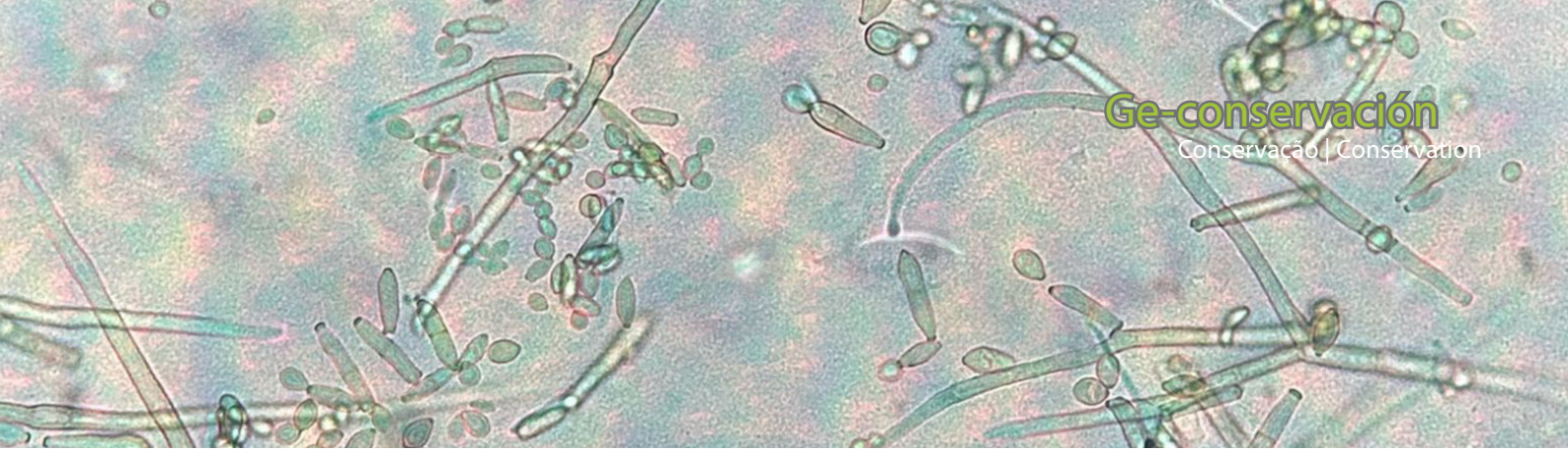


Ge-conservación
Conservação | Conservation

Evaluación aerobiológica del riesgo de biodeterioro fúngico en restos humanos momificados conservados en Colombia

Mariana Bedoya , Omar Ramírez, Lizeth Russy-Velandia, Sebastián Rivas, María Camila Patiño R

Resumen: Se evaluó la calidad microbiológica del aire en la reserva del Museo de Arqueología e Historia Natural Jaime Hincapié Santa María, donde se conservan restos humanos momificados. Se analizaron las condiciones microclimáticas, la concentración de microorganismos aerotransportados y la microbiota superficial. Para evaluar los microorganismos aerotransportados se utilizó muestreo por impactación, mientras que la microbiota se analizó mediante hisopado. Las concentraciones microbianas fueron significativamente mayores en el exterior que en el interior de la reserva, sugiriendo que el edificio actúa como una barrera frente a los bioaerosoles. Los hongos predominantes son comunes en museos y la presencia de algunos de estos, tanto en el aire como en los hisopados, sugiere procesos de transferencia. Aunque las unidades de almacenamiento pueden actuar como nivel de protección, la presencia de bioaerosoles representa un potencial riesgo de biodeterioro, lo que destaca la importancia del monitoreo ambiental como estrategia de conservación preventiva.

Palabras clave: Aerobiología, bioaerosoles, biodeterioro, conservación, hongos, restos humanos

Aerobiological Assessment of Fungal Biodeterioration Risk in Mummified Human Remains Preserved in Colombia

Abstract: This study evaluated the microbiological air quality in the Jaime Hincapié Santa María Museum of Archaeology and Natural History, where mummified human remains are preserved. Microclimatic conditions, concentration of airborne microorganisms and the surface microbiota of three individuals were analyzed using impactation and swab sampling. Microbial concentrations were significantly higher outside than inside the storage which suggests that the building acts as a partial barrier against bioaerosols. The predominant fungal genera found are common in museum environments. The presence of some of these genera in both the air and swab samples suggests transfer processes to the surface of the materials. Although storage units can act as a second level of protection, the presence of bioaerosols represents a potential risk of biodeterioration, highlighting the importance of environmental monitoring as a preventive conservation strategy.

Keywords: Aerobiology, bioaerosols, biodeterioration, conservation, fungi, human remains

Avaliação aerobiológica do risco de biodeterioração fúngica em restos humanos mumificados conservados na Colômbia

Resumo: Foi avaliada a qualidade microbiológica do ar na reserva do Museu de Arqueologia e História Natural Jaime Hincapié Santa María, onde se conservam restos humanos mumificados. Foram analisadas as condições microclimáticas, a concentração de microrganismos transportados pelo ar e a microbiota superficial. Para a avaliação dos microrganismos aerotransportados recorreu-se à amostragem por impactação, enquanto a microbiota superficial foi analisada através de colheita com zaragatoa. As concentrações microbianas foram significativamente mais elevadas no exterior do que no interior da reserva, sugerindo que o edifício funciona como uma barreira à entrada de bioaerossóis. Os fungos predominantes são comuns em museus e a presença de alguns destes, tanto no ar como nas amostras recolhidas por zaragatoa, sugere a ocorrência de processos de transferência. Embora as unidades de armazenamento possam constituir um nível adicional de proteção, a presença de bioaerossóis representa um potencial risco de biodeterioração, salientando a importância da monitorização ambiental enquanto estratégia de conservação preventiva.

Palavras-chave: aerobiologia, bioaerossóis, biodeterioração, conservação, fungos, restos humanos

Introducción

Los restos humanos momificados constituyen testimonios excepcionales de las sociedades y su concepción sobre la muerte en el pasado. Su estudio permite acceder a información valiosa sobre sistemas de creencias, técnicas de preservación corporal y sobre los hábitos y condiciones de vida de los antepasados. Desde una perspectiva arqueológica, la momificación es una práctica cultural que se ha registrado desde hace 7000 años y que aparece en casi todos los puntos del planeta (Martín & Santamaría 2012). Específicamente en Colombia, la práctica de la momificación se atribuye a diferentes comunidades, como los muiscas, con rituales que incluían procesos de enfardamiento y elaboración de máscaras sobre los cráneos (Tribín & Urrego 2023). Hasta el momento se ha reportado el hallazgo de cuerpos momificados en Villa de Leyva, Icabuco, Ubaque, Iguaque, Tunja, Sogamoso, Moniquirá y Tenza, permitiendo situar la práctica de momificación en las comunidades que habitaban la Cordillera Oriental de Colombia entre los siglos IV a.C. y 1600 d.C. (Correa 2004, como se cita en Jaimes 2024).

