) en pisos de almacenes		<i>Cunninghamella</i>	0	16,6
	Protegida	Expuesta	<i>Nigrospora</i>	16,6	0
<i>Aspergillus</i>	100	100	Género	Frecuencia (%) cajas de almacenamiento	
<i>Circinella</i>	100	80		Protegida	Expuesta
<i>Cladosporium</i>	20	60	<i>Aspergillus</i>	40	40
<i>Syncephalastrum</i>	40	40	<i>Cladosporium</i>	40	40
<i>Staphylotrichum</i>	40	20	<i>Chrysosporium</i>	0	40
<i>Penicillium</i>	40	0	<i>Penicillium</i>	40	0
<i>Gliocladium</i>	20	0	<i>Stachybotrys</i>	0	40
<i>Verticillium</i>	20	0	<i>Cunninghamella</i>	0	20

En los almacenes, se aislaron e identificaron siete géneros de bacterias (Tabla 2), predominando *Bacillus* (94,4 %) y *Micrococcus* (64,8 %), seguido de *Acinetobacter* (63,3 %), *Nocardia* (31,4 %), *Streptococcus* (16,6 %), *Staphylococcus* (11,1 %) y *Streptomyces* (11,1 %). Los géneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Nocardia* y *Streptococcus*, se identificaron en las superficies de pisos, paredes y aire de ambientes y cajas, destacando *Bacillus*, que se registró en todas las muestras. A su vez, *Staphylococcus*, se identificó en las superficies de pisos, paredes y aire de los ambientes, así como *Streptomyces*, en las superficies de pisos y aire de los ambientes (Tabla 2).

En la presente investigación no se identificaron levaduras; sin embargo, López-Aranda *et al.* (2020) reportaron los géneros *Candida* y *Rhodotorula*, junto a hongos filamentosos, en momias, con visible deterioro. En su mayoría, los microorganismos identificados en la presente investigación han sido reportados como agentes de biodeterioro, por su actividad enzimática, con hidrólisis de la celulosa, lignina y proteína, producción de ácidos orgánicos y pigmentos (López-Aranda *et al.* 2020), destacando *Bacillus*, *Streptomyces* (Guíamet *et al.* 2011), *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Nigrospora*, *Rhizopus*, *Syncephalastrum* (Rojas *et al.* 2012) y *Penicillium*. El biodeterioro implica alteraciones de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material o soporte histórico, por acción de los organismos vivos. En este aspecto, bacterias y hongos causan un daño significativo en el material histórico, como resultado de su actividad metabólica (Farooq *et al.* 2015).

El género *Aspergillus*, seguido de *Cladosporium*, fueron los más frecuentes y se identificaron en las superficies de pisos, paredes y aire de ambientes y cajas de todos los almacenes. Los géneros *Circinella*, *Syncephalastrum* y *Penicillium*, se identificaron en las superficies y aire de algunos ambientes; *Staphylotrichum*, *Gliocladium*, *Verticillium* y *Rhizopus*, en las superficies, así como *Chrysosporium*, *Stachybotrys*, *Cunninghamella*, *Alternaria*, *Cercospora* y *Nigrospora*, en el aire (Tabla 3).

Las bacterias y los hongos identificados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, también han sido reportados como patógenos para el hombre, mencionándose *Nocardia*, como causante de endocarditis infecciosa y micetoma; *Acinetobacter*, responsable de infecciones nosocomiales multirresistentes; *Bacillus* y *Streptococcus*, causantes de trastornos diversos en niños; *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* y los mucorales, como causantes de procesos alérgicos y *Rhizopus*, *Aspergillus* y *Penicillium*, asociados a infecciones oportunistas en personas inmunodeprimidas. La presencia de bacterias y de hongos filamentosos en los ambientes de almacenamiento del material histórico representa un riesgo potencial de biodeterioro y enfermedades para los curadores, requiriéndose implementar adecuadas medidas de control y de mantenimiento. Se aislaron *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Streptomyces* y los géneros de hongos filamentosos: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Staphylotrichum*, *Cercospora*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Chrysosporium*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Gliocladium* y *Verticillium*, en los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán.

Agradecimientos. Al Museo Tumbas Reales, por habernos facilitado las muestras para el estudio y a Edgar Bracamonte Lévano, en la realización del estudio. **Financiación:** Autofinanciado. **Conflictos de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 4th Edition, APS Press, St. Paul. 218p.
2. CAVKA, M.; GLASNOVIĆ, A.; JANKOVIĆ, I.; SIKANJIC, P.R.; PERIĆ, B.; BRKLJACIĆ, B.; MLINARIĆ-MISSONI, E.; SKRLIN, J. 2010. Microbiological analysis of a mummy from the archeological museum in Zagreb. *Collegium Antropologicum*. 34(3):803-805.
3. CHMIEL, M.; KRAL, I.; LENART-BORON, A. 2019. Concentration and size distribution of microbial aerosol in the historical objects in Kraków as a potential health risk and biodeterioration factor. *Aerobiologia*. 35(4):743-758. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09614-x>
4. CIFERRI, O. 2002. The role of microorganisms in the degradation of cultural heritage. *Studies in Conservation*. 47(Supplement-1):35-45. <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.supplement-1.35>
5. COX, C.S.; WATHES, C.M. 1995. *Bioaerosols handbook*. crc press.
6. DAËSSI, D.; ZOUARI-MECHICHI, H.; BELBAHRI, L.; BARRIUSO, J.; MARTÍNEZ, M.J.; NASRI, M.; MECHICHI, T. 2016. Phylogenetic and metabolic diversity of Tunisian forest wood-degrading fungi: a wealth of novelties and opportunities for biotechnology. *3 Biotech*. 6(1):46. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0356-8>
7. EYZAGUIRRE, M.PL. 2002. Análisis científico de fibras arqueológicas. *Conserva*. 6(1):47-59.
8. FAROOQ, M.; HASSAN, M.; GULL, F. 2015. Mycobial Deterioration of Stone Monuments of Dharmarajika, Taxila. *J. Microbiology & Experimentation*. 2(1):29-33. <https://doi.org/10.15406/jmen.2015.02.00036>
9. GRBIĆ, M.L.; STUPAR, M.; VUKOJEVIĆ, J.; MARIČIĆ, I.; BUNGUR, N. 2013. Molds in museum environments: Biodeterioration of art photographs and wooden sculptures. *Archives of Biological Sciences*. 65(3):955-962. <https://doi.org/10.2298/ABS1303955G>

