



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons](#)
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 internacional

Caracterización fúngica ambiental en el Museo Nacional de la Música en Cuba

Julio César Rodríguez García, Sofía F. Borrego Alonso

AUGM DOMUS, (10), e008, artículos, 2023

ISSN 1852-2181 | <https://doi.org/10.24215/18522181e008>

<https://revistas.unlp.edu.ar/domus>

Asociación Grupo Montevideo | Universidad Nacional de La Plata

La Plata | Buenos Aires | Argentina

CARACTERIZACIÓN FÚNGICA AMBIENTAL EN EL MUSEO NACIONAL DE LA MÚSICA EN CUBA

ENVIRONMENTAL FUNGAL CHARACTERIZATION
AT THE NATIONAL MUSEUM OF MUSIC IN CUBA

Julio César Rodríguez García ¹

jcesar2015@mail.com | <https://orcid.org/0000-0002-8526-2944>

Sofía F. Borrego Alonso ^{2*}

sofia@amac.cu | <https://orcid.org/0000-0001-8739-2577>

1. Universidad de las Artes-ISA | Cuba

Centro de Conservación, Restauración y Museología (CECRM)

Laboratorio de Ciencias Aplicadas

2. Archivo Nacional de la República de Cuba (ARNC) | Cuba

Laboratorio de Conservación Preventiva

* Autora para correspondencia

AUGM
DOMUS
Revista Electrónica de los Comités Agua, Energía y Medio Ambiente

Recibido 05/04/16 | Aceptado 30/06/17 | Publicado 27/12/23

RESUMEN

Es bien conocida desde la teoría de la conservación, la importancia vital de la ventilación para el control de los parámetros climáticos y su relación directa con el biodeterioro, especialmente el fúngico. Durante el año 2014 se realizaron muestreos mensuales empleando un método de sedimentación y el biocolelector SAS para caracterizar la micobiota aerotransportada de los depósitos del archivo documental, el de arte y el de pianos del Museo Nacional de la Música en Cuba y evaluar el papel de la ventilación natural cruzada en el riesgo potencial de biodeterioro fúngico de las colecciones allí almacenadas. Se detectaron altas concentraciones fúngicas en el aire interior en estos depósitos, que disminuyen ligeramente con la altura y con el recambio de aire en cada local durante la mayor parte del año, fundamentalmente en temporada poco lluviosa. Los géneros aislados con mayores densidades y frecuencias relativas fueron *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*. Se demostró el efecto positivo de la ventilación natural cruzada en la disminución de la carga microbiana ambiental, así como la efectividad del método de muestreo por sedimentación para los estudios de calidad microbiológica del aire en ambientes interiores de museos como herramienta eficiente en la lucha integrada contra plagas de colecciones patrimoniales.

PALABRAS CLAVE | biodeterioro fúngico, conservación, patrimonio cultural, calidad ambiental

ABSTRACT

From a conservationist perspective, ventilation to control climate parameters relationship with biodeterioration, especially the fungal one, is considered to be vital. During 2014, monthly samples were taken using a sedimentation method and SAS biocolelector to characterize airborne mycobiota in deposits of documentary file, art and pianos in the National Music Museum in Cuba and to assess the role of natural cross ventilation in the potential risk of fungal biodeterioration of the collections stored there. High fungal concentrations were detected in indoor air which slightly decreased according to height and the air exchange at each location during most of the year, mainly during the season with low rainfall. The genera showing higher densities and relative frequency were *Aspergillus*, *Cladosporium* and *Penicillium*. The positive effect of natural cross ventilation on reducing microbial load and the effectiveness of the sedimentation sampling method to study microbiological quality of indoor air in museums were demonstrated as an efficient tool for an integrated pest control in heritage collections.

KEYWORDS | fungal biodeterioration, conservation, cultural heritage, environmental quality

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire interior es un factor importante no solo para los habitantes de una edificación sino también para la conservación de los materiales existentes en los mismos, representados por las colecciones documentales y de otras tipologías almacenadas o expuestas en archivos, bibliotecas y museos. Los bioaerosoles, dentro de los que destacan los hongos anemófilos, juegan un papel importante en el riesgo potencial de biodeterioro de dichas colecciones, así como en la salud del personal responsable de su gestión y su salvaguarda.

La calidad del aire interior depende de diferentes parámetros tales como el grado de higiene de los locales, la calidad del aire exterior, la localización de la edificación, el número de personal en los ambientes interiores y el sistema de ventilación de la edificación. Tanto en la ventilación natural como mecánica, la calidad del aire interior depende del aire exterior (Paul *et al.*, 2010).

Los niveles de humedad relativa (HR) en el aire interior es también una medida de la calidad del aire interior (Woloszyn *et al.*, 2009). Por definición, humedades relativas elevadas significan mayores contenidos de humedad en la edificación, lo que puede causar numerosos problemas determinados por la calidad microbiológica del aire, como el crecimiento de hongos y de bacterias, varias afecciones a la salud de los ocupantes, infestaciones por insectos, y deterioro de los materiales constructivos del inmueble y de los materiales de las colecciones que este contiene en el caso de instituciones culturales patrimoniales como los archivos. Si la HR es alta, entonces los hongos crecen fácilmente, reforzando su efecto negativo para la conservación de colecciones patrimoniales, especialmente, para aquellas de naturaleza orgánica, como es el caso del patrimonio documental. Por lo tanto, es muy importante mantener la humedad relativa en el rango óptimo recomendado según el tipo de colección, donde juega un papel esencial la ventilación del local (Wendt *et al.*, 2004).

Teorías y modelos acerca de la velocidad del crecimiento fúngico en diferentes condiciones climáticas indican un potencial de disminución significativa del riesgo de problemas causados por hongos con la disminución de la HR en cantidades moderadas

bajo situaciones críticas que pueden obtenerse con una ventilación optimizada (Hagentoft *et al.*, 2008).

Los materiales que conforman el patrimonio documental como libros, mapas, grabados, así como otros documentos de papel o pergamino tienen estructuras químicas complejas. Durante su almacenamiento, están sujetos a procesos de envejecimiento, de alteración y de destrucción biológica, especialmente causada por el crecimiento y el desarrollo de hongos e insectos bajo condiciones climáticas adversas para la conservación. Los componentes moleculares que poseen este tipo de colecciones están bajo un constante riesgo de deterioro, ya que existen varios cientos de diferentes especies microbianas responsables del biodeterioro de los fondos de archivos, bibliotecas y museos, especialmente a través de su actividad celulolítica entre otras (Harkawy *et al.*, 2011).

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar la microbiota aerotransportada en tres depósitos del Museo Nacional de la Música en Cuba, para valorar el riesgo potencial de biodeterioro fúngico de sus colecciones y para evaluar la correlación de la concentración fúngica del aire con la ventilación y la HR de los locales a lo largo del año 2014, así como para demostrar, una vez más, la factibilidad del empleo del muestreo microbiológico del aire a través del método de sedimentación pasiva propuesto por Omeliansky en instituciones cubanas responsables de la salvaguarda del patrimonio de la nación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos en el depósito del archivo documental del Museo Nacional de la Música se llevaron a cabo mensualmente bajo condiciones normales de trabajo durante el año 2014, entre las 11 y las 11.30 am, hora reportada como la de mayor concentración microbiana en el ambiente aéreo de locales interiores. En el depósito de arte y en el depósito de pianos, se realizaron durante los meses del periodo poco lluvioso (noviembre-abril). Los puntos de muestreo se seleccionaron según las dimensiones de cada local [Figura 1], teniendo en cuenta la cercanía a entradas de aire y a zonas de trabajo frecuente.