La momificación en grupos humanos de la Sabana de Bogotá, parece estar muy ligada a las élites gobernantes de los cacicazgos (Cardenas-Arrollo 1990; Gamboa 2013; Langebaek 1992, 2019; Londoño 1989). Así como estos individuos momificados formaban parte de las élites muiscas, también se transformaban en seres objeto de culto y en mediadores con el mundo de las deidades y los espíritus. Las momias, además de transmitir enseñanzas sobre cómo los muiscas desarrollaron sus prácticas funerarias, también son fuente de conocimiento de las creencias y tradiciones religiosas de este pueblo precolombino.

La Fundación Museo Arqueológico y de Historia Natural, Jaime Hincapié Santa María, posee entre sus bienes culturales, cuatro cuerpos momificados asociados a grupos prehispánicos que poblaron el norte del altiplano cundiboyacense y fueron adquiridos en la década de los 80 junto con lotes de piezas cerámicas y líticas, por lo que no se cuenta con documentación asociada a estas momias. Sin embargo, la cultura material asociada a estos cuerpos, permite establecer el vínculo con los muiscas que habitaron los territorios del norte de Boyacá, una zona en donde la práctica de la momificación se hizo muy popular durante los periodos muisca temprano, tardío y colonial. En particular, una de las momias (No3) registra una fecha de radiocarbono de 300 +/-30 BP (1481– 1660 cal AD 95.2 %) y (1520 – 1587 cal AD 50.6 %) situándola en el periodo Colonial. El análisis radiocarbónico se realizó sobre una muestra de la pieza dental No. 28. La edad convencional fue calibrada con BetaCal 5.0 mediante el método High Probability Density Range (HPD) (Ramsey 2009), empleando la combinación de curvas INTCAL20 + NHZ3 (Reimer *et al.* 2020; Hua *et al.* 2022). Como resultado, se obtuvo un intervalo cronológico principal de 1481–1660 cal AD (468–289 cal BP).

Además del impacto provocado por prácticas de saqueo que han descontextualizado y eliminado valiosa información sobre las sociedades del pasado, la conservación de cuerpos momificados plantea desafíos particulares debido a su alta vulnerabilidad frente a diversos agentes de deterioro, especialmente de origen biológico. La naturaleza orgánica de estos materiales los hace especialmente susceptibles a procesos de degradación, por lo que su conservación exige enfoques técnicos especializados y estrategias de manejo integral que garanticen su preservación a largo plazo. La actividad metabólica de comunidades microbianas sobre este tipo de materiales arqueológicos es una causa importante de daños a través de procesos químicos o mecánicos, fenómeno conocido como biodeterioro (Sterflinger & Pinar, 2013). Este proceso se ve acentuado cuando los restos momificados se almacenan en condiciones ambientales inadecuadas, como ocurre frecuentemente en climas tropicales (Kakakhel *et al.* 2019).

En este contexto, la calidad del aire interior en espacios de almacenamiento y exposición de restos humanos y materiales arqueológicos, adquiere un papel central ya que puede influir significativamente en el estado de conservación de las piezas (Zorpas & Skouroupatis 2016). Estudios sobre análisis microbiológicos en espacios como museos, archivos y bibliotecas han demostrado cómo altos niveles de carga microbiana en el aire y su potencial germinación y colonización de los materiales, pueden representar riesgos para la conservación de objetos históricos y también para la salud del personal de las instituciones (Mallo *et al*. 2020; Skóra *et al.* 2015). En estudios realizados en espacios museológicos, los hongos han sido identificados como el grupo microbiano predominante, destacando su capacidad de dispersión aérea, los cuales suelen ser cosmopolitas y provienen de diversas fuentes como el polvo, los materiales almacenados, la presencia de personas y los sistemas de ventilación (Kumar *et al.* 2022). En contextos específicos como los museos en Lambayeque (Perú), se ha documentado que hongos y bacterias representan un riesgo potencial tanto para los materiales arqueológicos como para los trabajadores encargados de su manejo (Farro-Barbaran *et al.* 2021).

No obstante, la información sobre la contaminación microbiológica en espacios museológicos es aún limitada. La dificultad puede estar relacionada con la gran variabilidad entre edificios, colecciones, concentración de polvo y condiciones ambientales de los lugares, lo que influye directamente en los niveles y tipos de microorganismos presentes (Skóra *et al.* 2015). Entre las variables ambientales relacionadas con los procesos de biodeterioro, se ha reportado que incrementos significativos en la humedad de los materiales, la ventilación insuficiente y una humedad relativa superior al 65%, incrementan la vulnerabilidad de los materiales patrimoniales (Mallo *et al.* 2020).

Los estudios dirigidos específicamente al análisis de la degradación microbiana en restos momificados aún son escasos. Algunas investigaciones han documentado la

presencia de microorganismos en tejidos momificados (Palla *et al.* 2011; Piñar *et al.* 2013; Šimonovičová *et al.* 2015), resaltando la ocurrencia de los hongos filamentosos y su papel en la descomposición de tejidos blandos por su gran potencial enzimático para degradar materiales orgánicos. Se ha reportado que estos microorganismos no solo representan un riesgo para la preservación de los restos humanos, sino que también su crecimiento sobre los materiales contribuye a la acumulación de contaminantes biológicos en el ambiente circundante (Górny *et al.* 2002; Piñar *et al.* 2013; Šimonovičová *et al.* 2015). Por ello, la evaluación de la calidad del aire interior se vuelve fundamental, no solo para la conservación del patrimonio arqueológico sino también para evaluar y mitigar los riesgos sanitarios a los que están expuestos los trabajadores, investigadores y visitantes que acceden a los espacios donde se almacenan restos momificados.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la calidad microbiológica del aire en la sala de almacenamiento del Museo de Arqueología e Historia Natural, Jaime Hincapié Santa María (Colombia), donde se conservan restos humanos momificados. A través de la aproximación al análisis de los factores medio ambientales y la carga microbiana del aire tanto en el exterior como en el interior del recinto y de las unidades de almacenamiento de tres individuos seleccionados, se busca identificar posibles riesgos de biodeterioro que comprometan la integridad del patrimonio arqueológico conservado.

Materiales y métodos

— *Lugar de estudio*

La Fundación Museo de Arqueología y de Historia Natural, Jaime Hincapié Santa María, se ubica en el municipio de Pasca, Cundinamarca (Colombia). Las temperaturas en la región oscilan entre los 11,3 °C y los 22,3 °C durante todo el año, mientras que la humedad relativa varía desde 72 % hasta 83 %. El museo presenta una estructura física distribuida en tres niveles, con ventilación natural. El primer nivel alberga las zonas dedicadas a la exhibición arqueológica, el segundo nivel comprende una sección de la colección de ciencias naturales y la reserva documental y, en el último nivel, se localiza el área designada para las dos reservas del museo. La primera reserva de este piso contiene una porción de la colección de ciencias naturales y algunas urnas arqueológicas de dimensiones considerables. La segunda reserva, reúne los vestigios arqueológicos de la colección, cuyo contenido principal consiste en los tres restos momificados atribuidos a las culturas Muisca y Guane, los cuales se encuentran almacenados individualmente en unidades de dimensiones 66 cm x 40 cm x 38 cm, elaboradas con lámina de polipropileno con recubrimiento interior de tela quirúrgica y constituyen el objeto de estudio [Figura 1]. El acceso a la reserva está restringido al público general, permitiéndose únicamente el ingreso de personal técnico e investigadores. Así mismo, se realizan jornadas periódicas de limpieza locativa, sin intervenir ni manipular los bienes arqueológicos almacenados.



