



Original

Caracterización de la micobiota aérea en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba

Sofía Borrego Alonso* e Ivette Perdomo Amistad

Laboratorio de Conservación Preventiva, Archivo Nacional de la República de Cuba, La Habana, Cuba

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 26 de junio de 2012

Aceptado el 2 de septiembre de 2013

On-line el 23 de septiembre de 2013

Palabras clave:

Archivo
Ambientes interiores
Calidad del aire
Hongos
Patrimonio documental

R E S U M E N

Antecedentes: La humedad relativa y las temperaturas altas existentes en los países tropicales propician condiciones favorables para el desarrollo de hongos que pueden ser perjudiciales no solo para la salud humana, sino también para los soportes documentales.

Objetivos: Determinar la concentración fúngica en el aire de dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba y la micobiota depositada sobre diferentes soportes fotográficos y mapas conservados en estos depósitos, así como realizar la caracterización taxonómica de los hongos aislados.

Métodos: El muestreo del aire se realizó con un método de sedimentación, y los soportes (6 fotos y 7 mapas) se analizaron empleando hisopos estériles humedecidos.

Resultados: El género que predominó fue *Cladosporium*, seguido por los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. De todas las fotos y los mapas se aislaron hongos filamentosos y solo de una técnica fotográfica y un mapa se aislaron levaduras. Se identificaron varias especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, pero *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus* fueron las especies predominantes. Se aislaron cepas de levaduras de los géneros *Candida* y *Rhodotorula*.

Conclusiones: La concentración fúngica del aire puso en evidencia que los ambientes no están contaminados. De 26 hongos filamentosos aislados, solamente 5 se detectaron tanto en el aire de los depósitos como sobre uno o más de los soportes documentales analizados, lo que representa un 19,3%. Esto demuestra que existe una relación ecológica baja entre los hongos encontrados en el aire y los que se aislaron de los soportes analizados.

© 2012 Revista Iberoamericana de Micología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Characterization of air mycobiota in two repositories of the National Archives of the Republic of Cuba

A B S T R A C T

Background: The high relative humidity and temperatures in tropical countries create favorable conditions for development of fungi that are not only a risk to human health but they can also colonize documentary support.

Aims: To study the concentration of the airborne fungi in two repositories of the National Archives of the Republic of Cuba, the mycobiota deposited on different photographic supports and maps preserved in these repositories, and to determine the taxonomic characterization of the fungi isolated.

Methods: The air sampling was performed using a sedimentation method, and the supports (6 pictures and 7 maps) were analyzed using moistened sterile swabs.

Results: The *Cladosporium* genus was predominant, followed by *Aspergillus* and *Penicillium* genera. Filamentous fungi were isolated in all the photos and maps, and yeasts were only isolated from a photographic supports and a map. We identified several species of *Aspergillus* and *Penicillium* genera, but *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* predominated. *Candida* and *Rhodotorula* were the yeast genera isolated.

Keywords:

Archive
Indoor environments
Air quality
Fungi
Documentary heritage

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: sofy.borrego@gmail.com, sofia@arnac.cu (S. Borrego Alonso).

Conclusions: The fungal concentration of the air demonstrated that the environments were not contaminated. From the 26 species of filamentous fungi isolated only 5 were detected in the indoor air of the repositories and on one or more of the document supports analyzed (representing a 19.3%). This shows that there is a low ecological relationship between the fungi detected in the indoor air and those that were isolated from the supports studied.

© 2012 Revista Iberoamericana de Micología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Los archivos, las bibliotecas y los museos son las instituciones que conservan el legado de la humanidad. En ellos se encuentra una gran cantidad de documentos de valor patrimonial escritos en diversos soportes (papiro, pergamino, papel, etc.), y custodian otros tipos de documentos como fotografías, mapas y planos, así como documentos digitales, entre otros. Estos soportes de naturaleza orgánica o sintética se deterioran con el tiempo, pero este proceso se acelera por el efecto de agentes físicos (luz, temperatura [T], humedad relativa [HR]), químicos (contaminación atmosférica) y biológicos (microorganismos, insectos)¹¹. Como es conocido, los hongos son potentes agentes deteriorantes de los documentos^{16,20,29,35,49} y pueden llegar a ellos a través del aire y junto al polvo, fundamentalmente¹⁶.