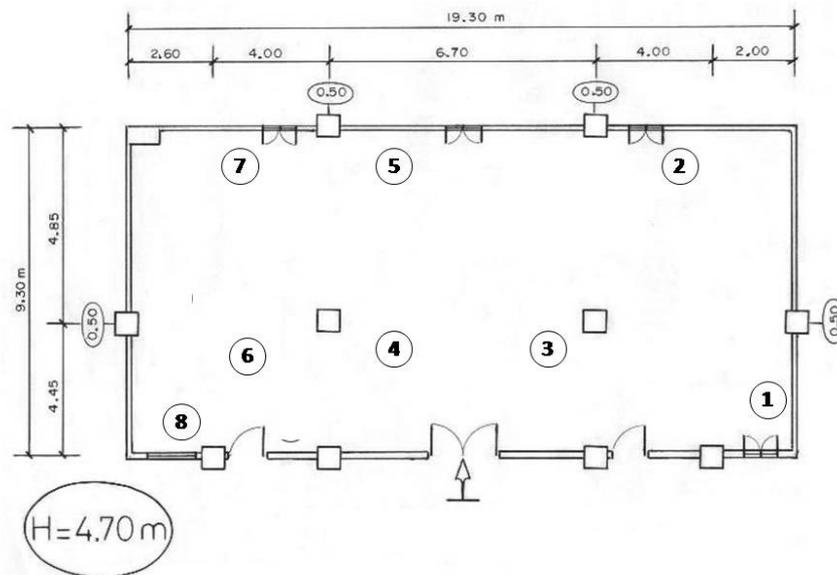


Figura 1. Esquema del depósito del archivo documental con puntos de muestreo

Figure 1. Documentary archive repository diagram with sampling points

Medición de temperatura y humedad relativa

Durante la realización del muestreo microbiológico ambiental se midieron los valores de temperatura (T) y humedad relativa (HR) existentes en los locales de estudio, empleando un psicrómetro de molinete. Durante todo el periodo de estudio, en el depósito del archivo documental se colocaron dos termohigrógrafos con sistema de relojería manual, con los cuales se registraron de manera continua las variaciones de HR y T, realizándose el cambio de la plantilla de registro y la calibración del equipo semanalmente.

Estudio ambiental de la micobiota

Se llevó a cabo siguiendo el método de sedimentación descrito por Omeliansky (Bogomolova & Kirtsideli, 2009). Para ello, placas Petri de 110 mm que contenían el medio Agar Malta (AM) suplementado con NaCl (7,5 %) (Borrego *et al.*, 2010a, 2010b; 2012) se colocaron abiertas aproximadamente a 2 m del suelo y se expusieron por 5 minutos. Se muestrearon los puntos por triplicado según las dimensiones del local de

acuerdo con Sánchis (2002), 8 puntos en el depósito del archivo documental y 3 puntos en los depósitos de arte y de pianos.

Las placas fueron trasladadas al laboratorio envueltas en papel estéril manteniéndose de forma invertida y se incubaron durante 5 a 7 días a 30 °C. Concluida la incubación, se realizó el conteo para poder determinar la concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonias por m³ de aire (ufc.m⁻³), según la ecuación descrita por Omeliansky (Bogomolova & Kirtsideli, 2009). Para determinar el grado de contaminación se compararon las concentraciones microbianas obtenidas con los valores propuestos por Omeliansky. Donde concentraciones microbianas ≤ 500 ufc.m⁻³ es propio de un ambiente no contaminado, si la concentración microbiana está entre 501-750 ufc.m⁻³ es un ambiente poco contaminado, si se encuentra entre 751-1000 ufc.m⁻³ es ligeramente contaminado, si está entre 1001-1500 ufc.m⁻³ es un ambiente contaminado y si es ≥ 1501 ufc.m⁻³ el ambiente está altamente contaminado.

Simultáneamente, durante cuatro muestreos (enero, abril, agosto, diciembre) se realizaron también aislamientos, mediante el empleo de un biocolector de impactación super SAS. Para ello, se tomaron 100 L de aire durante 1 minuto, empleado placas Petri de 80 mm con el medio de cultivo y las condiciones de incubación antes mencionadas.

Identificación y caracterización microbiana

Se depuraron las diferentes colonias que crecieron sobre las placas de aislamiento. Para la identificación de los hongos se emplearon técnicas tradicionales siguiendo los criterios de Casadesús & Rojas (1981), Barnett & Hunter (1998), Castañeda *et al.* (1996), Klich & Pitt (1994), Pitt (2000) y la base de datos de Mycobank. La caracterización cualitativa del poder deteriorante de los aislados fúngicos con mayor densidad y frecuencia relativas se llevó a cabo mediante el estudio de la excreción de ácidos, la determinación cualitativa de la actividad celulolítica y proteolítica, y la producción de pigmentos según las metodologías propuestas por Borrego *et al.* (2010a, 2010b; 2012) y por Borrego & Molina (2014).

La densidad relativa (DR) y de la frecuencia relativa (FR) de las colonias en el aire se determinó según Smith (1980) y Esquivel *et al.* (2003), y Saleh (2007), respectivamente.

Análisis biométricos

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis estadístico mediante el programa Statgraphics Centurion XV, aplicando gráficos de control individuales para analizar la distribución de los valores puntuales, y un análisis multifactorial para obtener las posibles correlaciones ordinales (Pearson), correlaciones parciales y covarianzas, y para establecer las relaciones entre la variable de respuesta y los factores, además de corroborar la similitud entre los muestreos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis cuantitativo y cualitativo de la microbiota del aire interior

La Tabla 1 muestra los resultados de la concentración fúngica del aire obtenidos en el depósito del archivo documental del museo durante los doce meses del año 2014, conjuntamente con las mediciones de los parámetros climáticos.

Como puede apreciarse, la edificación brinda una adecuada inercia termohigrométrica, sustentada en un sistema de manejo climático por ventilación natural cruzada durante el día y el uso de deshumidificadores durante la noche. Esto garantiza que en el local la HR se mantenga relativamente estable, con valores inferiores al 65 %, lo que ha evitado problemas de infestación fúngica en las colecciones documentales allí almacenadas.

Las concentraciones fúngicas obtenidas a lo largo del año oscilaron entre las 528 y 2333 ufc.m⁻³, obteniéndose entre los meses de marzo y abril (periodo poco lluvioso) las concentraciones fúngicas mayores con valores superiores a las 2000 ufc.m⁻³ de aire, lo que corresponde a un ambiente altamente contaminado según la escala propuesta por Omeliansky. Durante el periodo lluvioso, comprendido entre los meses de mayo y agosto, se obtuvieron concentraciones superiores a las 1000 ufc.m⁻³ e inferiores a 2000 ufc.m⁻³ de aire, indicativas de ambientes contaminados a altamente contaminados.

