

# Microbiología aplicada: una herramienta para la conservación del Patrimonio Cultural

Julio César Rodríguez García

Laboratorio de Ciencias Aplicadas, Centro de Estudio de Conservación, Restauración y Museología,  
Universidad de las Artes, La Habana, Cuba  
jcesar2015@mail.com

## Resumen

El biodeterioro del Patrimonio Cultural es uno de los procesos de daño más importantes en los climas tropicales, caracterizados por elevadas humedades y temperaturas. Estas favorecen la colonización biológica y el crecimiento y desarrollo de diferentes organismos vivos sobre el sustrato material de los bienes patrimoniales. Entre estos organismos destacan los hongos e insectos por su ubicuidad, fisiología y medios de dispersión. En el presente trabajo se exponen resultados de muestreos microbiológicos directos y ambientales realizados en diferentes museos de La Habana, Cuba. Se detectaron concentraciones fúngicas del aire correlacionadas con la humedad relativa del ambiente. Los géneros fúngicos predominantes en muestreos directos y aéreos fueron *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, especies con potencialidades fisiológicas que determinan el elevado riesgo de biodeterioro fúngico de las colecciones albergadas en las instituciones estudiadas. Estos estudios permitieron el establecimiento de políticas preventivas eficientes que aumentan la esperanza de vida de este Patrimonio Cultural de Cuba.

## Palabras claves

Conservación  
Biodeterioro  
Calidad ambiental  
Patrimonio Cultural

Microbiologia aplicada: uma ferramenta para a  
conservação do Património Cultural

## Resumo

A biodeterioração do Património Cultural é um dos mais importantes processos de alteração em climas tropicais, caracterizados por humidade e temperaturas elevadas, que favorecem a colonização biológica, crescimento e desenvolvimento de diferentes organismos vivos sobre os bens culturais. Entre estes organismos destacam-se os fungos e insetos devido à sua ubiquidade, fisiologia e meios de dispersão. Este artigo apresenta os resultados da amostragem microbiológica directa e ambiental, tomada em diferentes museus de Havana, Cuba. Foram detectadas concentrações fúngicas correlacionadas com a humidade relativa do ambiente. Os géneros de fungos predominantes no ar interior e nos diferentes substratos testados foram *Aspergillus*, *Penicillium* e *Cladosporium*, que têm potencialidades fisiológicas que representam um elevado risco de micobiodeterioração das colecções albergadas pelas instituições estudadas. Os estudos levados a cabo permitiram estabelecer políticas de prevenção eficientes que aumentam a esperança de vida deste Património Cultural de Cuba.

## Palavras-chave

Conservação  
Biodeterioração  
Qualidade ambiental  
Património Cultural

ISSN 2182-9942

## Applied microbiology: a tool for the conservation of Cultural Heritage

### Abstract

The biodeterioration of Cultural Heritage, is one of the most important damage processes occurring in tropical climates, characterized by high humidity and temperatures which favours biological colonization, growth and development of different living organisms on Cultural Heritage. The organisms include fungi and insects by their ubiquity, physiology and dispersion media. This paper present the results of direct and environmental microbiological samples taken at different museums in Havana, Cuba. Air fungal concentration were detected in correlation with relative humidity. *Aspergillus*, *Penicillium* and *Cladosporium*, were the predominant fungal genera in indoor air and the different substrates tested. Its physiological potential represents a high micobiodeterioration risk. The conducted studies allowed establishing efficient preventive policies in order to extend the existent of these particular Cuban cultural assets.

### Keywords

Conservation  
Biodeterioration  
Environmental quality  
Cultural Heritage

## Introducción

La necesidad de la conservación, especialmente preventiva, nace de la inexorable condición perecedera de la materia que forma parte de los bienes culturales muebles e inmuebles [1]. Numerosos factores inciden en su deterioro causando alteraciones no deseadas en las propiedades físico químicas de los materiales constituyentes, poniendo en riesgo de pérdida sus valores y el disfrute del patrimonio cultural para las generaciones presentes y futuras [2-4].

Entre los agentes de deterioro que pueden dañar a los bienes patrimoniales se encuentran los organismos vivos que utilizan estos materiales como nutrientes o sustrato para su crecimiento y desarrollo, provocando serias afectaciones en su composición química y alterando su estructura físico-mecánica, además de provocar daños estéticos que afectan la lectura correcta de su mensaje. Son muchos los organismos vivos responsables del biodeterioro en museos, archivos, bibliotecas, edificaciones y monumentos históricos, destacando los hongos por su poder deteriorante y frecuencia de aparición dadas las características de clima tropical húmedo típicas de Cuba [5]. Estos microorganismos son heterótrofos y pueden colonizar numerosos sustratos por su amplia diversidad fisiológica y los diferentes mecanismos de dispersión de sus esporas especialmente a través del aire [6]. Esto les permite sedimentar o impactar sobre la superficie de bienes patrimoniales y bajo condiciones ambientales favorables colonizar sus sustratos materiales, crecer y desarrollarse, desencadenando una infestación fúngica activa responsable del biodeterioro de cualquier exponente del patrimonio cultural.

El conocimiento de la biología y los mecanismos de deterioro de estos organismos, constituye la base fundamental de la lucha integral contra plagas en la conservación preventiva del patrimonio cultural [2]. En este sentido la Biología como ciencia aplicada a la conservación patrimonial se ha convertido en una herramienta esencial para la puesta en marcha de planes

eficientes de conservación preventiva que permiten controlar, mitigar o eliminar los riesgos potenciales de deterioro que los organismos vivos pueden representar.

La Microbiología es una disciplina muy importante en este sentido, pues permite la identificación y caracterización cuantitativa y cualitativa de los microorganismos que infestan los bienes culturales, así como la búsqueda de mecanismos para su tratamiento y control, evitando los daños que son capaces de provocar a partir de su actividad vital. La Aerobiología, y más específicamente la Aeromicrobiología, se han convertido en una herramienta esencial e indispensable en los estudios de calidad microbiológica ambiental en instituciones culturales responsables de la salvaguarda del patrimonio. A través de diferentes metodologías permite conocer la concentración microbiana del aire interior de locales destinados al almacenamiento o exposición de sus colecciones, así como la identificación taxonómica y el estudio de sus potencialidades biodeteriorantes. De esta manera se puede valorar eficientemente el riesgo real de deterioro fúngico al que se exponen las colecciones, cuyos ejemplares en múltiples ocasiones pueden ser únicos por sus valores culturales y/o históricos.

El grupo de Biodeterioro del Laboratorio de Ciencias Aplicadas del Centro de Estudios de Conservación, Restauración y Museología, Universidad de las Artes (La Habana, Cuba), viene realizando numerosos estudios en este sentido. Estos han permitido conocer los hongos contaminantes de diferentes exponentes del patrimonio cubano y abordar de manera científica y eficiente su tratamiento y eliminación, así como la realización de estudios aeromicrobiológicos que permiten caracterizar la micobiota aereotransportada y asociada al polvo sedimentado en diferentes ambientes interiores destinados al almacenamiento de importantes colecciones de valor patrimonial [7-8].

El objetivo del presente trabajo es demostrar, con resultados concretos de investigación, la importancia de la Microbiología Aplicada como herramienta esencial en la salvaguarda del patrimonio cultural.

## Materiales y métodos

### Muestreo microbiológico de superficies contaminadas

Se tomaron muestras directas en materiales pétreos de edificaciones que funcionan como museo, en una escultura de madera con función de relicario y en una pintura de caballete sobre lienzo. La toma se realizó mediante la técnica del hisopado en forma aséptica [9]. Posteriormente, el hisopo se sumergió en un tubo que contenía 1 ml de agua destilada estéril y se agitó bien la muestra a intervalos, durante 45 minutos. Luego se hicieron diluciones seriadas y se sembraron a profundidad en placas de 110 mm empleando el medio de cultivo Agar Malta (MA) suplementado con NaCl (7,5 %) [10]. Las placas se incubaron de 5 a 7 días a 30 °C. Concluida la incubación, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia para poder determinar la concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonias por centímetro cuadrado de superficie (UFC/cm<sup>2</sup>).