Figura 1.- A. Ambiente exterior del Museo de Arqueología y de Historia Natural, Jaime Hincapié Santa María. B. Reserva de almacenamiento. C. Unidades de almacenamiento de los restos momificados.

Monitoreo de condiciones ambientales

Se registraron las condiciones de temperatura y humedad relativa en el área de almacenamiento de los restos humanos momificados mediante dos equipos dataloggers LCD ThermaData® HTD instalados en diferentes ubicaciones dentro del área de almacenamiento, durante abril de 2025, periodo que forma parte de la primera temporada de lluvias en la región andina de Colombia, caracterizada por un incremento estacional de las precipitaciones y de la humedad ambiental. El primer datalogger se posicionó en la estantería donde se encuentran los individuos, con el fin de caracterizar las condiciones ambientales de la sala (con dimensiones 9,90 m x 3,58 m), mientras que un segundo datalogger se ubicó en el interior de la unidad de almacenamiento del individuo identificado como (MOMIAG_1) con el fin de registrar las condiciones microclimáticas en el espacio cerrado.

Para el análisis de las condiciones ambientales asociadas a la campaña de muestreo microbiológico, se utilizaron los registros correspondientes al periodo comprendido entre el 15 al 19 de abril del 2025, durante el cual se realizó la toma de muestras por impactación. Para este periodo se consideraron los registros obtenidos en horario diurno, correspondientes a 13 observaciones diarias por ubicación: seis registros entre las 6 h a las 11 h, y siete registros entre las 12 h a las 18 h, para un total de 65 observaciones por ubicación (n = 65).

Para la caracterización de las condiciones ambientales exteriores, se utilizaron los registros oficiales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) correspondientes al periodo comprendido entre el 1 al 30 de abril del 2025 de la estación de meteorológica de Pasca.

Muestreo aerobiológico

Se utilizó el muestreador microbiológico de aire MAS 100 Merck para la toma de muestras por impactación. El equipo fue programado para tomar un volumen de 100 L de aire por muestra, utilizando cajas de Petri de 90 mm con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar). Se seleccionaron dos puntos de muestreo para el método de impactación: el primero, en el interior de la reserva, ubicado a 95 cm del muro donde se encuentra la estantería y a 90 cm de altura; el segundo punto de muestreo se ubicó en la parte externa del museo, bajo una de las ventanas que da a la reserva con dimensiones de 1,20 m de alto x 65 cm a 90 cm del suelo con el fin de comparar la carga microbiológica interior y exterior [Figura 2]. El muestreo se realizó por duplicado durante cinco días consecutivos, efectuando dos jornadas de muestreo por día, una en la mañana y otra en la tarde. Cada jornada correspondió a una observación independiente por ambiente. De esta manera, se obtuvieron diez observaciones por ambiente (n = 10; cinco días × dos jornadas diarias). Terminada la campaña



Figura 2.- Esquema de toma de muestras en el exterior de la reserva del museo. La ventana permanece cerrada constantemente.

de muestreo, los cultivos fueron sellados y transportados al Laboratorio Interdisciplinar del Patrimonio Cultural (LIPAC) en Bogotá para ser incubados a 25 °C durante 8 días.

Cuantificación e identificación de microorganismos cultivables

Luego de la incubación, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC) en los medios de cultivo para estimar la concentración de hongos y bacterias por m^3 de aire. Se realizó la conversión directa de UFC/100L a UFC/m^3. La identificación de los hongos filamentosos a nivel de género se realizó visualmente por tinción con azul de lactofenol y observación al microscopio óptico utilizando aumentos de 10 y 40x (Kumar *et al.* 2022). Para las bacterias, se empleó la tinción de Gram.

— *Análisis estadístico*

El procesamiento y análisis de los datos se realizó en R mediante RStudio (versión 2025.05.1+513; Posit Software, PBC), utilizando los paquetes t*idyverse, readxl, rstatix, ggpubr, broom* y *lubridate*. Los datos ambientales y microbiológicos fueron depurados, estandarizados y clasificados según la ubicación y la técnica de muestreo. Los análisis estadísticos relacionados con la concentración microbiana se aplicaron únicamente a las variables cuantitativas obtenidas mediante impactación en los ambientes exterior e interior, mientras que los datos correspondientes a la unidad de almacenamiento se analizaron de forma descriptiva y cualitativa, de acuerdo con el tipo de muestreo realizado. Las condiciones ambientales se caracterizaron mediante estadística descriptiva (n, media, desviación estándar, mínimo y máximo) para cada ubicación. La relación entre temperatura y humedad relativa se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal simple, de forma independiente para el exterior, interior y unidad de almacenamiento.

Para la concentración microbiana obtenida mediante impactación en los ambientes exterior e interior se calcularon estadísticas descriptivas y se evaluaron las diferencias entre ambientes mediante la prueba t de Welch y ANOVA de una vía. Las concentraciones se clasificaron según los rangos de calidad microbiológica del aire propuestos por la *Commission of the European Communities* (1993). Finalmente, la asociación entre las variables ambientales y la concentración de microorganismos aerotransportados se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Spearman únicamente para los ambientes exterior e interior.

— *Diagnóstico de estado de conservación de los restos humanos momificados*

Para cada uno de los individuos se realizó una inspección para identificar indicadores de deterioro de tipo físico, químico y biológico. Los tres individuos presentaron un estado de conservación similar, caracterizado por depósitos superficiales de suciedad, pérdida de soporte, perforaciones, cortes y descosidos en los fardos funerarios, así como alteraciones cromáticas. Adicionalmente, se observaron pupas secas de insectos y evidencias compatibles con una posible colonización microbiológica, representadas por depósitos de textura algodonosa y pulverulenta sobre la superficie de los materiales. A partir de estos posibles indicadores de presencia microbiana, tales como manchas y texturas algodonosas, se realizó un análisis microbiológico superficial tomando una muestra por hisopado (texturas algodonosas, pulverulentas de tonalidades blancas a crema). Las muestras fueron depositadas por siembra masiva superficial en medio PDA y transportadas al LIPAC para ser incubadas a 25 °C durante 15 días. La caracterización de los microorganismos aislados se realizó morfológicamente por tinción de Gram para bacterias y tinción con azul de lactofenol para hongos.

Los datos obtenidos mediante hisopado se analizaron de forma descriptiva y cualitativa, reportando la presencia de los géneros microbianos identificados. Si bien el muestreo se realizó de manera independiente en cada unidad, los resultados se integraron para su análisis e interpretación, por lo que se presentan de forma conjunta y no discriminados por unidad de almacenamiento

Resultados y discusión

— *Concentración de microorganismos aerotransportados*

Las concentraciones de microorganismos aerotransportados obtenidas en las áreas de estudio mediante impactación se presentan en la Tabla 1.

Ubicación	Media (UFC/m^3)	SD	Min	Max	n
Exterior	771.5	220	455	1150	10
Interior	484	278	215	935	10

Tabla 1.- Concentración de microorganismos aerotransportados (UFC/m^3) obtenida mediante impactación

El ambiente exterior presentó una concentración media de 771.5 ± 220 UFC/m^3, mientras que el ambiente interior mostró un promedio de 484 ± 278 UFC/m^3. Las diferencias entre ambos ambientes fueron estadísticamente significativas, de acuerdo con la prueba t para muestras independientes ($t = 2.56$, $p = 0.020$). Este resultado fue respaldado por el análisis de varianza de una vía ($F = 6.58$, $p = 0.019$), lo que indica de manera concordante que la concentración de microorganismos aerotransportados difiere significativamente entre los ambientes evaluados, con mayores valores en el exterior.