Temporada	MES	ufc.m ⁻³	HRI (%)	Ti (°C)	HRe (%)	Te (°C)	PP* (mm)	VV* (Km. h ⁻¹)
Poco lluviosa	Enero	744	56,0	28,0	65,0	23,4	0	5,33
	Febrero	873	59,0	27,0	63,5	25,6	0	7,05
	Marzo	2137	65,6	29,0	82,0	29,4	0	7,07
	Abril	2333	60,0	29,0	73,0	28,7	0	7,93
Lluviosa	Mayo	1212	62,0	30,0	69,0	28,1	3,37	7,68
	Junio	1106	60,5	30,6	45,0	34,0	0	7,40
	Julio	1764	56,8	31,4	47,4	33,0	2,22	8,33
	Agosto	1513	62,3	31,2	80,0	33,3	1,86	7,17
	Septiembre	528	63,2	30,3	78,0	31,5	7,75	6,33
	Octubre	693	60,6	28,9	80,0	27,6	11,49	6,65
Poco lluviosa	Noviembre	629	63	27,2	76	25,3	30,18	5,37
	Diciembre	806	60	25,4	65	24,0	0	6,78

PP: precipitaciones (mm); VV: velocidad del viento (Km.h⁻¹); HR: humedad relativa (%); T: temperatura (°C); i: interior; e: exterior. Fuente: datos reportados por la estación meteorológica 783250, sita en Casa Blanca, muy cerca del inmueble. <http://www.tutiempo.net/clima/CASA BLANCA/06-2011/783250.htm>

PP: precipitation (mm); VV: wind speed (Km.h⁻¹); HR: relative humidity (%); T: temperature (°C); i: inner; e: outside. Source: data reported by the weather station 783250, located in Casa Blanca, near of the museum. <http://www.tutiempo.net/clima/CASA BLANCA/06-2011/783250.htm>

Tabla 1. Comportamiento de la concentración fúngica del aire (ufc.m⁻³) y los parámetros climáticos en el ambiente interior del depósito del Archivo Documental del Museo Nacional de la Música

Table 1. Behavior of fungal air concentrations (ufc.m⁻³) and climate parameters inside the documentary archive at National Museum of Music

Estos altos valores están influenciados por niveles bajos de precipitación y por velocidades moderadas del viento que fueron detectadas en esos meses, lo que garantiza la dispersión de los propágulos fúngicos en el aire y su penetración al interior del local a través de las ventanas exteriores, ya que pudieron resultar fuentes de contaminación la vegetación de parques cercanos, los derrumbes, las demoliciones y las obras constructivas que se estaban realizando en la inmediaciones del inmueble.

En el resto de los meses se detectaron concentraciones correspondientes a ambientes de poco a ligeramente contaminados, en correspondencia con el comportamiento de los parámetros climáticos y meteorológicos. De manera general, existe una alta carga

fúngica en el aire interior del local que representa un elevado riesgo potencial de biodeterioro por hongos para colecciones de naturaleza orgánica, fundamentalmente, las que resultan altamente susceptible al efecto deteriorante de los hongos una vez desarrollados y activos metabólicamente (Villalba *et al.*, 2004; Valentín, 2010). Este fenómeno no ha ocurrido gracias al sistema de ventilación natural cruzada, que aunque facilita la entrada de contaminantes también permite su salida, propiciando la resuspensión y el transporte de una parte de la microbiota sedimentada, a la vez que evita la formación de bolsas de aire húmedo en las inmediaciones de la colección documental almacenada, impidiendo el desarrollo de los hongos sobre los sustratos materiales. Un resultado similar fue reportado por Borrego & Perdomo (2016).

El registro continuo del comportamiento de los parámetros climáticos demostró su estabilidad en el depósito del archivo documental, con una HR que no excedió el 65 %, lo que explica, también, la inexistencia de brotes de infestación fúngica que ponga en riesgo la permanencia de los valores de las colecciones almacenadas en este local. Esta estabilidad en los valores de HR permite mantener constante el contenido de humedad en equilibrio con los materiales y la actividad de agua, impidiendo que los propágulos fúngicos sedimentados se desarrollen y causen alteraciones químicas importantes a través de su actividad fisiológica.

La correlación ordinal de Person [Tabla 2] demostró la existencia de una alta correlación positiva entre la concentración fúngica del aire y la HR del ambiente (62,5 %), una alta correlación negativa respecto a la temperatura (60,2 %) y entre ambos parámetros climáticos la correlación también fue negativa y por encima del 50 % (56,4 %).

	HR vs ufc.m ⁻³	T vs ufc.m ⁻³	HR vs T
Correlación	0.625	- 0.602	- 0.564
Pares de datos	(12)	(12)	(12)
p	0.0005	0.0005	0.0018

HR: humedad relativa (%); ufc.m⁻³: concentración fúngica; T: temperatura (°C)

Tabla 2. Correlación ordinal de Pearson entre los parámetros estudiados durante el año 2014 en el depósito del Archivo Documental del Museo Nacional de la Música ($p \leq 0,05$ estadísticamente significativo con un 95 % de confianza).

Table 2. Pearson correlation between the parameters studied in 2014 in the repository of documentary archive at the National Music Museum ($p \leq 0,05$ statistically significant by 95 % confidence)

Las concentraciones fúngicas obtenidas entre los periodos lluvioso y poco lluvioso demostraron que existen diferencias significativas entre las concentraciones máximas obtenidas en ambos periodos, con valores superiores en el periodo poco lluvioso, debido, fundamentalmente, a la influencia de los parámetros meteorológicos de precipitaciones y velocidad del viento [Figura 2], que influyen en el comportamiento aerodinámico de los propágulos aerotransportados y su sedimentación gravitacional (De Benito, 2003; Geoff *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2014). Este resultado fue corroborado con un análisis de diferencias mínimas significativas de Fisher para un intervalo de confianza del 95 %, en cuya figura se aprecia el no solapamiento de los valores superiores a 1600 ufc.m⁻³ de aire detectados entre los diferentes periodos estudiados.

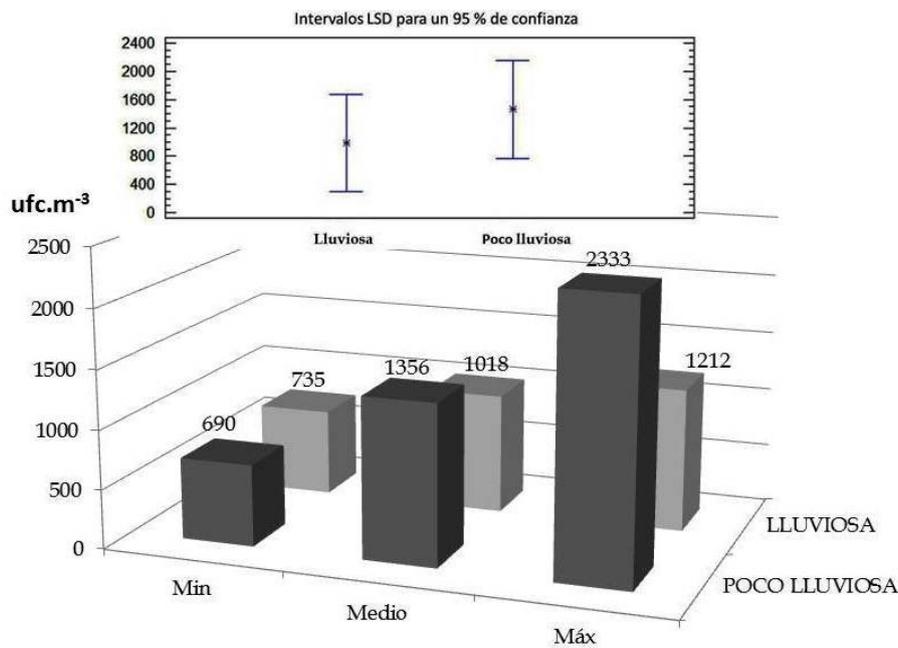


Figura 2. Concentraciones fúngicas del aire en el depósito del Archivo Documental del Museo Nacional de la Música durante los periodos lluvioso y poco lluvioso correspondientes al año 2014. En la zona superior se pueden apreciar las diferencias mínimas significativas de Fisher entre ambos periodos

Figure 2. Airborne fungal concentrations in the repository of documentary archive at the National Museum of Music during periods with both high and low rainfall in 2014. Fisher's least significant difference between the two periods can be observed at the top of the figure

La cuantificación de los propágulos fúngicos aerotransportados en los diferentes depósitos del museo, analizados durante el periodo poco lluvioso (archivo documental, arte y pianos), mostró un comportamiento similar en las concentraciones de hongos del aire interior, con una tendencia a disminuir a medida que se asciende en la edificación [Figura 3]. En todos los casos, se detectaron concentraciones promedio correspondientes a ambientes altamente contaminados, que subrayan el elevado riesgo potencial de deterioro fúngico al que están sometidas las diferentes colecciones del museo.