### Muestreo microbiológico ambiental

El muestreo se llevó a cabo en ambientes interiores destinados al almacenamiento y resguardo de bienes culturales de valor patrimonial siguiendo el método de sedimentación descrito por Omeliansky [11]. Para ello, placas Petri de 110 mm que contenían el medio MA suplementado con NaCl (7,5 %) [10], se colocaron abiertas aproximadamente a 2 metros del piso y se expusieron por 5 minutos. Se muestrearon *n* puntos por triplicado según las dimensiones del local de acuerdo con Sánchis [12].

Las placas fueron trasladadas al laboratorio manteniéndose de forma invertida y se incubaron durante 5 a 7 días a 30 °C. Concluida la incubación, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia para poder determinar la concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/m<sup>3</sup>) según la ecuación descrita por Omeliansky [11].

### Identificación de los aislados

Se realizó el aislamiento y la depuración de las diferentes cepas fúngicas que crecieron en las placas correspondientes a los diferentes muestreos. Para la identificación de hongos hasta género se tomaron en cuenta las características culturales y morfológicas observadas al estereoscopio. Para su ubicación en géneros se siguieron los criterios de Barnett y Hunter [13], dichas características se determinaron a partir de colonias de cada aislado obtenidas por inoculación en Agar Extracto de Malta (MEA).

Para la observación de las características micromorfológicas se montan microcultivos según la técnica de Casadesús y Rojas [14], así como preparaciones en fresco con lactofenol. Para la observación de

estructuras hialinas se utilizó lactofenol-azul algodón [15] o lactofenol-fushina [16]. Las observaciones se realizaron en un microscopio Leitz Metallux 3.

Las especies ubicadas en los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* se identificaron siguiendo los procedimientos sugeridos por Klich y Pitt [17-19]; estas metodologías están basadas primeramente en los caracteres morfológicos y en características fisiológicas como son las relaciones agua temperatura, la pigmentación y el grado de desarrollo de las colonias en ciertos medios. Estas características se determinan a los 7 días de inoculadas las colonias en los medios Agar Czapek Extracto de Levadura (CYA), incubadas a 5 °C, 25 °C y 37 °C, y en los medios MEA y CYA con 20 % sacarosa (CYA20S) incubadas a 25 °C.

La determinación de la densidad relativa (DR) y la frecuencia relativa (FR) de las colonias en el aire y en polvo se realizó según Smith [20], Esquivel *et al.* [21] y Saleh [22], respectivamente.

### Muestreo microbiológico del polvo

La toma de la muestra se realizó utilizando una aspiradora eléctrica o brochas de cerdas suaves, colectando el polvo depositado sobre superficies. Posteriormente se adicionó 0,1 g del polvo colectado en 1 ml de agua destilada estéril, se agitó bien la muestra a intervalos durante 45 minutos. Luego se hicieron diluciones seriadas y se sembraron a profundidad en placas de 110 mm en el medio de cultivo MA con NaCl (7,5 %). Las placas se incubaron invertidas durante 5 a 7 días a 30 °C.

Concluida la incubación, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia para poder determinar la concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonias por gramo de polvo aspirado (UFC/g).

### Caracterización de la actividad deteriorante

La caracterización de la actividad deteriorante de los aislados fúngicos con mayores densidades y frecuencias relativas se realizó mediante pruebas fisiológicas cualitativas como: actividad celulolítica y producción de pigmentos, actividad amilolítica, actividad proteolítica y producción de ácidos [23-24].

### Análisis biométricos

En algunos estudios aerobiológicos más completos como es el caso de los realizados en el Museo Nacional de la Música, a los resultados obtenidos se les realiza análisis estadístico usando el programa *Statgraphics Centurion* XV, y se aplican: gráficos de control individuales para analizar la distribución de los valores puntuales; ANOVA simple por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para determinar la influencia de los factores ambientales monitorizados sobre la variable de respuesta; análisis multifactorial para



**Figura 1.** Museo Biblioteca Servando Cabrera. Muestra de la infestación fúngica en paredes del vestíbulo después del corte de electricidad que interrumpió el funcionamiento del aire acondicionado central tras el paso de un huracán. La ampliación representa un área de 10 cm<sup>2</sup>.

obtener las posibles correlaciones ordinales (Pearson y Spearman), correlaciones parciales y covarianzas, establecer las relaciones entre la variable de respuesta y los factores, además de corroborar la similitud entre los muestreos; análisis de cluster por el método del vecino más cercano.

## Resultados y discusión

Entre los estudios de materiales infestados por hongos se presentan los resultados de muestreos realizados en 1) materiales pétreos de edificaciones que funcionan como museo; 2) escultura de madera policromada con función de relicario y 3) pintura de caballete sobre lienzo. Además se presentan los resultados obtenidos de muestreos aeromicrobiológicos de ambientes interiores destinados al almacenamiento y resguardo de bienes culturales de valor patrimonial.

### Museo Biblioteca Servando Cabrera Moreno

En este museo el paso de un huracán provocó un corte de electricidad durante todo un fin de semana. Esto causó la elevación brusca y mantenida de la humedad relativa, debido al fallo del sistema de climatización central y una severa infestación fúngica en las paredes interiores del inmueble (Figura 1). Esta situación demuestra que la climatización mecánica con cierre hermético de las entradas naturales de aire a la edificación no es la solución más eficiente para controlar los parámetros climáticos y evitar las infestaciones microbianas.

Las concentraciones microbianas obtenidas durante el fenómeno de infestación (Tabla 1) corresponden mayoritariamente a ambientes no contaminados, según escala propuesta por Omeliansky [11, 24-25] quien estableció que: concentraciones microbianas menores de 500 UFC/m<sup>3</sup> son propias de un ambiente no contaminado, si la concentración microbiana está entre 501 y 750 UFC/m<sup>3</sup> el ambiente es poco contaminado, si se encuentra entre 751 y 1000 UFC/m<sup>3</sup> es ligeramente contaminado, si está entre 1001 y 1500 UFC/m<sup>3</sup> es un ambiente contaminado y si es mayor de 1501 UFC/m<sup>3</sup> es altamente contaminado.

Estos resultados demuestran que una baja concentración fúngica del aire, como es el caso del vestíbulo principal donde se apreciaba la mayor infestación fúngica sobre las paredes (Figura 1), puede representar un elevado riesgo de contaminación de las superficies expuestas si los parámetros climáticos favorecen su deposición y posterior desarrollo de verdaderas biopelículas fúngicas sobre las superficies. Este crecimiento fúngico representaba además una fuente interna de contaminación microbiológica para el ambiente interior de estas salas, que era necesario erradicar.

La ejecución de las recomendaciones sugeridas por los especialistas de nuestro laboratorio: ventilación abundante, limpieza mecánica y posterior aplicación de cloruro de benzalconio al 5 %, sal de amonio cuaternario de elevado espectro biocida para hongos y bacterias reportada como biocida aplicable a bienes patrimoniales a partir del respeto al ambiente y el hombre [26-28]; demuestran la mejora de la calidad microbiológica del aire interior de la institución (Tabla 1) y consecuente disminución del riesgo de deterioro microbiano a que



**Tabla 1**

Resultados del muestreo ambiental en el Museo Servando Cabrera Moreno

Salas	Agosto 2005		Noviembre 2006	
	UFC/m <sup>3</sup>	Grado de contaminación (Omeliánsky)	UFC/m <sup>3</sup>	Grado de contaminación (Omeliánsky)
Vestíbulo principal	66,5	No contaminado	160	No contaminado
	133,5		424	
	183,5		364	
	66,5		115	
	116,5		104	
Arte erótico I	83,5	No contaminado	160	No contaminado
	700	Poco contaminado	104	
	266,5	No contaminado	320	
Servando coleccionista	166,5	No contaminado	400	No contaminado
	2100	Altamente contaminado	160	
	283,5	No contaminado	160	

estaban sujetas las colecciones expuestas. Dichas medidas permitieron disminuir los valores de humedad relativa de estos locales así como la fuente interior de contaminantes fúngicos producto de la infestación.