La distribución de los valores de UFC/m³ para ambos ambientes se muestra en la [Figura 3], donde se observa una mayor concentración y dispersión de microorganismos en el exterior en comparación con el interior.

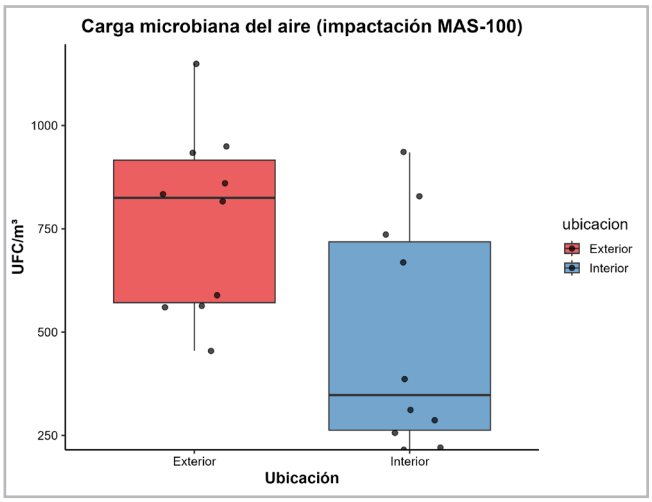


Figura 3.- Concentración de microorganismos aerotransportados (UFC/m³) en los ambientes exterior e interior determinado mediante muestreo por impactación activa (MAS-100).

El patrón observado, con mayores concentraciones en el exterior, es consistente con lo reportado en estudios de bioaerosoles, donde los ambientes exteriores presentan mayores cargas microbianas debido a fuentes naturales como suelo, vegetación y resuspensión de partículas orgánicas (Hospodsky *et al.* 2012; Peccia y Hernández, 2006), mientras que los interiores tienden a mostrar valores menores por barreras físicas y menores concentraciones de contaminantes procedentes del exterior.

Los valores promedio registrados en el exterior (771,5 UFC/m³) se ubicaron dentro del rango considerado como alto nivel de contaminación microbiológica del aire según la clasificación propuesta por la Commission of the European Communities (1993). Concentraciones similares han sido reportadas en estudios de aerobiología en ambientes urbanos y en espacios culturales, donde la dinámica atmosférica, el tránsito de personas y la resuspensión de partículas pueden favorecer la presencia de microorganismos viables en el aire (Gorbushina, 2007; Sterflinger, 2010; Ladino-Quintero *et al.* 2024; Ramírez *et al.* 2025).

Skóra *et al.* (2015), comunicaron la concentración de microorganismos en el aire de un museo en Polonia alrededor de 2,19 x 10^2 y 7,09 x 10^3 UFC/m³ , mientras que en criptas con restos humanos momificados en Eslovaquia, los análisis micológicos han arrojado valores promedio de 960 UFC/m³ en el aire (Simonovicova *et al.* 2015). Farro-Barbaran *et al.* (2021), registraron concentraciones de hasta 1,3 x 10^3 UFC/m³ en el aire interior de los almacenes de material arqueológico del museo de tumbas reales de Sipán (Perú), utilizando la técnica de sedimentación. Por su parte, en Argentina el análisis de la carga fúngica en las salas y el exterior del Museo de la Plata, mostró un promedio anual de 31158,90 UFC/m³ para las salas y 28046 UFC/m³ en el exterior, utilizando un muestreador tipo HirstZefon Z-Lite IAQ Air SamplingPump® (Mallo *et al*. 2020). Si bien los resultados de estos estudios no son estrictamente comparables debido a las diferencias en las metodologías de muestreo, constituyen un referente útil sobre las concentraciones de microorganismos en ambientes con almacenamiento de restos humanos momificados alrededor del mundo.

Las diferencias entre las concentraciones de microorganismos aerotransportados en el exterior y el interior de la reserva del museo sugieren que el espacio de almacenamiento está funcionando parcialmente como una barrera al ingreso de bioaerosoles ambientales provenientes del ambiente circundante. Este comportamiento es coherente con el enfoque de conservación preventiva basado en capas de control del entorno, según el cual cada nivel desde el ambiente exterior hasta el contenedor del objeto contribuye a reducir la exposición a agentes de deterioro (Rose *et al.* 2019). No obstante, estas concentraciones en el interior siguen representando un factor de riesgo para los materiales orgánicos, ya que los bioaerosoles pueden depositarse y colonizar superficies cuando las condiciones ambientales les son favorables.

De acuerdo con la clasificación propuesta por la Commission of the European Communities (1993), la mayoría de las muestras se ubicaron en la categoría de alto nivel de contaminación microbiológica (500–2000 UFC/m³). La distribución de las categorías de riesgo para cada ambiente se muestra en la [Figura 4]. Este patrón sugiere una exposición ambiental significativa a bioaerosoles viables en ambos espacios evaluados, lo cual es relevante desde la perspectiva de conservación preventiva, ya que niveles elevados de carga microbiana pueden incrementar la deposición de microorganismos sobre superficies y, bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, favorecer procesos de colonización y biodeterioro de materiales orgánicos (Gorbushina 2007; Sterflinger 2010; Hospodsky *et al.* 2012).

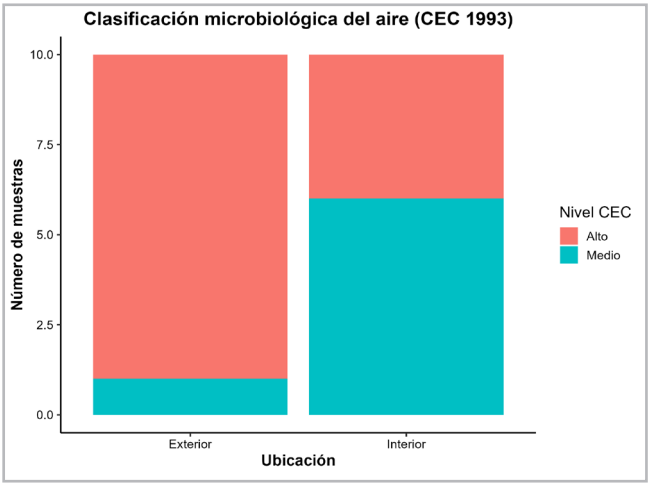


Figura 4.- Clasificación de la calidad microbiológica del aire en los ambientes exterior e interior según los criterios de la Commission of the European Communities (1993).

Presencia de microorganismos cultivables

La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos en la identificación de los microorganismos presentes en las muestras de aire y de la superficie de los restos momificados.