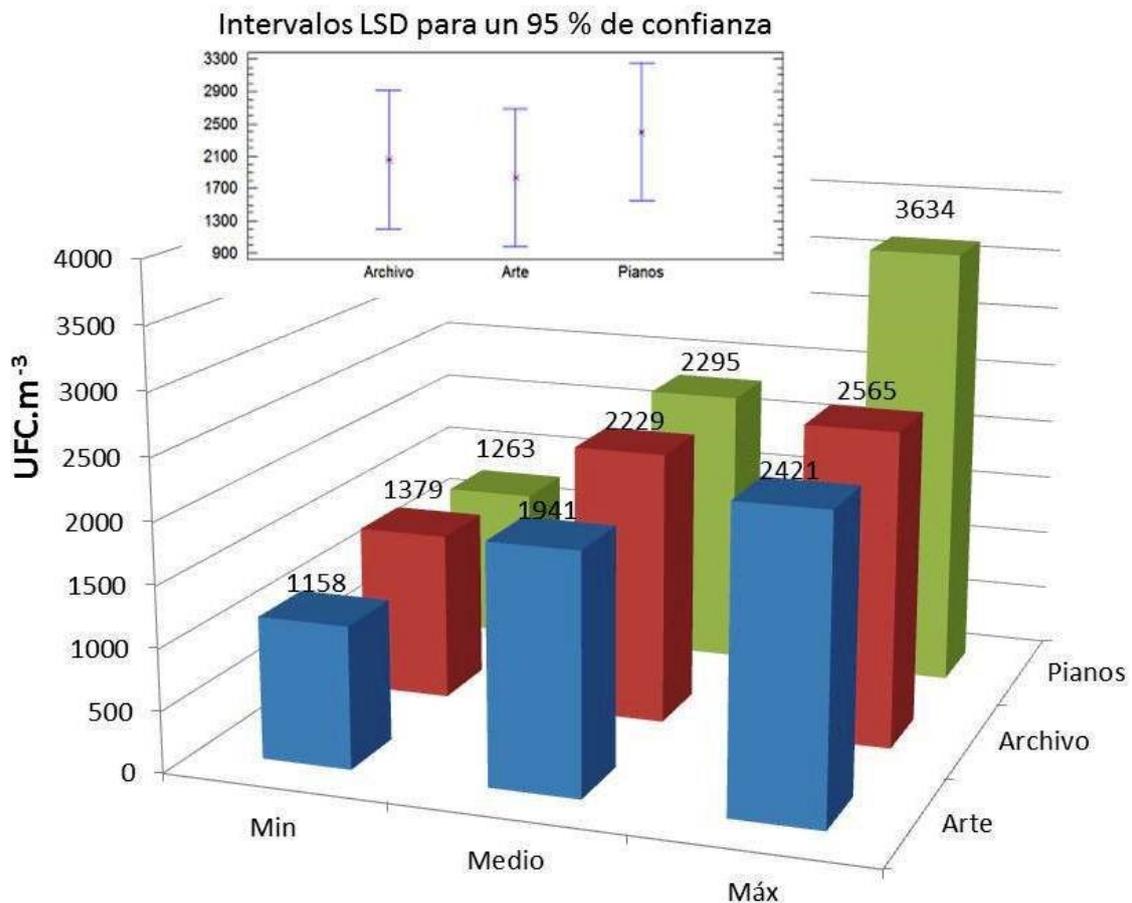


Figura 3. Comportamiento de las concentraciones fúngicas del aire en diferentes depósitos del museo (Pianos: planta baja; Archivo Documental: 1er. piso; Arte: 2do. piso). En la zona superior se aprecian las diferencias mínimas significativas de Fisher entre depósitos

Figure 3. Behavior of airborne fungal concentrations in different deposits at the museum (Pianos: ground floor; Documentary Archive: 1st Floor, Art: 2nd Floor). Fisher's least significant difference between repositories can be observed in the upper area

Ploteando las concentraciones fúngicas obtenidas en cada punto de muestreo del depósito del archivo documental (8) y el depósito de arte del museo (3) –este último con características estructurales similares al depósito de piano en cuanto a dimensiones y a flujo de aire interior– se realizaron gráficos de contornos de superficie que permiten localizar las zonas que presentaban mayores concentraciones contra las zonas menos contaminadas. En el depósito del archivo documental las zonas con concentraciones más bajas correspondieron, precisamente, a aquellos puntos que quedan situados en el área donde existe un mayor flujo de aire determinado por la ventilación natural cruzada que se establece en el local y que permite un adecuado recambio del aire interior [Figura 4]. En el caso del depósito de arte, donde no existe un flujo cruzado de aire y el recambio diario no es suficiente, se puede apreciar que la concentración fúngica del aire es prácticamente igual en todo el local.

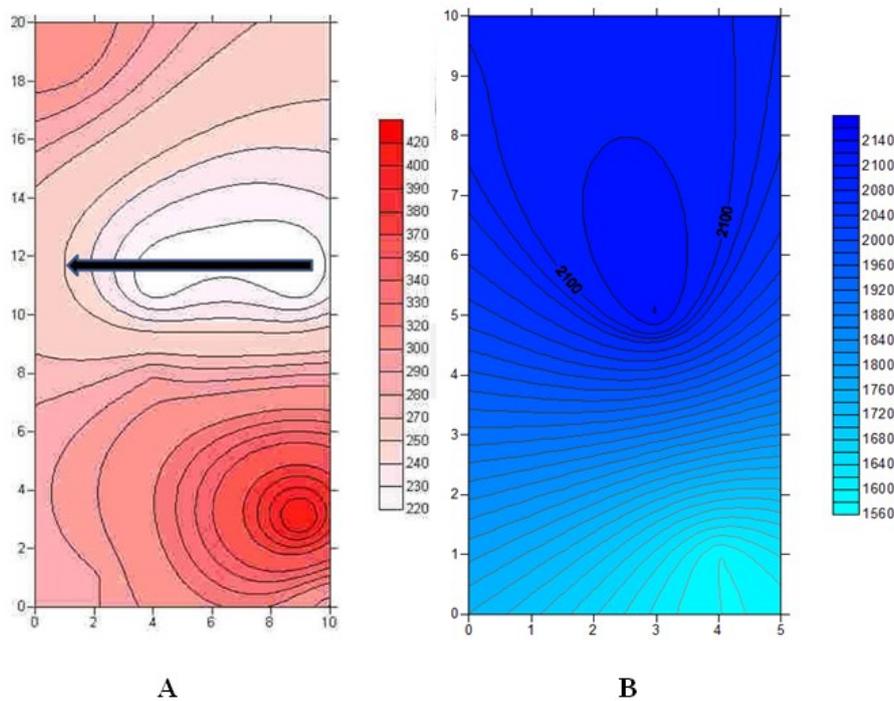


Figura 4. Gráfico de contorno de concentraciones fúngicas del aire vs. puntos de muestreo del local del depósito del Archivo Documental (A) y el depósito de Arte (B) del Museo Nacional de Música. Las zonas más oscuras corresponden a las mayores concentraciones y la flecha representa el área de mayor circulación cruzada del aire

Figure 4. Contour graphic of airborne fungal concentrations vs. sampling points in the local documentary archive repository (A) and the art repository (B) at the National Music Museum. The darker areas correspond to higher concentrations. The arrow represents the area of greatest cross air circulation

Este comportamiento demuestra la eficacia de la ventilación natural cruzada en la disminución de la carga microbiana del aire interior de los locales destinados al almacenamiento de los fondos museables. La renovación adecuada del aire garantiza una transportación eficiente de los propágulos aerotransportados, e incluso se pudiera considerar que ocurre una mayor resuspensión de los propágulos sedimentados y su transportación aérea hacia las áreas exteriores, eventos que minimizan el riesgo potencial de deterioro microbiano en la colección. Un adecuado recambio de aire evita, además, la formación de bolsas de aire húmedo en el entorno inmediato de los ejemplares de las colecciones y, con ello, el aumento de la humedad contenida en los materiales higroscópicos, evitando el crecimiento y el desarrollo de los propágulos fúngicos sedimentados sobre la superficie de los materiales de la colección en depósito.