Al realizar la identificación de los aislados fúngicos del aire se detectó un predominio de los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, con DR de 35, 18 y 30 % respectivamente, seguidos por un 8 % de *Alternaria*, 6 % de *Fusarium* y 3% de hongos con micelio blanco no esporulado. Los géneros detectados con mayores DR son comúnmente aislados en ambientes interiores de museos, archivos y bibliotecas según los resultados publicados por numerosos autores [29-30]. Estos plantean que dichos géneros son los géneros más representativos en el aire tanto de interiores como de exteriores, por lo que se consideran contaminantes por excelencia del patrimonio cultural. Otros autores [31-37] han demostrado que los conidios de *Aspergillus* y *Penicillium* en general son más numerosos en el aire de interiores que de exteriores de lo que se deduce que muchos de ellos provienen de los materiales y soportes contaminados en dicho medio. *Penicillium* es el género más abundante en ambientes interiores de viviendas y *Aspergillus* es el más común en el aire de viviendas húmedas al igual que en archivos, museos y almacenes soterrados seguido de *Penicillium* [33].

Los muestreos directos sobre diferentes sustratos (Tabla 2) arrojaron la presencia de especies de los géneros más abundantes antes mencionados, demostrándose una vez más que a pesar de no existir concentraciones elevadas en el aire de los espacios interiores, el aumento de la humedad relativa del ambiente, provoca un incremento de la humedad de los sustratos que permite la existencia de una actividad de agua apropiada para el desarrollo

fúngico, lo que representa un riesgo potencial de deterioro biológico para las colecciones almacenadas en el museo.

Este estudio permitió identificar las colonias de hongos en crecimiento activo sobre diferentes sustratos y tomar las medidas necesarias para la desinfestación de las obras. Se comenzó por su aislamiento para evitar la propagación de la infestación a otras piezas expuestas en los mismos espacios, se trasladaron a cuarentena para su tratamiento con ventilación, disminuir la humedad de las piezas e inactivar el crecimiento fúngico, posterior limpieza mecánica y aplicación de compresas de cloruro de benzalconio al 5 %.

### Escultura de madera policromada con función de relicario, *San Amandi*

La escultura de madera *San Amandi* (Figura 2), perteneciente al antiguo Centro Nacional de Conservación, Restauración y Museología (CENCREM), iba a ser objeto de una restauración para recuperar la policromía original y eliminar tratamientos anteriores que afectaban significativamente su estética, además de presentar un estado de suciedad generalizada. Previo a la restauración fue sometida a varios análisis científicos entre ellos un muestreo microbiológico de zonas de la superficie donde se apreciaban manchas de posible crecimiento fúngico que era necesario identificar.

Se aislaron e identificaron especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, considerados como se ha mencionado antes contaminantes por excelencia del Patrimonio Cultural, frecuentes en espacios interiores y en sustratos de naturaleza orgánica, como es el caso de la escultura objeto de estudio.

**Tabla 2**

Relación de hongos aislados en las obras del Museo Servando Cabrera en Agosto 2005

Salas	Zona muestreada	Hongos aislados
Vestíbulo principal	Paredes	<i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Penicillium nalgiovense</i> <i>Aspergillus candidus</i> <i>Aspergillus oryzae</i>
	Conducto aire acondicionado	<i>Penicillium nalgiovense</i>
Taller del artista	Carpeta de madera	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus niger</i>
Transitoria	Oleo Retrato de Servando	<i>Aspergillus oryzae</i>
	Marco del óleo "Día blanco en la laguna" de Tomás Sánchez	<i>Aspergillus niger</i>
Servando coleccionista	Escalera de la sala (lateral)	<i>Cladosporium sp.</i> <i>Penicillium nalgiovense</i>
	Castañuela de madera	<i>Aspergillus flavus</i>
Arte erótico I	Paredes	<i>Cladosporium cladosporioides</i>
	Falso techo abofado	<i>Aspergillus niger</i>
	Marco puerta de entrada	<i>Aspergillus niger</i>
Presagio	Paredes	<i>Penicillium nalgiovense</i> <i>Aspergillus niger</i>
	Óleo "Lo que nos pertenece"	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus oryzae</i>
	Marco de madera del óleo "Lo que nos pertenece"	<i>Aspergillus ochraceus</i>
	Marco de madera del óleo "La soledad y Sevilla"	<i>Aspergillus niger</i>
Servando en III tiempos	Marco del óleo "Territorio"	<i>Aspergillus niger</i>
	Óleo "Columna humana"	<i>Cladosporium sp.</i>


**Figura 2.** Imagen de la escultura de madera policromada *San Amándi* y detalles del estado de conservación al momento de comenzar el trabajo de restauración.

**Tabla 3**

Especies fúngicas aisladas de la superficie de la escultura *San Amandi*, su densidad relativa (DR), actividad celulolítica y acidógena (pH)

Especies fúngicas identificadas	DR (%)	Actividad celulolítica	pH
<i>A. niger</i>	30	+++	4,76
<i>A. flavus</i>	27	+++	4,63
<i>A. candidus</i>	4	++	6,02
<i>A. terreus</i>	10	++	5,34
<i>A. oryzae</i>	12	+++	4,85
<i>A. parasiticus</i>	3	+	6,12
<i>A. tamarii</i>	3	++	5,90
<i>P. nalgiovense</i>	6	++	5,38
<i>P. funiculosum</i>	5	+	4,87

Actividad celulolítica: alta (+++); moderada (++); baja (+).

Las especies aisladas con mayor densidad relativa fueron *A. niger* y *A. flavus*, seguidas por *A. terreus* y *A. oryzae*, especies de ascomicetes consideradas contaminantes primarios de sustratos orgánicos, lo cual se evidencia con la elevada actividad celulolítica y la fuerte actividad acidógena demostrada (Tabla 3). Estas especies han sido consideradas de importancia para el biodeterioro, pues son capaces de crecer a expensas de una gran variedad de sustratos [33] y para la salud humana [17, 38] al ser dos de los principales causantes de la aspergilosis bronquial alérgica además de otitis e infecciones pulmonares [39].

Todas las especies aisladas mostraron actividad celulolítica en mayor o menor grado, lo que significa que son capaces de excretar celulasas, enzimas capaces de degradar el componente fundamental de la madera, la celulosa [40-42]. Además, todas provocaron una disminución del pH inicial del medio de inoculación, lo que significa que producen ácidos orgánicos capaces de llevar a cabo la hidrólisis ácida de la celulosa, así como de acidificar el sustrato de la escultura.

En la Figura 3 se pueden apreciar fotografías de los aislamientos microbianos realizados de la superficie exterior de la escultura, donde se aprecian las características morfo culturales de las colonias pertenecientes a los géneros antes mencionados.