Microorganismo	Exterior (Calle/ Impactación)	Interior (Sala/ Impactación)	Hisopado
Acremonium sp.			
Aspergillus flavus			
Aspergillus fumigatus			
Cladosporium sp.			
Micelio estéril			
Penicillium sp.			
Levaduras			
Rhizoctonia sp.			
Fusarium sp.			
Trichoderma sp.			
Bacilos Gram positivos			
Cocos Gram positivos			

Tabla 2.- Distribución espacial de microorganismos en ambientes interiores (sala), exteriores (calle) y unidades de almacenamiento (hisopado superficial de los tres individuos en estudio). Verde (Ubicuo): Presente en exterior + interior (ambientes principales). Amarillo (Recurrente): Presente en ambientes + almacenamiento (caja/hisopado). Naranja (Localizado): Solo en 1 tipo de sitio (ej. solo exterior, solo interior, o solo hisopado). Rojo (Exclusivo): Solo en almacenamiento (sin aparición en ambientes principales).

La identificación de los microorganismos detectados en los puntos de muestreo permite interpretar las posibles fuentes y dinámicas de dispersión microbiana dentro de la reserva. Se identificaron géneros fúngicos ubicuos en los ambientes exterior e interior, como *Acremonium, Cladosporium, Penicillium, Trichoderma, Mycelia sterilia*, así como bacterias y levaduras, lo que sugiere una circulación general de bioaerosoles entre el entorno exterior y el interior de la reserva, favorecida tanto por las corrientes de aire como por el ingreso ocasional de personal. La presencia de estos hongos en ambientes interiores sugiere que las condiciones del entorno exterior influyen en la concentración de hongos dentro de los edificios. Factores como la vegetación, la circulación vehicular, las actividades humanas y las dinámicas de ventilación del edificio pueden determinar la carga de bioaerosoles (Kumar et al. 2022).

Diversos estudios sobre aerobiología en espacios patrimoniales han reportado que los géneros fúngicos más frecuentes en ambientes interiores incluyen *Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Fusarium y Rhizopus* [Figura 5], aunque la composición y abundancia pueden variar entre instituciones y espacios de almacenamiento (Farro-Barbaran *et al.* 2021; Mallo *et al.* 2020; Šimonovičová *et al.* 2015; Skóra *et al.* 2015). Coinciden los hallazgos de este estudio con los informes de la presencia de *Acremonium sp*., y hongos considerados micelio estéril en ambientes interiores de un museo arqueológico (Mallo *et al.* 2020). Algunos de estos hongos pueden tener implicaciones para la salud humana, ya que algunas de sus especies se asocian directamente con enfermedades respiratorias y otras complicaciones (Kumar *et al*. 2022), especialmente el género Aspergillus detectado en los ambientes.

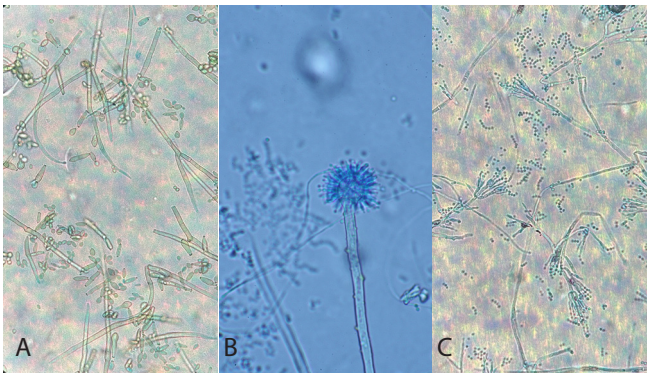


Figura 5.- Características microscópicas de los hongos filamentosos aislados de ambientes. *A. Cladosporium sp. B. Aspergillus sp. C. Penicillium sp.* 40x. Fuente: Autores.

Algunos aislamientos mostraron una distribución localizada como *Aspergillus flavus, Aspergillus fumigatus* y *Rhizoctonia sp*., detectados únicamente en el exterior del museo, lo que respalda la hipótesis de que parte de la carga microbiana proveniente del ambiente circundante es parcialmente atenuada por el edificio. La detección de *Fusarium sp*. exclusivamente en el interior podría indicar microhábitats favorables dentro de la reserva. De particular interés para la evaluación del riesgo de biodeterioro de los restos momificados, es la presencia de *Cladosporium sp.* y *Penicillium sp*, tanto en las muestras de aire como en los hisopados de los individuos almacenados, y que sugiere procesos de deposición y persistencia de estos microorganismos en los materiales, aunque no necesariamente estén desarrollándose y causando degradación. Algunos autores han destacado la capacidad de estos organismos identificados como agentes de degradación debido a su variada actividad enzimática (Guiamet *et al.* 2014; Mallo *et al.* 2020).

Los estudios sobre comunidades fúngicas asociadas a restos humanos momificados han mostrado que los microorganismos aislados de diferentes materiales, incluyendo textiles, músculos, piel y huesos, pertenecen

principalmente a los filos *Ascomycota, Zygomycota* y *Basidiomycota* (Guiamet *et al.* 2014; Šimonovičová *et al.* 2015). Estos materiales constituyen sustratos particularmente susceptibles al crecimiento microbiano por contener celulosa y otros compuestos orgánicos que pueden ser utilizados como fuente nutricional por hongos. Entre los principales degradadores se encuentran los géneros Aspergillus, Penicillium y Trichoderma (Šimonovičová *et al.* 2015), coincidiendo con los hallazgos de este estudio. La piel momificada también representa un sustrato favorable para el desarrollo fúngico debido a su alto contenido de proteínas y lípidos, permitiendo el crecimiento de diversos organismos (Piñar *et al*. 2013). La predominancia de hongos como Penicillium y Aspergillus en restos humanos momificados, se explica por su carácter xerofílico, que les permite adaptase a las condiciones de baja disponibilidad de agua, típicas de los tejidos momificados, lo que subraya su relevancia como potenciales agentes de biodeterioro (Šimonovičová *et al.* 2015).

Merece la pena resaltar el hecho de que en los hisopados obtenidos de la superficie de los restos almacenados, se haya detectado solo un subconjunto de los géneros presentes en el aire de los ambientes interior y exterior, sugiriendo que las unidades de almacenamiento podrían estar actuando como un segundo nivel de contención o protección, limitando la transferencia directa de parte de la carga microbiana ambiental hacia los restos momificados. Por otra parte, la detección exclusiva de cocos Gram positivos en los hisopados, podría reflejar contaminación asociada al manejo humano o a la microbiota propia de los restos [Figura 6].

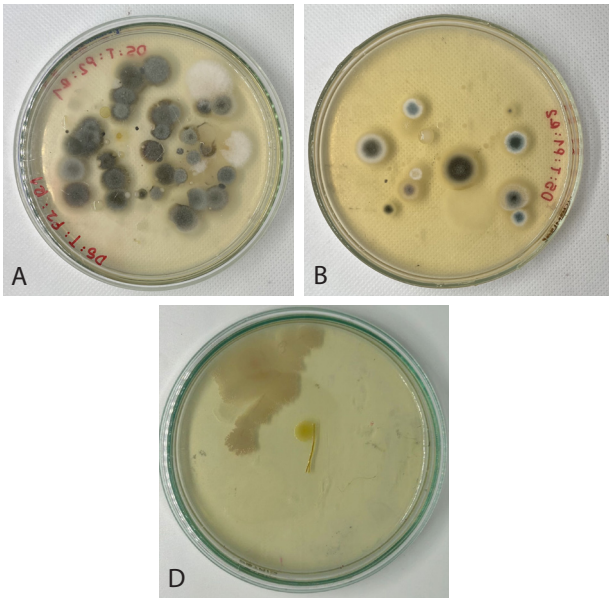


Figura 6.- Comparación del crecimiento microbiano obtenido en los cultivos en el día 5 de muestreo. A. Muestra de aire exterior. B. Muestra de aire interior en la reserva. C. Muestra hisopado superficial en los restos momificados (MOMIA_1).