Los valores de densidad relativa obtenidos para los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, aunque varían a lo largo del estudio, coinciden de manera general con los obtenidos para ambientes interiores de archivos y bibliotecas en otros países (Horner *et al.*, 2004; Lignell, 2008; Zielińska-Jankiewicz *et al.*, 2008; Niesler *et al.*, 2010; Guiamet *et al.*, 2011; Harkawy *et al.*, 2011; Roussel *et al.*, 2012; Nunes *et al.*, 2013; Trovão *et al.*, 2013; Fekadu & Melaku, 2014; Lavin *et al.*, 2014; Micheluz *et al.*, 2015; Ruga *et al.*, 2015; Skóra *et al.*, 2015) y en Cuba (Borrego *et al.*, 2010a, 2010b; 2012; Rojas, 2010; Borrego & Molina, 2014; Molina *et al.*, 2014; Molina & Borrego, 2014; Rodríguez *et al.*, 2014; Borrego & Perdomo, 2016), lo que reafirma el criterio de que representan contaminantes fúngicos por excelencia en los ambientes interiores destinados al almacenamiento de bienes del patrimonio histórico cultural.

En ambos períodos, las mayores densidades relativas correspondieron al género *Aspergillus*, con más del 35% del total de aislados [Tabla 3]. Se detectó una mayor diversidad fúngica durante el período poco lluvioso con 14 géneros identificados, además de levaduras, un micelio blanco no esporulado (MBNE) y los aislados no identificados (NI). Durante el período lluvioso se detectaron 8 géneros identificados, así como el MBNE y los NI. Los representantes de los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, además de presentar las mayores densidades relativas, mostraron una frecuencia relativa entre 95 y 100%. Esto significa que constituyen géneros abundantes en el ambiente aéreo del local, según los criterios de clasificación ecológica propuestos

por Esquivel *et al.* (2003), y, por tanto, los más representativos ecológicamente en el aire interior del local muestreado, lo que subraya su importancia desde el punto de vista de su posible rol en el biodeterioro fúngico de las colecciones almacenadas en este local. Este comportamiento fue similar en todos los depósitos estudiados.

Géneros fúngicos	DR (%)	FR (%)	CE	Ejemplo de aislamiento
Estación poco lluviosa				
<i>Aspergillus</i> Link.	38,7	100	A	
<i>Penicillium</i> Link.	13,5	100	A	
<i>Cladosporium</i> Link ex Fr.	15,2	100	A	
<i>Mucor</i> Mich. Ex St.-Am.	2,0	37,5	O	
<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	2,6	60,8	C	
<i>Alternaria</i> Nees ex Fr.	3,4	55,1	F	
<i>Curvularia</i> Boedijn.	0,8	30,5	O	
<i>Fusarium</i> Link.	3,5	78,4	C	
<i>Chrysonilia</i> Arx.	3,9	25,6	O	
<i>Neurospora</i> Shear & Dodge.	0,5	8,5	R	
<i>Paecilomyces</i> Bainier.	0,8	10,4	R	
<i>Gilmaniella</i> Barron.	1,2	5,8	R	
<i>Trichoderma</i> Pers.	0,3	31,7	O	
Levaduras	5,3	42,3	F	
MBNE	3,3	60,5	F	
NI	3,1	15,6	R	
Estación lluviosa				
<i>Aspergillus</i> Link.	36,5	100	A	
<i>Penicillium</i> Link.	14,2	100	A	
<i>Cladosporium</i> Link ex Fr.	30,8	95	A	
<i>Rhizopus</i> Ehrenb.	2,5	58,5	F	
<i>Alternaria</i> Nees ex Fr.	3,3	42,6	F	
<i>Curvularia</i> Boedijn.	2,5	15,6	R	
<i>Fusarium</i> Link.	4,0	35,5	O	
<i>Chrysonilia</i> Arx.	0,5	10,7	O	
MBNE	4,5	55,8	F	
NI	1,2	10,6	R	

CE: clasificación ecológica según FR: A: abundante (81-100); C: común (61-80); F: frecuente (60-41); O: ocasional (40-21); R: raro (20-0,1); **MBNE** micelio blanco no esporulado; **NI**: no identificado.

EC: ecological classification according FR: A: abundant (81-100); C: Common (61-80); F: frequent (60-41); O: occasional (40-21); R: rare (20-0,1); **MBNE** not sporulated mycelium white; **NI**: unidentified.

Tabla 2. Clasificación ecológica, densidades y frecuencias relativas de los géneros identificados en ambos periodos en el depósito del Archivo Documental del Museo y placas representativas de los aislamientos en cada periodo

Table 2. Ecological classification, densities and relative frequencies of genera identified in both periods in the documentary archive repository and representative plates of isolates in each period

Los criterios de clasificación ecológica coinciden con los resultados de otros estudios realizados en ambientes interiores que incluyen archivos, bibliotecas y museos, los cuales reportan FR entre 81 y 100 % para los géneros de *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, seguidos por *Fusarium*, *Alternaria* y *Rhizopus*, que representan taxa comunes y/o frecuentes en estos tipos de ambientes donde abundan materiales de naturaleza celulósica (Stryjakowska-Sekulska *et al.*, 2007; Borrego *et al.*, 2008, 2010a, 2012; Rojas, 2010; Abdel Hameed *et al.*, 2012; Awad & Mawla, 2012; Novakovic *et al.*, 2013; Borrego & Molina, 2014; Borrego & Perdomo, 2012, 2016).

El riesgo potencial que pueden representar las concentraciones de hongos en el local estudiado, sus capacidades biodeteriógicas y su posible patogenicidad, constituyen aspectos de significativa importancia para el estudio de la calidad de ambientes interiores (Martínez *et al.*, 2002; Muller *et al.*, 2002; EIHA, 2004). En este sentido, Stark *et al.* (2003) consideraron que la concentración fúngica es importante, pero sus efectos dependen significativamente de los géneros fúngicos presentes en la microbiota ambiental del local; para *Aspergillus* 100 ufc.m⁻³ se considera una cantidad elevada, mientras que para *Stachybotrys* una concentración inferior puede resultar más nociva (Kuhn & Ghannoum, 2003). Esto apunta la necesidad de determinar no solo la concentración aerotransportada, sino también las especies presentes en el área objeto de estudio y su caracterización fisiológica, para tener así un criterio más certero sobre el potencial deteriorante y patogénico de la microbiota de ambientes interiores.