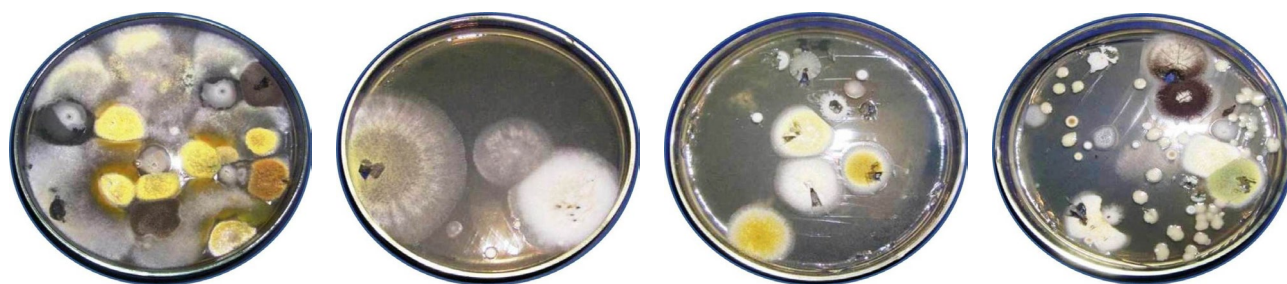
### **Pintura de caballete *Al Amor por la Planta y por la Flor... Cantaré***

La pintura de caballete *Al Amor por la Planta y por la Flor... Cantaré* (Figura 4) del pintor de la plástica cubana Raúl César Santo Serpa, creada en la década de los 70 del pasado siglo, pertenece a la colección de arte del Museo Nacional de la Música en Cuba. Ante la presencia de determinadas afectaciones, que de no ser resueltas se podían agudizar y representaban un elevado riesgo potencial de deterioro, se decidió la intervención directa de la obra y el análisis de conservación para su posterior mantenimiento.

No fueron detectadas afectaciones evidentes de crecimiento microbiano en el examen visual de la obra. No obstante, se decidió realizar un muestreo microbiano para analizar la presencia de propágulos fúngicos asociados a la suciedad por polvo acumulado en diferentes sectores del reverso de la misma. El polvo sedimentado constituye un ecosistema al que se asocia una biocenosis microbiana formada por hongos y bacterias que entran en contacto directo con las superficies de las obras y bajo condiciones ambientales adecuadas pueden desencadenar una infestación activa. Esto se debe fundamentalmente al desarrollo y crecimiento de hongos filamentosos y levaduras, que provocan daños físicos y químicos sobre los soportes mencionados lo que significa un riesgo potencial de deterioro biológico que pone en peligro la conservación de la obra.

En la Figura 5 se muestran los resultados de los muestreos microbianos directos realizados en la obra donde se aprecia el crecimiento fúngico asociado a la suciedad generalizada que presentaba la obra por el reverso.

En la Tabla 4 se aprecian las especies identificadas a partir de los aislados de las muestras tomadas. En ellas predominaron representantes de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, reportados frecuentemente como agentes



**Figura 3.** Colonias de microorganismos obtenidas de los muestreos microbiológicos realizados en diferentes zonas de la superficie exterior de la escultura *San Amandi*.





**Figura 4.** Anverso de la pintura de caballete (óleo sobre lienzo) *Al Amor por la Planta y por la Flor... Cantaré*, del pintor cubano Raúl César Santo Serpa.

importantes del biodeterioro en bienes muebles de naturaleza orgánica especialmente celulósica como es este caso [5, 33, 43]. Se detectó además, la presencia de *Fusarium* sp. y levaduras.

Teniendo en cuenta además, la condición de almacenamiento de la obra y la importancia de la calidad ambiental de los depósitos de bienes patrimoniales para garantizar la conservación preventiva de éste y otras obras almacenadas, se decidió realizar paralelamente un muestreo micológico del aire interior y una monitorización piloto de los parámetros climáticos del depósito donde permanecerá la obra una vez terminado el proceso de intervención al que estaba siendo sometida.

Las concentraciones fúngicas detectadas oscilaron entre 821 y 1242 UFC/m<sup>3</sup> de aire, con un valor medio para el local 1026 UFC/m<sup>3</sup> (Tabla 5). Teniendo en cuenta que la contaminación fúngica promedio del aire interior del depósito es superior a 1000 UFC/m<sup>3</sup>, se puede considerar como un local contaminado, pues al comparar estos valores con la escala propuesta por Omeliansky para evaluar el grado de contaminación del aire [11], esta es la categoría que le corresponde a este local para definir su calidad microbiológica.

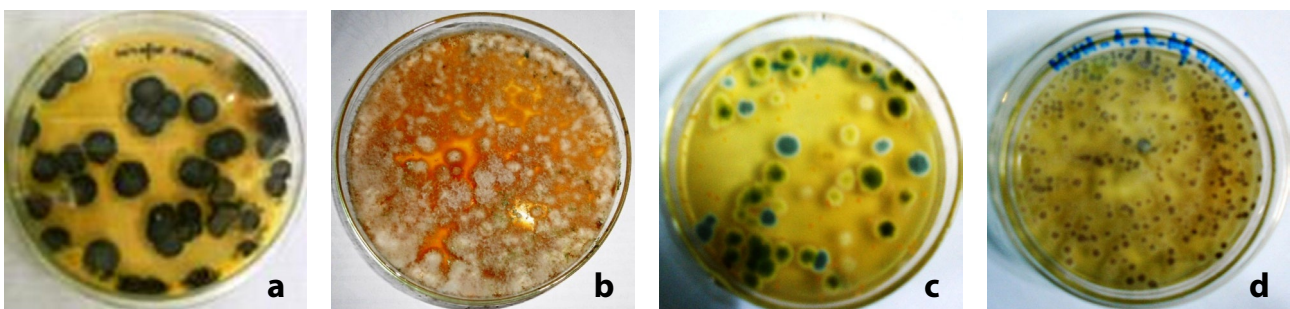
**Tabla 4**

Hongos aislados de los muestreos directos en la pintura de caballete *Al Amor por la Planta y por la Flor... Cantaré*.

Sustrato muestreado	Aislados fúngicos
Madera borde inferior	<i>Fusarium</i> sp. <i>Penicillium</i> sp.
Madera borde superior	<i>Penicillium</i> sp. 1 <i>Penicillium</i> sp. 2 <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Levadura</i>
Borde inferior del reverso	<i>Aspergillus</i> sp. <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Penicillium</i> sp.
Borde superior del reverso	<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Penicillium</i> sp.

No obstante, es importante señalar que aunque hace varios años diferentes grupos multidisciplinares de científicos han dedicado esfuerzos y tiempo en los estudios de calidad microbiológica del aire interior de locales con diferentes prestaciones, no existe en la actualidad un consenso internacional en cuanto a regulaciones que establezcan valores límites que permitan clasificar a un ambiente interior de contaminado o no.

En la literatura especializada se encuentran disponibles algunos reportes más recientes para niveles de contaminación fúngica en ambientes interiores. En general muchos investigadores e instituciones incluyendo la Organización Mundial de la Salud (OMS) plantea que un ambiente interior con una concentración mayor a 1000 UFC/m<sup>3</sup> se considera contaminado y no saludable [44-46]. En España se elaboró una norma de certificación de calidad ambiental de aplicación a los ambientes interiores de todo tipo de recintos, instalaciones y edificaciones, excepto aquellas que se destinan exclusivamente a la actividad desarrollada en procesos industriales y/o agrícolas, en la que se consideró para hongos, calidad de aire con confort por debajo de 200 UFC/m<sup>3</sup> [47]. En Brasil se considera que un ambiente interior con una concentración fúngica superior a las 700 UFC/m<sup>3</sup>, representa un ambiente



**Figura 5.** Aislados obtenidos de los muestreos directos por hisopado estéril: a) madera borde superior; b) madera borde inferior; c) reverso inferior del lienzo; d) reverso superior del lienzo.



**Tabla 5**

Concentración fúngica del aire del depósito de Arte del MNM

Concentración fúngica	UFC/m <sup>3</sup> de aire
Concentración mínima	821
Concentración media	1026
Concentración máxima	1242

contaminado [48]. Y por su parte en los Estados Unidos, la American Conference of Industrial Hygienists y US Public Health Service proponen que 200 UFC/m<sup>3</sup> resulta un valor preocupante para bioaerosoles fúngicos [49].