Los resultados de este estudio evidencian que tanto las condiciones microclimáticas como la ubicación del muestreo influyen en la dinámica de los bioaerosoles en los ambientes evaluados. Estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear las condiciones ambientales y microbiológicas en espacios asociados a la conservación de patrimonio cultural, ya que la presencia de microorganismos en el aire puede representar un factor potencial de biodeterioro para los materiales orgánicos y arqueológicos almacenados en estos espacios (Sterflinger 2010).

Condiciones ambientales en los lugares de muestreo

Durante el mes de abril de 2025, los registros ambientales disponibles mostraron valores promedio de humedad relativa de 66,98 ± 20,47 % y temperatura de 16,99 ± 3,38 °C en el exterior; 71,64 ± 6,57 % y 21,36 ± 2,00 °C en el interior; y 70,49 ± 3,46 % y 20,35 ± 1,68 °C en la unidad de almacenamiento. Estos valores corresponden al promedio mensual de los registros disponibles para abril de 2025. Por otra parte, las condiciones ambientales registradas durante la semana de muestreo microbiológico por impactación (15 al 19 de abril de 2025) se resumen en la Tabla 3. Durante este periodo, la humedad relativa promedio fue de 65,8 ± 19,6 % en el exterior, 67,3 ± 6,16 % en el interior y 70,3 ± 3,25 % en la unidad de almacenamiento. En cuanto a la temperatura, el ambiente exterior presentó una media de 17,2 ± 3,21 °C, mientras que el interior y la unidad de almacenamiento registraron valores promedio de 23,0 ± 2,14 °C y 22,0 ± 1,93 °C, respectivamente.

En contextos de conservación de patrimonio, se ha señalado que condiciones ambientales estables con temperaturas moderadas (~15 - 25 °C) y niveles de humedad relativa entre 40 % y 60 % son generalmente adecuadas para la preservación de materiales culturales, particularmente aquellos de naturaleza orgánica (ICOM-CC; IIC, 2014). En este sentido, la humedad relativa promedio registrada al interior de las unidades de almacenamiento (70,3 %) supera el rango recomendado, constituyendo un factor de riesgo para el desarrollo y la actividad de microorganismos y, en consecuencia, para favorecer los procesos de biodeterioro en los restos. No obstante, revisiones recientes han señalado que estos rangos deben interpretarse como referencias generales más que como valores universales, ya que su aplicabilidad depende de factores como el clima local, las características de la colección y la historia microclimática del sitio (Dalla *et al*. 2025).

Asimismo, el ASHRAE (2019) (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) destaca que la humedad relativa constituye el principal factor que favorece el crecimiento biológico, mientras que la temperatura influye en la velocidad de los procesos de deterioro.

Ubicación	n	HR media (%)	HR SD	HR min	HR max	T media (°C)	T SD	T min	T max
Exterior	65	65,78	19,62	38	100	17,20	**3,21**	**8**	**22**
Interior	65	67,33	6,16	50,8	78,4	23,03	2,14	19,4	27,3
Unidad almacenamiento	65	70,26	3,25	61,9	82,4	22,02	1,93	19,7	27,3

Tabla 3.- Caracterización microclimática de los ambientes evaluados a partir de temperatura y humedad relativa.

Análisis de la relación entre temperatura y humedad relativa

La relación entre temperatura y humedad relativa se evaluó de manera independiente para cada uno de los ambientes monitoreados. Se observó una correlación negativa fuerte en el ambiente exterior (r= −0,897, p< 0,001), mientras que en el interior del museo se presentó una correlación negativa débil (r= −0,375, p= 0,002). En la unidad de almacenamiento también se observó una correlación negativa débil (r= −0.356, p= 0,004). La magnitud de las correlaciones se interpretó de acuerdo con los criterios propuestos por Schober *et al.* (2018). Estos resultados muestran que la relación entre temperatura y humedad relativa presentó diferente magnitud entre los tres ambientes evaluados. Esta diferencia se observa en la [Figura 7], donde las nubes de puntos y las líneas de ajuste muestran comportamientos diferenciados entre el exterior, el interior y la unidad de almacenamiento.

La relación inversa observada entre temperatura y humedad relativa es consistente con la relación física entre ambas variables, dado que, para una cantidad determinada de vapor de agua en el aire, los cambios en la temperatura modifican la humedad relativa (ASHRAE 2019). En este sentido, las asociaciones observadas reflejan una relación conjunta entre temperatura y humedad relativa dentro de la dinámica microclimática de los ambientes evaluados, aunque la magnitud de esta relación difirió entre ellos (Dalla *et al.* 2025). Estas condiciones microclimáticas pueden tener implicaciones para la estabilidad ambiental del sistema y para la persistencia de microorganismos aerotransportados, particularmente en condiciones de humedad relativa elevada, las cuales han sido asociadas con cambios en la presencia y dinámica de microorganismos en ambientes interiores (Hospodsky *et al*. 2012).

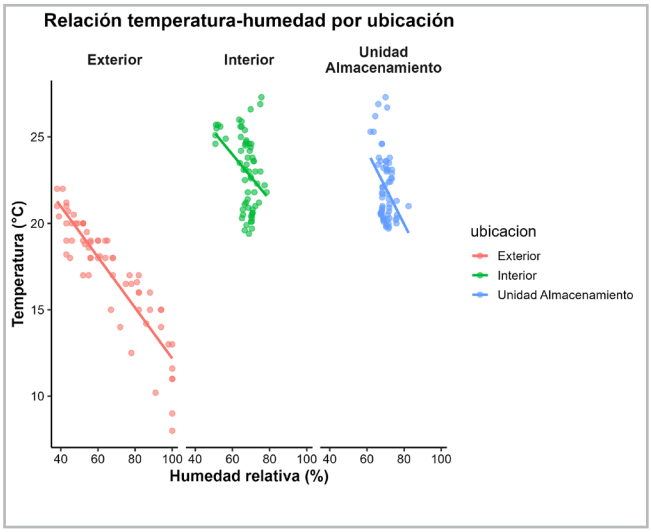


Figura 7.- Relación entre la humedad relativa (%) y la temperatura (°C) en los ambientes exterior, interior y unidad de almacenamiento del sitio de estudio. Las líneas continuas representan el ajuste de la regresión lineal para cada ambiente.

Relación entre variables ambientales y concentración microbiana (análisis de correlación de Spearman)

La relación entre humedad relativa y concentración microbiana no mostró una asociación significativa (ρ= −0,013, p= 0,95). En contraste, se observó una correlación negativa moderada y estadísticamente significativa entre la temperatura y la concentración de UFC/m^3 (ρ = −0.576, p = 0.008), de acuerdo con los criterios de interpretación del coeficiente de correlación descritos por Schober et al. (2018). Dentro del rango de temperaturas evaluado, los valores más altos de temperatura se asociaron con menores concentraciones de microorganismos aerotransportados. Las temperaturas utilizadas en este análisis oscilaron entre 14,0 y 21,5 °C en el ambiente exterior (17,6 ± 2,96 °C) y entre 21,4 y 26,1°C en el ambiente interior (23,7 ± 2,16 °C). Por tanto, la asociación observada debe interpretarse dentro del rango de condiciones térmicas representado en el periodo de muestreo. Esta relación no implica causalidad, sino una asociación estadística entre las variables evaluadas.