Teniendo en cuenta la importancia ecológica de los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, los cuales mostraron las mayores densidades y frecuencias relativas, representando contaminantes fúngicos abundantes en el ambiente del local estudiado, decidimos caracterizar su poder deteriógico a partir de diferentes pruebas fisiológicas cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

Taxa	Actividad celulolítica	Actividad amilolítica	Actividad proteolítica	Producción de pigmentos	pH
<i>A. niger</i>	++++	+	+	-	5.58
<i>A. flavus</i>	++++	+	+	+	5.60
<i>A. oryzae</i>	+++	+	+	+	3.00*
<i>A. terreus</i>	+++	+	+	-	3.50*
<i>A. carneus</i>	++	+	+	+	5.53
<i>A. ochraceus</i>	+++	+	+	+	5.55
<i>A. auricomus</i>	++	+	+	-	5.50
<i>A. chevallieri</i>	++	-	+	+	5.45
<i>A. rubrum</i>	+++	+	+	+	5.60
<i>A. candidus</i>	++++	-	+	+	3.20*
<i>A. niveus</i>	+++	-	+	+	5.70
<i>C. cladosporioides</i>	++++	+	+	+	5.50
<i>C. herbarum</i>	+++	+	+	+	5.65
<i>P. chrysogenum</i>	+++	+	+	-	5.50
<i>P. citrinum</i>	++	+	+	+	4.50*

A: *Aspergillus*; C: *Cladosporium*; P: *Penicillium*

Nota: la actividad celulolítica se evaluó a partir del crecimiento fúngico en diferentes fuentes de carbono como papel de filtro, celulosa microcristalina y celobiosa. +++++: crecimiento abundante, ++++: crecimiento moderado, ++: crecimiento pobre, o producción de pigmentos evidente sobre la tira de papel de filtro, + : actividad enzimática positiva; - : crecimiento o producción de pigmento muy pobre, actividad enzimática negativa. *: Indica diferencias marcadas en los valores de pH respecto al valor original del medio de cultivo (pH =7) según test de Student.

Tabla 4. Potencial biodeteriogeno de las cepas fúngicas con mayor frecuencia y densidad relativa aislados en el Museo Nacional de la Música

Table 4. Potential biodeterioration capacity of fungal strains with the highest frequency and relative density at the National Music Museum

La Figura 5 muestra los porcentajes de actividades deteriorantes detectadas en los aislados fúngicos obtenidos del aire de los depósitos estudiados, valores que corroboran el importante papel que estos hongos pueden jugar en el biodeterioro químico y enzimático de los diferentes tipos de soporte que se encuentran en las colecciones patrimoniales que alberga el Museo Nacional de la Música.

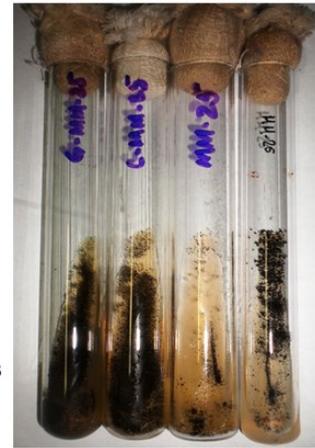
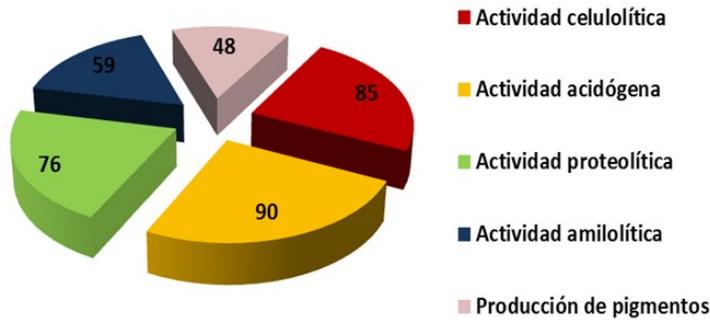


Figura 5. Por ciento de cepas según su actividad deteriógena. La fotografía a la derecha muestra una prueba de actividad celulolítica con resultados positivos

Figure 5. Percent of strains according their deterioration activity. The photo on the right shows a test of cellulolytic activity with positive results

La evaluación fisiológica de los aislados de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* demostró que constituyen géneros con potencialidades enzimáticas muy amplias, resultados en correspondencia con los reportados por otros autores (Villalba *et al.*, 2004; Valentín, 2010; Borrego *et al.*, 2010a, 2012; Borrego & Perdomo, 2012; Molina, 2012; Borrego & Molina, 2014).

El análisis de la actividad fisiológica de los aislados con mayor densidad y frecuencia relativa permite afirmar que, independientemente de que los niveles de contaminación fúngica correspondan a ambientes poco o no contaminados según los criterios previamente analizados, estos taxa constituyen un riesgo de deterioro para las colecciones de naturaleza orgánica, por lo que resulta importante mantener la regulación adecuada de los valores de HR y de T para evitar que las esporas de los hongos pertenecientes a los géneros más representativos depositadas sobre las colecciones puedan germinar, desarrollarse vegetativamente y deteriorar de manera sensible los ejemplares contaminados, a partir de su actividad fisiológica altamente deteriógena.

En cuatro de los muestreos realizados en el depósito del archivo documental se llevó a cabo el aislamiento de los hongos del aire utilizando, además, un método viable de impactación mediante el uso de un biolector de cribas tipo SAS para comparar las concentraciones que se obtienen con el método de sedimentación empleado (Omeliánsky) y el biolector SAS. La figura 6 muestra las diferencias cuantitativas

obtenidas por ambas metodologías y permite apreciar que existe una diferencia altamente significativa entre las concentraciones detectadas. A su vez, el método de sedimentación gravitacional, en nuestra consideración, ofrece resultados más robustos al permitir detectar una mayor diversidad de géneros en los aislados, lo que ofrece una información más completa de la microbiota aerotransportada de ambientes interiores y la posibilidad de realizar una valoración de riesgos de biodeterioro fúngico mucho más eficiente en términos de conservación preventiva integral y sostenible.

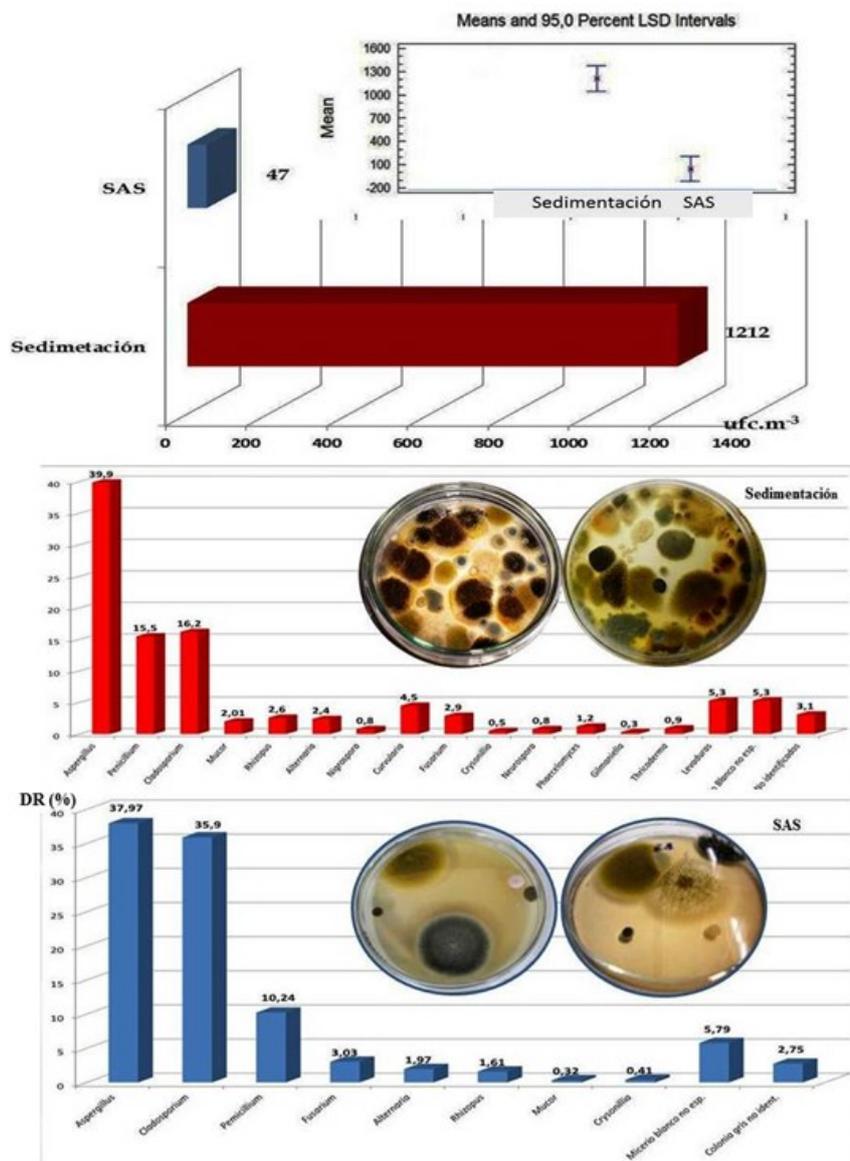


Figura 6. Diferencias entre los resultados obtenidos en los aislamientos realizados por sedimentación e impactación (SAS). Arriba: concentración fúngica del aire y diferencias mínimas significativas de Fisher. Abajo: densidad relativa de géneros aislados por cada metodología de muestreo y placas de aislamiento típicas de cada uno de ellos