Teniendo en cuenta el riesgo de biodeterioro material en el ámbito del patrimonio cultural, dentro de la Unión Europea otros autores plantean que 150 UFC/m<sup>3</sup> debe ser el límite de hongos permisibles para que el ambiente interior de locales en instituciones patrimoniales se considere de calidad y garantizar así la salvaguarda de las colecciones almacenadas en instituciones como museos, archivos y bibliotecas [50]. Si tenemos en cuenta estas últimas consideraciones, las concentraciones fúngicas en este local corresponden a un ambiente interior con un elevado grado de contaminación fúngica y un elevado riesgo potencial de deterioro fúngico que ponen en riesgo la conservación de los valores del patrimonio allí atesorado.

Los hongos aislados con mayor densidad relativa, que demuestra su representatividad en el aire del local estudiado, correspondieron nuevamente a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* fundamentalmente (Figura 6), hongos comúnmente reportados como contaminantes fúngicos de ambientes interiores, seguidos por *Cladosporium*, los tres géneros reportados como contaminantes por excelencia del Patrimonio Cultural como se ha planteado anteriormente.

El género *Aspergillus* mostró además la mayor diversidad ecológica de los aislados fúngicos del aire (Figura 7), representado por 7 especies dentro de las cuales mostraron las mayores densidades relativas *A. flavus* y *A.*

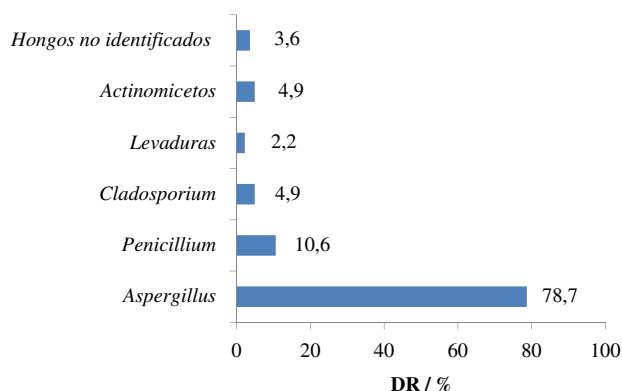
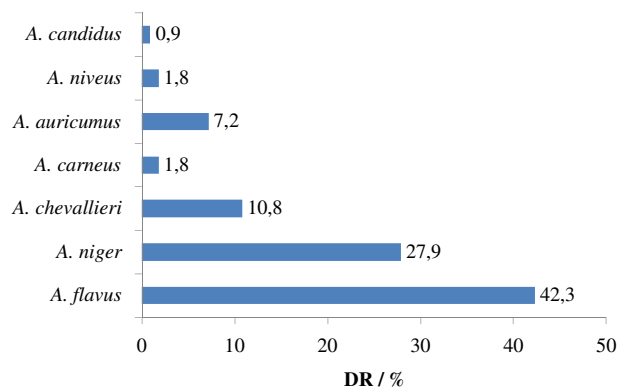
*niger*, dos de las especies comúnmente encontradas en ambientes interiores, consideradas como colonizadores fúngicos primarios de sustratos de naturaleza orgánico, por ser especies osmofílicas u osmotolerantes que no requieren de los niveles de actividad de agua ( $a_w$ ) necesarios normalmente para el desarrollo vegetativo de los hongos sobre un sustrato determinado ( $a_w \geq 0,65$ ), lo que quiere decir que estas especies son capaces de desarrollarse a bajas humedades relativas sobre sustratos con bajo contenido de agua [5, 51]. Esto refuerza su papel e interés en el deterioro fúngico de sustratos orgánicos presentes en obras del patrimonio como pueden ser aquellos encontrados en una pintura de caballete.

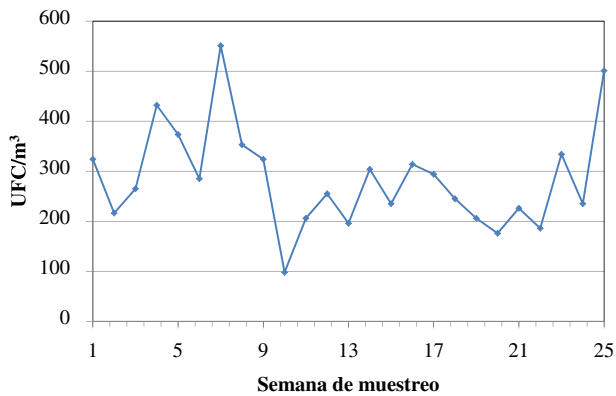
### Caracterización de la microbiota aerotransportada y asociada al polvo sedimentado en el depósito documental del Museo Nacional de la Música (MNM) durante una estación de lluvia

Para caracterizar la micobiota ambiental de este depósito se llevaron a cabo 25 muestreos semanales consecutivos durante la época de lluvia del 2011 (mayo-octubre), y así evaluar el riesgo potencial de deterioro fúngico al que se exponen las valiosas colecciones documentales de este museo.

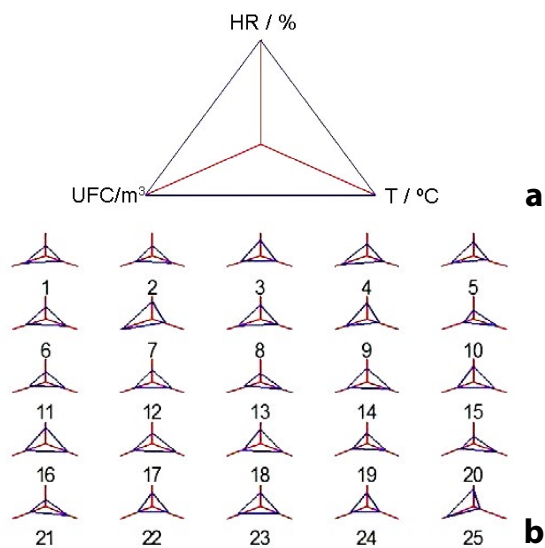
En el análisis de los resultados obtenidos del comportamiento de la concentración de contaminantes fúngicos aislados del aire durante el período estudiado se aprecia que la media de las concentraciones fúngicas detectadas en cada muestreo oscilaron entre 98 y 551 UFC/m<sup>3</sup> de aire (Figura 8), con medias mensuales comprendidas entre  $226 \pm 42$  y  $452 \pm 139$  UFC/m<sup>3</sup> de aire, concentraciones que como se explicó anteriormente pueden ser consideradas elevadas para la conservación de colecciones en museos, archivos y bibliotecas, haciendo que en este sentido exista un ambiente contaminado con baja calidad microbiológica ambiental.

El análisis estadístico del comportamiento de la micobiota aérea y los parámetros climáticos de temperatura y humedad relativa demuestran que existe un comportamiento regular de los mismos y por tanto

**Figura 6.** Densidad relativa (DR) de los aislados microbianos del aire.**Figura 7.** Densidad relativa (DR) de los aislados del género *Aspergillus*.



**Figura 8.** Distribución de la concentración fúngica del aire interior del depósito de fondos documentales del MNM en la época de lluvia comprendida entre mayo-octubre del 2011.



**Figura 9.** Gráficos que muestran el control individual de las concentraciones fúngicas del aire respecto a los valores de temperatura y humedad relativa en cada muestreo. *a)* representa las condiciones ideales de la correlación; *b)* indica el comportamiento de los tres parámetros analizados en cada muestreo realizado, donde se aprecia una distribución similar de las tres variables en la mayoría de los muestreos realizados.

la existencia de un ambiente homogéneo respecto a los parámetros analizados a lo largo de toda la temporada lluviosa (Figura 9).