Este resultado podría estar relacionado con la influencia de las condiciones ambientales sobre la viabilidad y dinámica de los microorganismos presentes en el aire; sin embargo, se requieren estudios con un rango térmico más amplio para determinar si esta asociación se mantiene bajo diferentes condiciones ambientales.

Conclusiones

El estudio aerobiológico en la reserva del museo permitió caracterizar las condiciones microclimáticas y la carga microbiana presente en los ambientes asociados al

almacenamiento de restos humanos momificados. Las concentraciones de microorganismos aerotransportados fueron significativamente mayores en el exterior que en el interior de la reserva, lo que sugiere que el edificio funciona parcialmente como una barrera frente al ingreso de bioaerosoles provenientes del exterior. Sin embargo, los valores registrados en el interior de la reserva evidencian la presencia de microorganismos con potencial riesgo de daño en los materiales orgánicos almacenados.

La microbiota detectada estuvo dominada por los géneros fúngicos comúnmente reportados en ambientes museales como *Cladosporium, Penicillium, Acremonium* y *Trichoderma*. La presencia de *Cladosporium sp*. y *Penicillium sp*. tanto en el aire como en los hisopados obtenidos de los restos, sugiere un posible origen exógeno, probablemente asociado con su transporte desde el ambiente exterior mediante corrientes de aire. Esta hipótesis es consistente con la ubicación del sitio de estudio, rodeado de áreas con abundante vegetación y actividades agrícolas, las cuales constituyen reservorios naturales de propágulos fúngicos que pueden dispersarse e ingresar a la reserva.

No obstante, la detección de solo un subconjunto de los microorganismos del aire en los restos, indica que las unidades de almacenamiento podrían estar actuando como un segundo nivel de protección frente a la microbiota transportada. Los resultados evidencian que, si bien existen mecanismos de contención parcial, la presencia de bioaerosoles en el ambiente constituye un riesgo potencial de biodeterioro para los restos momificados. Las condiciones ambientales registradas, caracterizadas por valores elevados de humedad relativa y las concentraciones fúngicas detectadas, evidencian un escenario que podría favorecer el establecimiento y desarrollo de microorganismos sobre los materiales orgánicos que conforman los restos humanos momificados y sus fardos funerarios, incrementando el riesgo de biodeterioro.

Aunque los géneros identificados corresponden a microorganismos cosmopolitas frecuentes en ambientes museales, los niveles de contaminación registrados resaltan la importancia de implementar estrategias de conservación preventiva orientadas al control de la humedad relativa y al monitoreo periódico de las condiciones ambientales y microbiológicas. En este contexto, como resultado de este estudio se recomendó al museo fortalecer el seguimiento de la humedad relativa tanto en la reserva como al interior de las unidades de almacenamiento y adoptar medidas de control pasivo, como el uso de deshumidificadores y gel de sílice, especialmente durante los periodos de mayor humedad asociados a las temporadas de lluvia.

Referencias

ASHRAE (2019). Chapter 24. Museums, galleries, archives, and libraries. ASHRAE Handbook—HVAC Applications. S.l.: s.n., 1-46.

CARDENAS-ARROLLO, F. (1990). La momia de Pisba Boyacá. *Boletín Museo Del Oro*, 27, 2–13

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. (1993). Indoor air quality and its impact on man: Biological particles in indoor environments (Report No. 12). Luxembourg: Commission of the European Communities.

CORREA, F. (2004). Ancestros e íconos. En F. Correa, E*l sol del poder: Simbología y política entre los Muiscas del norte de los Andes*. Universidad Nacional de Colombia. https://doi.org/10.22380/2539472X.1228

DALLA MORA, T., DE VIVO, M. A., SCARPA, M., & PERON, F. (2025). Critical review of the application of the principal international standards and guidelines on indoor microclimates for the preventive conservation of cultural heritage. *Sustainability*, 17(3):1189. https://doi.org/10.3390/su17031189

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. Revista *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1533

GAMBOA, J. A. (2013). El cacicazgo Muisca en los años posteriores a la Conquista: del Psihipqua al cacique colonial, 1537 – 1575 (2nd ed.). Colección Espiral. ICANH. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá.

GORBUSHINA AA. (2007). Life on the rocks. Environ Microbiol. Jul;9(7):1613-31. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01301.x.

GÓRNY, R. L., REPONEN, T., WILLEKE, K., SCHMECHEL, D., ROBINE, E., BOISSIER, M., & GRINSHPUN, S. A. (2002). Fungal Fragments as Indoor Air Biocontaminants. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(7): 3522-3531. https://doi.org/10.1128/AEM.68.7.3522-3531.2002

GUIAMET, P., IGARETA, A., BATTISTONI, P., & GÓMEZ DE SARAVIA, S. (2014). Fungi and bacteria in the biodeterioration of archeological fibers. Analysis using different microscopic techniques. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(4): 376-377. https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70097-5

HOSPODSKY D, QIAN J, NAZAROFF WW, YAMAMOTO N, BIBBY K, *et al.* (2012) Human Occupancy as a Source of Indoor Airborne Bacteria. PLOS ONE 7(4): e34867. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034867

HUA, Q., TURNBULL, J., SANTOS, G., RAKOWSKI, A., ANCAPICHÚN, S., DE POL-HOLZ, R., *et al.* (2022). Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2019. *Radiocarbon*, 64(4): 723–745. https://doi.org/10.1017/RDC.2021.95

International Institute for Conservation (IIC) & International Council of Museums - Committee for Conservation (ICOM-CC). (2014). Declaration on environmental guidelines.

JAIMES BAQUERO, A. (2024). Hoy los ancestros vuelven a la tierra: caracterización y documentación para la conservación de un fardo funerario de los Andes orientales de Colombia. Universidad Externado de Colombia. https://doi.org/10.57998/bdigital/handle.001.1712

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. *International Biodeterioration and Biodegradation* (143). https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104721

KUMAR, P., SINGH, A. B., & SINGH, R. (2022). Comprehensive health risk assessment of microbial indoor air quality in microenvironments. *PLOS ONE,* 17(2): e0264226. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264226

LADINO-QUINTERO, N., GARAVITO, I., PATIÑO, M.C., RAMÍREZ, O. (2024). Revista *EIA* 21(42): 1-19. https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1741

LANGEBAEK, C. (1992). Competencia por prestigio político y momificación en el norte de suramérica y el itsmo de Panamá. *Revista Colombiana de Antropología,* 29: 9–26. https://doi.org/10.22380/2539472X.1840

LANGEBAEK, C. (2019). Los Muiscas. La historia milenaria de un pueblo chibcha (Primera Ed). Pinguin Random House Grupo Editorial SAS. DEBATE.