Figure 6. Differences between the results obtained in isolates by sedimentation and impactation (SAS). Above: airborne fungal concentration and Fisher's least significant difference. Below: relative density of genera isolated for each sampling methodology and typical plates of each one

El método de sedimentación es un reflejo de los mecanismos de sedimentación natural de los propágulos fúngicos, al no estar forzados por la inercia de un flujo de aire prefijado en un equipo, lo que disminuye los efectos de desecación que la succión de aire puede provocar en estos propágulos y en el medio de cultivo que se emplea, y tiene, además, una mejor repetitividad en los muestreos. Resultados similares fueron obtenidos por Awad & Mawla (2012).

CONCLUSIONES

La caracterización cuantitativa y cualitativa de la micobiota del aire interior en ambientes de museos, archivos y bibliotecas constituye una herramienta de trabajo esencial para la valoración de riesgo potencial de biodeterioro fúngico de colecciones.

Durante el año 2014, existió un elevado riesgo potencial de deterioro fúngico en los diferentes depósitos del Museo Nacional de la Música, debido a las elevadas concentraciones fúngicas detectadas en el aire las cuales correspondieron durante casi todo el año a ambientes altamente contaminados.

Los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* representan los aislados fúngicos de mayor densidad y frecuencia relativa detectados en el aire de los depósitos muestreados a lo largo del año 2014.

La actividad fisiológica de los aislados con mayor densidad y frecuencia relativa demuestran el elevado riesgo potencial de deterioro fúngico existente en los depósitos del museo.

El sistema de manejo climático por ventilación natural cruzada y el empleo de dehumidificadores garantizan una adecuada renovación del aire que beneficia la flotabilidad de los propágulos fúngicos, disminuye su sedimentación pasiva sobre los sustratos materiales almacenados y favorece la existencia de un clima estable que impide infestaciones fúngicas y procesos activos de biodeterioro de las colecciones almacenadas en los depósitos estudiados.

Se demostró la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones y la diversidad taxonómica de los aislados detectadas por sedimentación vs las concentraciones encontradas mediante el uso de un equipo de impactación SAS, lo que demuestra, una vez más, la factibilidad del empleo del método de sedimentación en placas para ambientes interiores de museos.

REFERENCIAS

Abdel Hameed, A. A., Ayesh, A. M., Razik Mohamed, M. A. and Abdel Mawla, H. F. (2012). Fungi and some mycotoxins producing species in the air of soybean and cotton mills: a case study. *Atmospheric Pollution Research*, (3), 126-131.

<https://doi.org/10.5094/APR.2012.012>

Awad, A. H. and Mawla, A. H. (2012). Sedimentation with the Omeliansky formula as an accepted technique for quantifying airborne fungi. *Polish Journal of Environmental Study*, 21(6), 1539-1541.

https://www.researchgate.net/publication/288723072_Sedimentation_with_the_Omeliansky_Formula_as_an_Accepted_Technique_for_Quantifying_Airborne_Fungi

Barnett, H. L. and Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4th Edition. APS Press, The American Phytopathological Society.

Bogomolova, E. V. and Kirtsideli, I. (2009). Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, (63), 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.05.008>

Borrego, S., Guiamet, P., Gómez de Saravia, S., Batistini, P., García, M., Lavín, P. and Perdomo, I. (2010a). The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. *International Biodeterioration and Biodegradation*, (64), 139-145.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.12.005>

Borrego, S., Lavin, P., Perdomo, I., Gómez de Saravia, S. and Guiamet, P. (2012). Determination of Indoor Air Quality in Archives and Biodeterioration of the Documentary Heritage. *International Scholarly Research Network, ISRN Microbiology*.

<https://doi.org/10.5402/2012/680598>

Borrego, S. y Molina, A. (2014). Comportamiento de la aeromicrobiota en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba durante 7 años de estudio. *AUGM DOMUS*, (6), 1-24. <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/672>

Borrego, S. and Perdomo, I. (2012). Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. *Aerobiología*, (28), 303-316.

<https://doi.org/10.1007/s10453-011-9235-x>

Borrego, S. and Perdomo, I. (2016). Airborne microorganisms cultivable on naturally ventilated document repositories of the National Archive of Cuba. *Environmental Science Pollution Research*, (23), 3747-3757. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5585-1>

21

Borrego, S., Perdomo, I., Guiamet, P. and Gómez, S. (2010b). Study of the microbial concentration in the air in repositories of the National Archive of Cuba. *AUGM DOMUS*, (1), 114-133. <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/97/117>

Borrego, S., Pons, V. y Perdomo, I. (2008). La contaminación microbiana del aire en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 39(1), 63-69. <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/view/653/533>

Casadesús, L. and Rojas, T. I. (1981). *Micología. Manual Práctico*. MES.

Castañeda, R. F., Fabrè, D. E., Parra, M. P. P., Pérez, M., Guarro, J. and Cano, J. (1996). Some airborne conidial fungi from Cuba. *Mycotaxon*, (60), 283-290.

De Benito, V. (2003). *Aerobiología del polen alergénico y polinosis en Santander: Relación de la agudización del asma bronquial con factores del ambiente exterior departamento de ciencias médicas y quirúrgicas*. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Cantabria.

Eagle Industrial Higiene Associates (EIHA). (2004). *Microbial Sampling and Analysis: molds and bacteria*. AIHA- Guidelines Environmental Microbiology.

Esquivel, P. P., Mangiaterra, M., Giusiano, G. y Sosa, M. A. (2003). Microhongos anemófilos en ambientes abiertos de dos ciudades del nordeste argentino. *Boletín Micológico*, (18), 21-28. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2003.18.0.376>

Fekadu, S. and Melaku, A. (2014). Microbiological quality of indoor air in university libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(Suppl 1), S312-S317. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C807>

Geoff, T. K., Easter, R. and Hegney, R. (2006). *Mejoras de la salud y la seguridad en trabajo*. Elsevier.

Guiamet, P. S., Borrego, S., Lavin, P., Perdomo, I. and Gómez de Saravia, S. (2011). Biofouling and biodeterioration in material 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>

Hagentoft, C. E., Sasic Kalagasidis, A., Nilsson, S. F. and Thorin, M. (2008). Mould growth control in cold attics through adaptive ventilation. *8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries* (pp. 1413-1420). Denmark.

Harkawy, A., Górny, R. L., Ogierman, L., Wlazło, A., Ławniczek-Wałczyk, A. and Niesler, A. (2011). Bioaerosols assessment in naturally ventilated historical library building with restricted personnel access. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(2), 323-329. <https://www.aaem.pl/pdf-71708-8934?filename=Bioaerosol%20assessment%20in.pdf>

Horner, W. E., Worthan, A. G. and Morey, P. R. (2004). Air and dustborne mycoflora in houses free of water damage and fungal growth. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(11), 6394-6400. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.11.6394-6400.2004>

Klich, M. A. and Pitt, J. I. 1994. *A laboratory guide to the common Aspergillus species and their teleomorphs*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.