La composición de las partículas de polvo varía en cantidad y calidad según la ubicación del edificio, de las actividades que se realizan en su interior, de la estación del año y de las condiciones de conservación de los documentos, libros y objetos²⁶. Al depositarse sobre las colecciones crean condiciones microambientales sobre sus superficies que impiden el flujo normal del aire, facilitan la absorción del agua por parte de los soportes y constituyen una fuente nutricional que propicia el desencadenamiento de plagas por microorganismos, fundamentalmente por hongos¹⁶.

Como los hongos no solo pueden ser transportados al interior de los depósitos donde se conservan los objetos y documentos de valor por el aire y las partículas de polvo, sino también a través de los sistemas de ventilación, por el personal y los visitantes³², se recomienda el estudio sistemático de la calidad del aire^{16,47}, debido al riesgo que presupone la presencia de elevadas concentraciones fúngicas tanto para la salud humana como para la integridad del patrimonio que se conserva^{7,16,21,35,42,49}.

Cuba, por su ubicación geográfica, se ve afectada constantemente por el polvo proveniente del desierto del Sahara³, que junto a los altos valores de HR y T propias de las condiciones climáticas imperantes, puede poseer en determinadas etapas del año concentraciones altas de conidios viables en el aire que se depositan con facilidad sobre los diferentes sustratos, facilitándose el desarrollo de los hongos. Estos, al tener una potente, versátil y adaptable maquinaria metabólica pueden degradar los materiales con facilidad, acelerándose el deterioro de los soportes documentales que se atesoran en los depósitos de archivos, bibliotecas y museos^{7,11,19,20,29,49,50}. Por otro lado, los hongos cuentan con diferentes estructuras y mecanismos patogénicos causantes de afecciones específicas en la salud humana^{16,21,32,52}.

Por todo ello, los objetivos de este trabajo fueron determinar la concentración fúngica en el aire de dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba y la microbiota depositada sobre diferentes técnicas fotográficas y mapas conservados en estos depósitos, así como realizar la caracterización taxonómica de los hongos aislados.

Materiales y métodos

Muestreo microbiológico del aire

Se llevó a cabo siguiendo el método de sedimentación descrito por Omeliansky^{1,5,7,19}. Para ello, placas de Petri con agar extracto de malta (BioCen, Cuba) suplementado con cloranfenicol (0,1%)²⁰

se expusieron al aire durante 10 min a una altura de 1,5 m del suelo, aproximadamente. Se establecieron 2 puntos de muestreo para la fototeca y 5 para la mapoteca por triplicado. La cantidad de puntos a muestrear se determinó según Sanchis⁴⁴, que reporta un método sencillo para determinar puntos de muestreo de aire en locales y que toma como base la raíz cúbica del volumen del local. Posteriormente, las placas se incubaron invertidas durante 7 días a 30 °C.

Medición de la temperatura y la humedad relativa en el momento del muestreo microbiológico

Aunque es habitual desde hace años la medición de la T y la HR dos veces al día en todos los depósitos del Archivo (10:00 a.m. y 3:00 p.m.), durante la toma de muestras microbiológicas se realizaron mediciones en cada punto empleando un termohigrómetro digital (Bresciani, Italia).

Determinación de la distribución relativa de los géneros fúngicos detectados en el aire de los depósitos

El cálculo se realizó según Smith⁴⁸, donde:

$$DR = \frac{\text{Nú mero de colonias del gé nero}}{\text{Nú mero total de colonias de todos los gé neros}} \times 100$$

Muestreo de fotografías y mapas

Se seleccionaron al azar 6 fotografías en diferentes soportes: un ferrotipo (F1); una foto sobre seda (F2); un negativo sobre placa de vidrio (F3) y 3 fotos en soporte papel (F4, F5 y F6), y 7 mapas: uno en papel (M1), uno en seda (M2), un cianotipo en papel (M3), 2 en tela de algodón (M4 y M5) y 2 en papel transparente (M6 y M7). La toma de muestra se realizó mediante la técnica del hisopado en forma aséptica³⁴. Posteriormente, a cada hisopo se le adicionaron 5 ml de solución salina estéril, se agitó bien la muestra a intervalos durante 45 min y se hicieron diluciones seriadas que se sembraron en placas de Petri con agar extracto de malta (BioCen, Cuba) suplementado con cloranfenicol (0,1%)²¹. Finalmente, las placas fueron incubadas a 30 °C durante 7 días para el recuento de colonias.