LONDOÑO, E. (1989). Santuarios, Santillos, Tunjos: objetos votivos de los muiscas en el siglo XVI. Boletin Museo Del Oro, 25, 93–119. https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/bmo/article/view/7095

MALLO, A. C., NITIU, D. S., ELÍADES, L. A., SANTA CRUZ, M. G., & SAPARRAT, M. C. (2020). Análisis de la carga fúngica en el aire de la sala "Fragmentos de Historia a Orillas del Nilo" y del exterior del Museo de La Plata, Argentina. *Ge-conservación,* 17: 33-46. https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.680

MARTÍN, A. F. M., & SANTAMARÍA, L. M. (2012). Sobre la momificación y los cuerpos momificados de los muiscas «On mummification and the mummified bodies of the Muisca.» *Salud Historia Sanidad.*, 7(1): 61-80. ISSN 1909-2407.

PALLA, F., SINEO, L, MANACHINI, B. (2011). Bacteria, fungi and arthropod pests collected on modern human mummies.J. *Ent. Acarol Res*, 43 (2): 69-76. https://doi.org/10.4081/jear.2011.69

PECCIA, J., & HERNÁNDEZ, M. (2006). Incorporating polymerase chain reaction–based identification, population characterization, and quantification of microorganisms into aerosol science: A review. *Atmospheric Environment*, 40(21): 3941–3961. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.02.029

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

RAMÍREZ, O., HERNÁNDEZ-GUZMÁN, A., RUSSY-VELANDIA, L.. PATIÑO, M. C., MORALES-BETANCOURT, R. (2025). Identification of culturable fungi in particulate matter (PM10) on a university campus in a peri-urban area of Northern South America. *Aerobiologia* 41: 591–608. https://doi.org/10.1007/s10453-025-09866-w

RAMSEY, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1): 337–360. https://doi.org/10.1017/S0033822200033865

REIMER, P., AUSTIN, W., BARD, E., *et al.* (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4): 725–757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

ROSE, C. L., HAWKS, C. A., & WALLER, R. (2019). A preventive conservation approach to the storage of collections. In L. Elkin & C. A. Norris (Eds.), Preventive conservation: Collection storage (43–55). Society for the Preservation of Natural History Collections; American Institute for Conservation; Smithsonian Institution; The George Washington University Museum Studies Program.

SCHOBER P, BOER C, SCHWARTE LA. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*. 126(5): 1763-1768. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.

ŠIMONOVIČOVÁ, A., KRAKOVÁ, L., PANGALLO, D., MAJOROŠOVÁ, M., PIECKOVÁ, E., BODORIKOVÁ, S., & DÖRNHOFEROVÁ, M. (2015). Fungi on mummified human remains and in the indoor air in the Kuffner family crypt in Sládkovičovo (Slovakia). International Biodeterioration & Biodegradation, 99: 157-164. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.12.011

SKÓRA, J., GUTAROWSKA, B., PIELECH-PRZYBYLSKA, K., STĘPIEŃ, Ł., PIETRZAK, K., PIOTROWSKA, M., & PIETROWSKI, P. (2015). Assessment of microbiological contamination in the work environments of museums, archives and libraries. *Aerobiologia*, 31(3): 389-401. https://doi.org/10.1007/s10453-015-9372-8

STERFLINGER, K. (2010). Fungi: Their Role in Deterioration of Cultural Heritage. *Fungal Biology Reviews*, 24: 47-55. http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.003

TRIBÍN, H. S., & URREGO, G. C. (2023). Las calaveras enmascaradas de las momias Yuko - Yukpa (motilones). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 27(102): 5-14. https://doi.org/10.18257/raccefyn.27(102).2003.2040

ZORPAS, A. A., & SKOUROUPATIS, A. (2016). Indoor air quality evaluation of two museums in a subtropical climate conditions. *Sustainable Cities and Society*, 20, 52-60. https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.10.002

Autor/es



Mariana Bedoya
mariana.bedoya@est.uexternado.edu.co
Profesional en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural Mueble
https://orcid.org/0009-0007-3485-2761

Profesional en Conservación y Restauración de Patrimonio Cultural Mueble de la Universidad Externado de Colombia, con formación en conservación preventiva, diagnóstico del estado de conservación, sistemas integrados de conservación, gestión y documentación de colecciones, así como intervención y restauración de diversas materialidades.



Omar Ramírez
omar.ramirez@unimilitar.edu.co
Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), Facultad de Ingeniería
https://orcid.org/0000-0002-8594-5139

Ingeniero Ambiental y Sanitario, Especialista en Evaluación del Impacto Ambiental para Proyectos, Magíster en Sistemas Ambientales Humanos, Máster en Tecnología Ambiental y PhD en Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental. Actualmente, se desempeña como investigador y profesor asociado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG). Su trayectoria académica e investigativa se ha centrado, en los últimos años, en el desarrollo de proyectos relacionados con la identificación de bioaerosoles, la caracterización química del material particulado, el estudio de la calidad del aire en ambientes interiores y exteriores, el monitoreo de contaminantes atmosféricos, así como la identificación y modelación de fuentes de contaminación del aire.



Lizeth Russy-Velandia
est.lizeth.russy@unimilitar.edu.co
Investigadora independiente
https://orcid.org/0000-0001-7012-1025

Bióloga y Tecnóloga en Química Aplicada a la Industria, con Maestría en Biología Aplicada y experiencia en biología molecular, microbiología y análisis instrumental. Especializada en identificación microbiana mediante herramientas moleculares como PCR, qPCR y ddPCR, con interés en ecología microbiana del aire y análisis de datos científicos. Actualmente se desempeña como Especialista de Aplicaciones Junior en AM LABTECH, brindando soporte técnico, capacitación y asesoría en tecnologías de biología molecular y celular para laboratorios e instituciones de investigación.



Sebastián Rivas
sebastian.rivas@uniminuto.edu
Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, MD Arte y Cultura
https://orcid.org/0000-0002-0645-4332

Antropólogo y Ms en Patrimonio Cultural. Ha desarrollado y liderado proyectos de arqueología en diferentes zonas del país, destacando el proyecto Nueva Esperanza. Actualmente dirige las entidades museales adscritas a UNIMINUTO como lo son Museo Arqueológico Nueva Esperanza (MANE) y Fundación Museo Arqueológico y de Historia Natural, Jaime Hincapié Santa María, además de gestionar otras colecciones arqueológicas de la misma universidad.



María Camila Patiño R.
Maria.patino2@uexternado.edu.co
Universidad Externado de Colombia
https://orcid.org/0000-0003-3090-6658

Microbióloga Industrial, Magíster en Museología y Gestión del Patrimonio de la Universidad Nacional de Colombia, y Magíster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, España. Especialista en Docencia Universitaria.
Su trabajo se desarrolla en las líneas de cuidado y gestión de colecciones, procesos de biodeterioro de materiales y conservación preventiva, integrando el análisis científico en la toma de decisiones. Es profesora de Biología Aplicada a la Conservación del Patrimonio en la Universidad Militar Nueva Granada y actualmente se desempeña como docente de la Facultad de Estudios del Patrimonio Cultural de la Universidad Externado de Colombia, donde además coordina el Centro de Investigación del Patrimonio Cultural (CIPAC).

Artículo enviado 01/06/2026
Artículo aceptado el 04/09/2026

CC BY NC ND

https://doi.org/10.37558/gec.v26i1.1522