Kuhn, D. M. and Ghannoum, M. A. (2003). Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clinic Microbiology Reviews*, (16), 144-172. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.1.144-172.2003>

Lavin, P., Gómez de Saravia, S. G. and Guiamet, P. S. (2014). An environmental assessment of biodeterioration in document repositories. *Biofouling*, 30(5), 561-569. <https://doi.org/10.1080/08927014.2014.897334>

Lignell, U. (2008). *Characterization of microorganisms in indoor environments*. Publications of the National Public Health Institute. https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/8975/urn_isbn_978-951-740-771-7.pdf?sequence=1

Martínez, V. A., Rincón, C. B., Esquivel, G., Lazo, J. G., Llorenz, M. T. and Velasco, V. M. (2002). Fungal spores in the environment of the asthmatic patient in semi-desert area of México. *Revista de Alergología Mexicana*, 49(1), 2-7.

Micheluz, A., Manente, S., Tigini, V., Prigione, V., Pinzari, F., Ravagnan, G. and Varese, G. C. (2015). The extreme environment of a library: xerophilic fungi inhabiting indoor niches. *International Biodeterioration and Biodegradation*, (99), 1-7.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.12.012>

Molina, A. (2012). *Estudio de la calidad microbiológica del ambiente interior de la mapoteca del Archivo Nacional de la República de Cuba y del biodeterioro en mapas* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de la Habana.

Molina, A. y Borrego, S. F. (2014). Análisis de la microbiota existente en el ambiente interior de la mapoteca del Archivo Nacional de la República de Cuba. *Boletín Micológico*, 29(1), 2-17. <https://revistas.uv.cl/index.php/Bolmicol/article/view/871/848>

Molina, A., Valdés, O., Borrego, S., Pérez, D. y Castro, M. (2014). Diagnóstico micológico ambiental en depósitos de la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, (21), 107-117.

<https://revistas.usc.gal/index.php/nacc/article/view/2171>

Muller, A., Lehmann, I., Seiffart, A., Diez, U., Wetzig, H., Borte, M. and Herbarth, O. (2002). Increased incidence of allergic sensitization and respiratory diseases due to mould exposure: results of the Leipzig Allergy Risk Study (L.A.R.S.). *International Journal of Environmental Health*, 204(5-6), 363-365. <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00110>

Niesler, A., Górny, R. L., Wlazło, A., Łudzeń-Izbińska, B., Ławniczek-Wałczyk, A., Gołofit-Szymczak, M., Meres, Z., Kasznia-Kocot, J., Harkawy, A., Lis, D.O. and Anczyk, E. (2010). Microbial contamination of storerooms at the Auschwitz-Birkenau Museum. *Aerobiologia*, (26), 125-133. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10453-009-9149-z>

Novakovic, M., Karaman, M., Radnovic, D., Radisic, P. and Sikoparija, B. (2013). Monitoring of fungal spores in the indoor air of preschool institution facilities in Novi Sad. *Journal of Natural Science, Matica Srpska Novi Sad*, (124), 297-305.

<https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0352-49061324297N>

Nunes, I., Mesquita, N., Cabo Verde, S., Bandeira, A. M. L., Carolino, A. M., Portugal, A. and Botelho, M. L. (2013). Characterization of an airborne microbial community: a case study in the archive of the University of Coimbra, Portugal. *International Biodeterioration and Biodegradation*, (79), 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.01.013>

Paul, T., Sree. D. and Aglan, H. (2010). Effect of mechanically induced ventilation on the indoor air quality of building envelopes. *Energy and Buildings*, (42), 326-332.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.010>

Pitt, J. L. (2000). *A laboratory guide to common Penicillium species*. Third Edition. Food Science Australia.

25

Rojas, T. I. (2010). *Diversidad fúngica en ambientes exteriores de áreas urbanas de ciudad de La Habana y sus potencialidades en el biodeterioro* [Tesis de Doctorado]. Universidad de la Habana.

Rodríguez, J. C., Rodríguez, B. and 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. *AUGM DOMUS*, (6), 123-146.

<https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/867>

Roussel, S., Reboux, G., Millon, L., Parchas, M. D., Boudih, S., Skana, F., Delaforge, M. and Rakotonirainy, MS. (2012). Microbiological evaluation of ten French archives and link to occupational symptoms. *Indoor Air*, 22(6), 514-522. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2012.00781.x>

Ruga, L., Orlandi, F., Romano, B. and Fornaciari, M. (2015). The assessment of fungal bioaerosols in the crypt of St. Peter in Perugia (Italy). *International Biodeterioration and Biodegradation*, (98), 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.12.010>

Saleh, A. (2007). Studies on fungal communities associated whit litter of plant cover at Al-Taif province, Saudi Arabia. *Meteorology, Environment and Arid Land Agricultural Sciences*, 18(2), 87-98.

Sánchez, J. (2002). Los nueve parámetros más críticos en el muestreo microbiológico del aire. *Técnicas de Laboratorio*, (276), 858-862.

Skóra, J., Gutarowska, B., Pielech-Przybylska, K., Stępień, L., Pietrzak, K., Piotrowska, M. and Pietrowski, P. (2015). Assessment of microbiological contamination in the work environments of museums, archives and libraries. *Aerobiologia*, (31), 389-401. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9372-8>

Smith, G. (1980). *Ecology and Field Biology*. 2nd ed. Harper & Row.

Stark, P. P. C., Burge, H. A., Ryan, L. M., Milton, D. K. and Gold, D. R. (2003). Fungal levels in the home and lower respiratory tract illnesses in the first year of life. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, (168), 232-237. <https://doi.org/10.1164/rccm.200207-730OC>

Stryjakowska-Sekulska, M., Piotraszewska-Pająk, A., Szyszka, A., Nowicki, M. and Filipiak, M. (2007). Microbiological quality of indoor air in University rooms. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(4), 623-632. <http://www.pjoes.com/pdf-88030-21889?filename=Microbiological%20Quality.pdf>

Trovão, J., Mesquita, N., Paiva, D. S., Paiva de Carvalho, H., Avelar, L. and Portugal, A. (2013). Can arthropods act as vectors of fungal dispersion in heritage collections? A case study on the archive of the University of Coimbra, Portugal. *International Biodeterioration and Biodegradation*, (79), 49-55.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.10.015>

Valentín, N. (2010). Microorganisms in museum collections. *COALITION*, (19), 2-5.

http://www.rtphc.csic.es/issues/19_01.pdf

Villalba, L. S., Mikán, J. F. y Sánchez, J. (2004). Actividades hidrolíticas y caracterización isoenzimáticas de poblaciones microbianas aisladas del patrimonio documental del Archivo General de Colombia. *Nova Publicación Científica*, 2(2), 50-57.

<https://doi.org/10.22490/24629448.7>

Wendt, R., Aglan, H., Livengood, S., Khan, M. and Ibrahim, E. (2004). Indoor air quality of an energy-efficient, healthy house with mechanically induced fresh air. *ASHRAE Transactions*, 110(2), 77-84.

27

Woloszyn, W., Kalamees, T., Abadie, M. O., Steeman, M. and Kalagasidis, A. S. (2009). The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings. *Building and Environment*, (44), 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.017>

Zielińska-Jankiewicz, K., Kozajda, A., Piotrowska, M. and Szadkowska-Stańczyk, I. (2008). Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, (15), 71-78.

<https://www.aaem.pl/pdf-90139-24860?filename=MICROBIOLOGICAL.pdf>