La frecuencia relativa de los hongos aislados de los soportes documentales se calculó según Esquivel et al.¹⁵.

$$FR = \frac{\text{Nú mero de materiales en que se detecta una especie}}{\text{Nú mero total de materiales analizados}} \times 100$$

Identificación de las cepas fúngicas aisladas

Se realizó la observación de las características y morfología de cada colonia tanto en el anverso como en el reverso, así como de las estructuras microscópicas realizando preparaciones en lactofenol y microcultivos¹². Para la identificación del género se siguieron los criterios de Barnett y Hunter². Se utilizaron claves taxonómicas específicas para la identificación de especies de *Aspergillus*²⁵, *Penicillium*^{17,36,43}, *Curvularia*^{14,28}, *Cladosporium*^{4,14} y *Fusarium*⁴⁶. Para identificar levaduras se utilizaron los criterios de De Hoog et al.¹³ y Redelman-Sidi et al.³⁹.

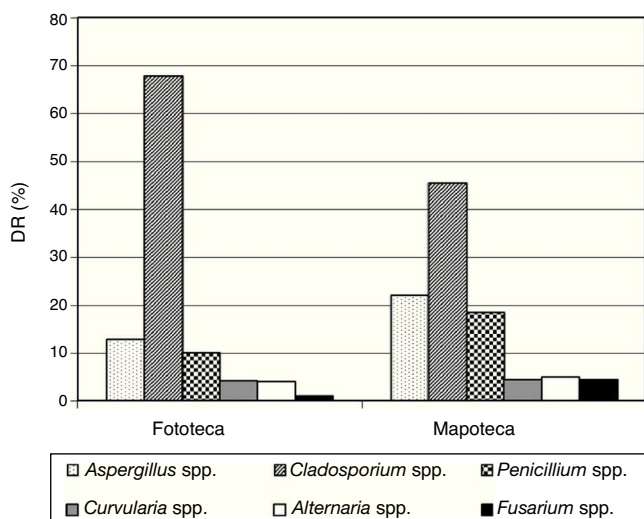


Figura 1. Distribución relativa de los géneros fúngicos aislados en el aire de los depósitos estudiados en el Archivo Nacional de la República de Cuba. DR: distribución relativa.

Se realizó la determinación cualitativa de la actividad celulolítica, amilolítica, proteolítica, la producción de pigmentos y de ácidos de los hongos aislados

En todas las cepas fúngicas aisladas tanto del aire como de los soportes analizados se determinó el poder degradativo de la celulosa^{7,9,38}, de la gelatina^{7,9,18,24} y del almidón^{7,9,18}, así como la producción de pigmentos y ácidos^{7,9}.

Resultados

Los valores medios de concentración fúngica aérea que se obtuvieron en los depósitos fueron de 120,2 UFC/m³ para la mapoteca y de 245,6 UFC/m³ para la fototeca; asimismo, los valores promedios de T y HR en el momento del muestreo fueron: Mapoteca, T = 28,3 °C, HR = 62%, y Fototeca, T = 22,5 °C, HR = 63%. Ambos valores de concentración fúngica resultaron inferiores a 500 UFC/m³; según la escala que propuso Omeliansky^{1,5,7,19} para evaluar el grado de contaminación del aire, por encima de 500 UFC/m³ el ambiente se considera contaminado, por tanto, los ambientes analizados se consideran no contaminados. Los géneros que predominaron fueron *Cladosporium* con un 67,9% en la fototeca y un 45,5% en la mapoteca, seguido por *Aspergillus* y *Penicillium* (fig. 1). Esos porcentajes del género *Cladosporium* se corresponden con 166,8 UFC/m³ para la fototeca y 54,7 UFC/m³ para la mapoteca.