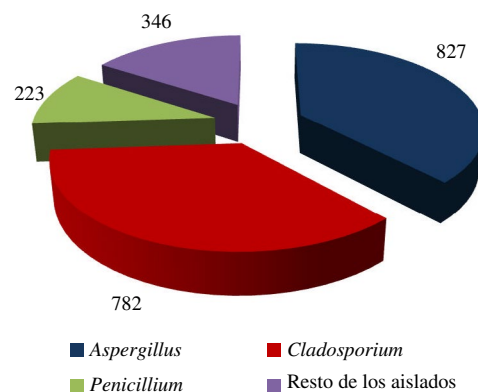
Una vez más al analizar la distribución de los géneros aislados se puede observar la prevalencia de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* respecto al resto de los aislados (Figura 10).

Al realizar un test de correlación de Pearson a partir de la distribución normal de la muestra, los cuales se muestran en la Tabla 6, se puede constatar la existencia de una alta correlación positiva (63,8 %) entre la deposición de las esporas y propágulos fúngicos aerovagantes y la humedad relativa del aire, mientras existe una alta correlación negativa (63,5 %) respecto a la temperatura, y una moderada correlación negativa (59,3 %) entre los

parámetros climáticos de humedad relativa y temperatura, en todos los casos con un alto nivel de significación estadística, resultados que sustentan la estrecha relación existente entre los parámetros climáticos y la concentración microbiana del ambiente.

La Figura 11, muestra las densidades y frecuencias relativas de cada uno de los géneros aislados. Los representantes de los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* además de presentar las mayores densidades relativas dentro de los aislados, muestran además una frecuencia relativa del 100 % conjuntamente con los aislados pertenecientes a una colonia de micelio blanco no esporulado, que los convierte en géneros muy comunes en el ambiente aéreo del local según los criterios de clasificación ecológica en base a frecuencia de aislamientos [21] y por tanto los más representativos ecológicamente en el período muestreado e importantes desde el punto de vista de su potencial biodeteriogeno de las colecciones almacenadas en este local. En este sentido los aislados del género *Fusarium* y los aislados de colonia gris no esporulada que alcanzan una frecuencia superior al 60 % representan géneros comunes, mientras *Alternaria* y *Rhizopus* son géneros frecuentes en tanto *Mucor* y *Chrysosporium* fueron géneros muy raros y por tanto de poca importancia ecológica desde el punto de vista del biodeterioro material.

El polvo ambiental tiene una composición compleja y variable cualitativa y cuantitativamente [52] que depende, entre otros factores, de la dirección y velocidad de los vientos, la ubicación y el tamaño del local estudiado y de la estación del año. Entre sus componentes figuran microorganismos, sales solubles e insolubles en agua, partículas de carbón y de metales presentes como trazas, ácidos grasos y otros compuestos orgánicos sólidos o líquidos [53-54] constituyendo un verdadero arsenal

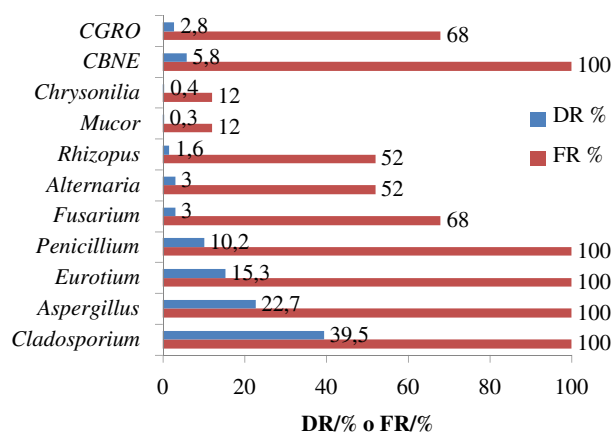


**Figura 10.** Distribución de los géneros más abundantes respecto al total de aislados del aire y ejemplos representativos de los muestreos micológicos del aire.

**Tabla 6**

Correlación ordinal de Pearson entre concentración fúngica, humedad relativa y temperatura del depósito

	HR vs UFC/m <sup>3</sup>	T vs UFC/m <sup>3</sup>	HR vs T
Correlación	0,6376	-0,6350	-0,5934
Pares de datos	25	25	25
p	0,0006	0,0006	0,0018



**Figura 11.** Densidad y frecuencia relativa de los géneros fúngicos aislados del aire interior del depósito de fondos documentales del MNM en la época de lluvia comprendida entre mayo-octubre del 2011. CNBE: colonia blanca no esporulada; CGRO: colonia gris algodonosa de reverso oscuro.

químico con una elevada capacidad potencial de provocar daños en los documentos, entre los que se pueden mencionar suciedad, abrasiones, manchas, amarillamiento y aspecto quebradizo del papel [55-56]. En la Figura 12 puede apreciarse la densidad microbiana y características culturales de las colonia fúngicas aisladas del polvo sedimentado, lo que demuestra la marcada presencia de diferentes taxa en este importante nicho ecológico, que representa un elemento relevante para la conservación del patrimonio cultural y muy sensiblemente en colecciones de naturaleza orgánica como el papel de las colecciones documentales.

**Tabla 7**

Resultados del procesamiento de los muestreos de polvo sedimentado

Parámetros	Semana 1	Semana 12	Semana 24	6 meses*
UFC / g	2,1×10 <sup>5</sup>	1,2×10 <sup>5</sup>	1,5×10 <sup>5</sup>	1,7×10 <sup>5</sup>
Empolvamiento mg/cm <sup>2</sup>	4,1	2,8	2,4	19,2 mg/cm <sup>2</sup> **
HR / %	60	61	66	67
T / °C	30	31	29	30

\*valor promedio de los registros de 6 meses

\*\* en 30 días

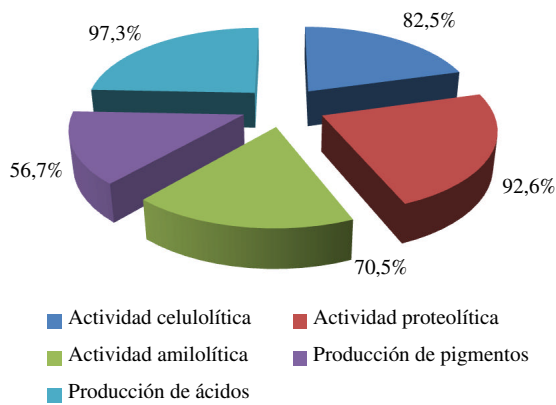
Los valores obtenidos de carga total de polvo sedimentable (Tabla 7) demuestran que la cantidad de polvo que se acumula en el depósito bibliográfico del Centro Documental y Archivo del Museo Nacional de la Música alcanza un valor promedio de 19,2 mg/cm<sup>2</sup> × 30 días, valores que coinciden con los reportados por otros investigadores nacionales e internacionales que reportan concentraciones en el orden de los miligramos por mes, similares a las obtenidos por De la Paz [57] en un estudio realizado en depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba y por Valdés *et al.* [58] en un estudio realizado en el interior de la Basílica del Convento San Francisco de Asís. Este valor de empolvamiento es superior a los normados en la Norma Cubana (0,5 mg/cm<sup>2</sup> × 30 días) [59] y en la Norma Suiza (0,6 mg/cm<sup>2</sup> × 30 días) [60] y, en consecuencia, se puede decir que en el depósito existe una significativa contaminación por polvo que se acumula sucesivamente a lo largo del tiempo.

La caracterización fisiológica de los aislados fúngicos es un elemento esencial para valorar el riesgo potencial de biodeterioro existente en los locales donde se almacenan o exhiben los bienes patrimoniales. La Figura 13 muestra los por cientos de diferentes actividades enzimáticas que muestran las especies de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* aisladas en el ambiente interior del depósito documental del Museo Nacional de la Música.