10. GU, J.D. 2003. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: Recent research advances. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 52(2):69-91. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00177-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00177-4)
11. GU, J.D.; FORD, T.E.; BERKE, N.S.; MITCHELL, R. 1998. Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium*. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 41(2):101-109. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(98\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(98)00034-1)
12. GUIAMET, P.; BORREGO, S.; LAVIN, P.; PERDOMO, I.; GÓMEZ DE SARAVIA, S. 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. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.031>
13. HÖRZ, G.; KALLFASS, M. 2000. The treasure of gold and silver artifacts from the Royal Tombs of Sipán, Peru - A study on the Moche metalworking techniques. *Materials Characterization*. 45(4-5):391-419. [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00093-0](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00093-0)
14. KAKAKHEL, M.A.; WU, F.; GU, J.D.; FENG, H.; SHAH, K.; WANG, W. 2019. Controlling biodeterioration of cultural heritage objects with biocides: A review. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 143(2019):104721. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104721>
15. KARBOWSKA-BERENT, J.; GÓRNY, R.L.; STRZELCZYK, A.B.; WLAZŁO, A. 2011. Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives. *Building and Environment*. 46(10):1872-1879. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.03.007>
16. KONSA, K.; TIRRUL, I.; HERMANN, A. 2014. Wooden objects in museums: Managing biodeterioration situation. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 86(2014):165-170. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.023>
17. LABARCA, M.; SANABRIA, N.; ARCIA, A. 2006. Patogenicidad de *Pestalotiopsis palmarum* Cooke, sobre plantas de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 23:417-424
18. LIU, X.; MENG, H.; WANG, Y.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2018. Water is a critical factor in evaluating and assessing microbial colonization and destruction of Angkor sandstone monuments. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 133(2018):9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.05.011>
19. 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*. 18(2):136-145.
20. MENG, H.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2017. More wide occurrence and dominance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria at three Angkor sandstone temples of Bayon, Phnom Krom and Wat Athvea in Cambodia. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 117:78-88. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.012>
21. MENG, H.; LUO, L.; CHAN, H.W.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2016. Higher diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria detected at the Bayon Temple of Angkor Thom in Cambodia. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 115(2016):234-243. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.08.021>
22. MONTANARI, M.; MELLONI, V.; PINZARI, F.; INNOCENTI, G. 2012. Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 75:83-88. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.03.011>
23. OBRUCA, S.; MAROVA, I.; MATOUSKOVA, P.; HARONIKOVA, A.; LICHNOVA, A. 2012. Production of lignocellulose-degrading enzymes employing *Fusarium solani* F-552. *Folia Microbiologica*. 57(3):221-227.
24. PIÑAR, G.; PIOMBINO-MASCALI, D.; MAIXNER, F.; ZINK, A.; STERFLINGER, K. 2013. Microbial survey of the mummies from the Capuchin Catacombs of Palermo, Italy: biodeterioration risk and contamination of the indoor air. *FEMS Microbiology Ecology*. 86(2):341-356. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12165>
25. 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. <https://doi.org/10.1080/00173134.2011.643920>
26. SEQUEIRA, S.; CABRITA, E.J.; MACEDO, M.F. 2012. Antifungals on paper conservation: An overview. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 74(2012):67-86. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011>
27. SHIMADA, I.; HÄUSLER, W.; JAKOB, M.; MONTENEGRO, J.; RIEDERER, J.; WAGNER, U. 2003. Early pottery making in Northern Coastal Peru. Part IV: Mössbauer study of ceramics from Huaca Sialupe. *Hyperfine Interactions*. 150(1-4):125-139. <https://doi.org/10.1023/B:HYPE.0000007354.42840.ef>
28. STERFLINGER, K.; PIÑAR, G. 2013. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art - Tilting at windmills?

-
- Applied Microbiology and Biotechnology. 97(22):9637-9646.
<https://doi.org/10.1007/s00253-013-5283-1>
29. WARSCHEID, T.; BRAAMS, J. 2000. Biodeterioration of stone: A review. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 46(4):343-368.
[https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00109-8)
30. ZHU, H.; PHELAN, P.E.; DUAN, T.; RAUPP, G.B.; FERNANDO, H.J.S.; CHE, F. 2003. Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona, USA. *Aerobiologia*. 19(3-4):201-211.
<https://doi.org/10.1023/B:AERO.0000006571.23160.8a>