Teniendo en cuenta la actividad fisiológica de las cepas de mayor densidad relativa en los muestreos realizados se puede afirmar que estos taxa constituyen un riesgo de deterioro potencialmente peligroso para las colecciones bibliográficas, por lo que es importante regular adecuadamente los valores de humedad relativa y temperatura para evitar que la esporas de las especies fúngicas más representativas depositadas sobre las colecciones puedan germinar, desarrollarse vegetativamente y deteriorar de manera sensible los ejemplares contaminados a partir de su actividad fisiológica altamente deteriorante.



**Figura 12.** Imágenes del empolvamiento sobre superficies (libros y cajuelas) y ejemplos de aislamientos fúngicos del polvo sedimentado.



**Figura 13.** Comportamiento de las actividades enzimáticas detectadas en los aislados con mayor por ciento de densidad relativa (*Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*).

## Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados expuestos queda demostrada la importancia de Microbiología Aplicada en la conservación integral del Patrimonio Cultural y su empleo por parte de los científicos de la conservación en diferentes problemáticas para la búsqueda de soluciones eficientes al biodeterioro fúngico de los bienes muebles e inmuebles.

Desde hace varios años los estudios aeromicrobiológicos en ambientes interiores de museos, archivos y bibliotecas han ganado un importante papel en el ámbito de la conservación integral de las colecciones con diferentes valores históricos, culturales y artísticos que albergan estas instituciones, tributando de manera esencial a la salvaguarda del Patrimonio Histórico Cultural y su transmisión para el disfrute de generaciones presentes y futuras, al permitir la caracterización cuantitativa y cualitativa de los microorganismos presentes en diferentes nichos de ambientes interiores y nos permite desde la óptica de la conservación preventiva:

- la elaboración de calendarios de esporas fúngicas;
- la identificación de las épocas del año de mayores concentraciones;
- el diseño de bases de datos de varios años para la creación de modelos de predicción.

## Referencias

- Rodrigues, J. D., 'Conservação de monumentos. Aspectos técnicos e metodológicos e seu enfoque na conservação da pedra', *Geotecnica* **89** (2000) 15-28.
- Caneva G.; Nugari M. P.; Salvadori O., *La Biología en la Restauración*, Editorial Nerea – Junta de Andalucía, Guipúzcoa – Sevilla (2000).
- Valentín N., 'El biodeterioro de materiales orgánicos', documento, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.508.5786> (acceso en 2016-04-18).
- Villalba S.; Mikán J.F.; Sánchez J., 'Actividades hidrolíticas y caracterización isoenzimáticas de poblaciones microbianas

aisladas del patrimonio documental en el Archivo General de Colombia', *Nova Publicación Científica* **2** (2004) 50-57.

- Molina, A., '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 Licenciado, Universidad de La Habana, La Habana (2012).
- Madigan, M. T.; Martinko, J. M.; Stahl, D. A.; Clark, D. P., *Brock Biology of Microorganisms*, 13th ed., Pearson Education (2012).
- Rodríguez, J. C.; Rodríguez, B.; Borrego, S. F., '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** (2014) 123-146, <http://revistas.unlp.edu.ar/domus/issue/view/867> (acceso en 2016-04-18).
- Fuentes, K.; Rodríguez, B.; Rodríguez, J. C., 'Evaluación de los agentes microbiológicos que causan procesos de biodeterioro en el Museo Ernest Hemingway', *Patrimonio y Desarrollo* **2**(9) (2011) 7-10.
- Pinzari, F.; Pasquariello, G.; De Mico, A., 'Biodeterioration of paper: A SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions', *Macromolecular Symposia* **238** (2006) 57-66, doi:10.1002/masy.200650609.
- Rojas, T. I.; Martínez, E.; Gómez, Y.; Alvarado, Y., 'Airborne spores of *Aspergillus* species in cultural institutions al Havana University', *Grana* **41**(3) (2002) 190-193, doi: 10.1080/001731302321042641.
- Bogomolova, E.V.; Kirtsideli, I., 'Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg underground railway system', *International Biodeterioration and Biodegradation* **63**(2) (2009) 156-160, doi: 10.1016/j.ibiod.2008.05.008.
- Sánchez, J., 'Los nueve parámetros más críticos en el muestreo microbiológico del aire', *Técnicas de Laboratorio* **276** (2002) 858-862.
- Barnett H. L.; Hunter B. B., *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 3rd ed., Burgess Publishing Co., Minneapolis (1987).
- Casadesús, L.; Rojas, T.I., *Micología. Manual Práctico*, Ed. MES, Cuba (1981).
- Booth, C., 'Introduction to general methods', in *Methods in Microbiology*, vol. 4, ed. C. Booth, Academia Press, London – New York (1971) 1-47, doi:10.1016/S0580-9517(09)70006-6.
- Klich, M. A.; Pitt, J. I., *A Laboratory Guide to the Common Aspergillus and their Teleomorphs*, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, North Ryde (1994).
- Klich M., 'Identification of clinically relevant aspergilli', *Medical Mycology* **44**(S1) (2006) S127-S131, doi: 10.1080/13693780600796546.
- Pitt, J. L., 'The current role of *Aspergillus* and *Penicillium* in human and animal health', *Journal of Medical and Veterinary Mycology* **32**(S1) (1994) 17-32, doi: 10.1080/02681219480000701.
- Pitt, J. L., *A Laboratory Guide to Common Penicillium Species*, 3rd ed., Food Science Australia, North Ryde (2000).
- Smith, G., *Ecology and Field Biology*, 2nd ed., Harper & Row, New York (1980).
- Esquivel, P. P.; Mangiaterra, M.; Giusiano, G.; Sosa, M. A., 'Microhongos anemófilos en ambientes abiertos de dos ciudades del noreste argentino', *Boletín Micológico* **18** (2003) 21-28.
- Saleh, A., 'Studies on fungal communities associated whit litter of plant cover at Al-Taif Province, Saudi Arabia', *Journal of King Abdul Aziz University. Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture Sciences* **18**(2) (2007) 87-98, doi:10.4197/met.18-2.7.
- Abrusci, C.; Martín-González, A.; Del Amo, A.; Catalina, F.; Collado, J.; Platas, G., 'Isolation and identification of bac-



- teria and fungi from cinematographic films', *International Biodeterioration y Biodegradation*, **56**(1) (2005) 58-68, doi:10.1016/j.ibiod.2005.05.004.
- 24 Borrego, S.; Guiamet, P.; Gómez de Saravia, S.; Batistini, P.; García, M.; Lavín, P.; Perdomo, I., 'The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs', *International Biodeterioration and Biodegradation* **64**(2) (2010) 139-145, doi:10.1016/j.ibiod.2009.12.005.
  - 25 Borrego, S.; Lavín, P.; Perdomo, I.; Gómez de Saravia, S.; Guiamet, P., 'Determination of indoor air quality in archives and biodeterioration of the documentary heritage', *ISRN Microbiology* **2012** (2012) doi:10.5402/2012/680598.
  - 26 Sameño, M.; Rubio, C., 'Métodos de control biológico aplicados a escultura en madera. Algunos ejemplos en el IAPH', *PH Boletín* **23** (1998) 46-50.
  - 27 Kumar, R.; Kumar, A. V., *Biodeterioration of the Stone in Tropical Environments. An Overview*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (1999) 30-34.
  - 28 Rodríguez, J.C.; Serrano, E.; Fuentes, K.; 'Alcance del deterioro fúngico en un mural cerámico de Amelia Peláez', *Patrimonio y Desarrollo* **2**(3) (2011) 6-9.
  - 29 Guiamet P.; Borrego S.; Lavín P.; Perdomo I.; Gómez de Saravia, S., 'Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentina and at the National Archive of the Republic of Cuba', *Colloid Surface B* **85**(2) (2011) 229-234, doi:10.1016/j.colsurfb.2011.02.031.
  - 30 Rojas T. I.; Martínez E.; Aira M. J.; Almaguer M., 'Aeromicrobiota de ambientes internos: comparación de métodos de muestreo', *Boletín Micológico* **23** (2008) 67-73.
  - 31 Meklin T.; Haugland R. A.; Reponen T.; Varma M.; Lummus Z.; Bernstein D.; Wymer L. J.; Vesper, S. J., 'Quantitative PCR analysis of house dust can reveal abnormal mold conditions', *Journal of Environmental Monitoring* **6**(7) (2004) 615-620, doi:10.1039/b400250d.
  - 32 Lignell, U., *Characterization of microorganisms in indoor environments*, Publications of the National Public Health Institute, Kuopio (2008), <http://www.ktl.fi/portal/4043> (acceso en 2009-04-02).
  - 33 Rojas T. I., 'Diversidad fúngica en ambientes exteriores de áreas urbanas de ciudad de La Habana y sus potencialidades en el biodeterioro', tesis de Doctor, Universidad de la Habana, La Habana (2010).
  - 34 Rojas T. I.; Aira M. J., 'Fungal biodiversity in indoor environments in Havana, Cuba', *Aerobiología* **28**(3) (2012) 367-374, doi:10.1007/s10453-011-9241-z.
  - 35 Aira, M. J.; Jato, V.; Stchigel, A. M.; Rodríguez-Rajo, F. J.; Piontelli, E., 'Aeromycological study in the Cathedral of Santiago de Compostela (Spain)', *International Biodeterioration and Biodegradation* **60**(4) (2007) 231-237, doi:10.1016/j.ibiod.2007.02.007.
  - 36 Borrego, S.; Pons V.; Perdomo I., 'La contaminación microbiana del aire en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba', *Revista CENIC Ciencias Biológicas* **39**(1) (2008) 63-69, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181214889005> (acceso en 2016-04-18).
  - 37 Borrego, S.; Perdomo, I., 'Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba', *Aerobiología* **28**(3) (2012) 303-316, doi:10.1007/s10453-011-9235-x.
  - 38 Amaike A.; Keller N. P., 'Aspergillus flavus', *Annual Review of Phytopathology* **49** (2011) 107-133, doi:10.1146/annurev-phyto-072910-095221.
  - 39 De Hoog, G. S.; Guarro, G.; Gene, J.; Figueras, M. J., *Atlas of Clinical Fungi*, 2nd ed., Centraalbureau voor Schimmelcultures – Universidad Rovira I Virgili, Utrecht – Reus, (2000).
  - 40 Morales, H., 'Aislamiento, selección y evaluación de la actividad celulolítica de cuatro cepas de hongos nativos de Costa Rica', trabajo final de graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica (2006).
  - 41 Giraldo-Castrilló, M.; Torres-González, C.; Díaz-Ortiz, J. E., 'Isolation of cellulolytic fungi causing biodeterioration of the Central Library of the Universidad del Valle (Cali-Colombia)', *Revista Mexicana de Micología* **29** (2009) 9-14.
  - 42 Molina, A.; Borrego, S., 'Caracterización de hongos aislados de mapas conservados en el Archivo Nacional de la República de Cuba', *Ge-conservación* **6** (2014) 35-44, <http://www.ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/169> (acceso en 2016-04-18).
  - 43 Rodríguez, J.C., 'Caracterización de la micobiota del ambiente del depósito documental del museo nacional de la música en época de lluvia', tesis de Máster, Facultad de Biología- Universidad de la Habana, La Habana (2014).
  - 44 Santilli, J.; Rockwell, W., 'Fungal contamination of elementary schools: a new environmental hazard', *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* **90**(2) (2003) 203-208, doi:10.1016/s1081-1206(10)62142-4.
  - 45 Chapman, J.A., 'Stachybotrys chartarum (chartarum= atra=alternans) and other problems caused by allergenic fungi', *Allergy and Asthma Proceedings* **24**(1) (2003) 1-7.
  - 46 'Microbial sampling and analysis: molds and bacteria', in *AIHA Guidelines Environmental Microbiology* Eagle Industrial Hygiene Associates, Horsham, PA (2004).
  - 47 'FEDECAI-01 – Programa de certificación de calidad ambiental en interiores. Calidad ambiental en interiores: Criterios de muestreo', Federación Española de Empresas de Calidad Ambiental Interior, (2007) 4-6.
  - 48 Radler de Aquino, F.; de Góes, L.F., 'Guidelines for indoor air quality in offices in Brazil', *Proceedings of Healthy Buildings* **4** (2000) 549-553.
  - 49 'Mould exposure standards – Levels of allergenic or toxic mold & how much mould means a problem', in *InspectAPedia*, [http://inspectapedia.com/mold/Mold\\_Exposure\\_Standards.php](http://inspectapedia.com/mold/Mold_Exposure_Standards.php) (acceso en 2016-04-18).
  - 50 Cappitelli, F.; Fermo, P.; Vecchi, R.; Piazzalunga, A.; Valli, G.; Zanardini, E.; Sorlini, C., 'Chemical-physical and microbiological measurements for indoor air quality assessment at the Ca'Granda Historical Archive, Milan (Italy)', *Water Air Soil Pollution* **201**(1-4) (2009) 109-120, doi:10.1007/s11270-008-9931-5.
  - 51 Molina A.; Valdés O.; Borrego S.; Pérez D.; Castro M., 'Diagnóstico micológico ambiental en depósitos de la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial', *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* **21** (2014) 107-117.
  - 52 Corvo, F.; Torrens, E.; Martín, E.; González, J.; Pérez, C.; Valdés, A.; Castañeda y Portilla, C., 'Corrosión atmosférica del acero en interiores. Sus particularidades en el clima tropical de Cuba', *Revista de Metalurgia* **44**(2) (2008) 129-137, doi:10.3989/revmetalm.2008.v44.i2.101.
  - 53 Vaillant, M.; Domenech, M.; Valentín, N., *Una Mirada Hacia la Conservación Preventiva del Patrimonio Cultural*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (2003).
  - 54 Rodríguez, J. C.; Salgado, I.; Fuentes, K., 'Estudio del estado de conservación de las colecciones bibliográficas de la biblioteca del CENCREM y de algunos factores de deterioro representativos para la conservación de colecciones de archivos y bibliotecas', in *Memorias del Coloquio Internacional Biblioarchi 2007*, Biblioteca Fernando Ortiz, La Habana (2007), CD-ROM.
  - 55 Fernández, M. O., 'Contaminación ambiental', *Contacto – Archivo General de la Nación de Colombia* **2** (1995) 17-19.
  - 56 Salgado, I.; Cepero, A., 'Influencia de la contaminación ambiental en el deterioro de objetos metálicos', *Patrimonio y Desarrollo* **10** (2004) 2-3.
  - 57 De la Paz, J., 'Velocidad de deposición de dióxido de azufre, cloruros y polvo ambiental en los depósitos del Archivo

Nacional de la República de Cuba', in *La Conservación Infalible: de la Teoría a la Realidad*, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works – Grupo Español, Oviedo (2007) 183-192.

- 58 Valdés, C.; Corvo, F.; González, E.; Pérez, J.; Portilla, A.; Cuesta, O., 'Mecanismos de deterioro de la piedra caliza coralina estructural del Convento y Basílica Menor de San Francisco de Asís y ensayo de productos para su conservación', *Revista CENIC – Ciencias Químicas*, **38**(3) (2007) 381-388.
- 59 MINSAP, *Normas de Laboratorios de Medicina del Trabajo*, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, La Habana (1979) 79-84.
- 60 OMS, *Guías para la Calidad del Aire*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima (2004).

**Recibido:** 2015-06-30

**Aceptado:** 2016-04-18

**Online:** 2016-05-26



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.