De los diferentes soportes documentales se obtuvieron concentraciones de hongos filamentosos que no superaron el orden de $6,3 \times 10^2$ UFC/cm² y diferentes concentraciones de levaduras solo

Tabla 1
Concentración fúngica obtenida de varias fotografías y mapas en diferentes soportes

Código	Tipo de documento	Hongos filamentosos (UFC/cm ²)	Levaduras (UFC/cm ²)
F1	Ferrotipo (soporte de hierro)	$0,2 \times 10$	-
F2	Fotografía sobre tela de seda	$1,5 \times 10^2$	-
F3	Negativo en placa de vidrio	$2,0 \times 10$	$3,6 \times 10^3$
F4	Fotografía en papel 1	$1,2 \times 10^2$	-
F5	Fotografía en papel 2	$5,0 \times 10$	-
F6	Fotografía en papel 3	$3,2 \times 10^2$	-
M1	Mapa sobre papel	$3,3 \times 10$	-
M2	Mapa sobre tela de seda	$7,0 \times 10$	$1,0 \times 10$
M3	Mapa sobre papel (cianotipo)	$4,5 \times 10^2$	-
M4	Mapa sobre tela de algodón 1	$6,3 \times 10^2$	-
M5	Mapa sobre tela de algodón 2	$3,2 \times 10$	-
M6	Mapa sobre papel transparente 1	$1,5 \times 10$	-
M7	Mapa sobre papel transparente 2	$0,5 \times 10$	-

en la placa de vidrio (F3) y en el mapa en seda (M2) (tabla 1). En la tabla 2 se pueden observar las diferentes especies fúngicas aisladas de los distintos documentos analizados. Se aprecia que las especies predominantes fueron *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus*, con un 83,5 y un 58,3% de frecuencia relativa de aparición, respectivamente, seguidos por especies del género *Penicillium*, que en su totalidad propician una preponderancia de este género (55,5%) en relación con *Cladosporium herbarum* (33,3%). También se observa que se pudieron aislar teleomorfos de los géneros *Penicillium* (*Talaromyces flavus*) y *Aspergillus* (*Emericella nidulans*) en una foto y un mapa, respectivamente, que tienen como soporte la seda, al igual que un pequeño porcentaje de hongos que no produjeron estructuras de reproducción en ningún medio de cultivo y, por tanto, no fue posible su identificación, denominándolos como micelio no esporulado (16,6%). Asimismo, se pudieron aislar cepas de levaduras pertenecientes a los géneros *Candida* y *Rhodotorula* con frecuencias relativas de aparición bajas (16,6 y 8,3%, respectivamente).

La tabla 3 muestra el comportamiento cualitativo de las cepas para degradar diferentes fuentes carbonadas, así como excretar pigmentos y ácidos. Se puede apreciar que el 99% de ellas degradaron el papel de filtro y la celulosa cristalina con mayor o menor intensidad, y produjeron ácidos que excretaron al medio; el 80,8% de las cepas degradaron el almidón y la gelatina y solo el 61,5% de ellas excretaron pigmentos sobre la tira de papel de filtro (tonalidades amarilladas a ámbar) o la colorearon de gris oscuro a negro con las hifas pigmentadas (hongos dematiáceos) una vez que formaron la biopelícula.

Al observar las tablas 2 y 3 se puede apreciar que de un total de 26 especies de hongos filamentosos aislados, solamente 5 fueron detectadas tanto en el aire de los depósitos como sobre algún soporte documental analizado. Estas fueron *A. flavus*, *A. niger*, *Aspergillus terreus*, *C. herbarum*, *Penicillium chrysogenum*.

Discusión

La concentración de la microbiota en los depósitos estudiados no sobrepasó las 500 UFC/m³, por lo que se considera que los ambientes son limpios y aceptables tanto para la conservación de los soportes patrimoniales como para la salud del personal, según los parámetros que estableció Omeliansky en su método^{1,5}. Estudios precedentes de estos locales arrojaron resultados similares^{6,7,9,10}. Aunque desde hace algunos años grupos multidisciplinarios de científicos han dedicado esfuerzos y tiempo a los estudios de calidad del aire interior de locales por el riesgo potencial que implica la presencia de altas concentraciones de hongos en ambientes interiores para la salud humana y la integridad del patrimonio, en la actualidad no existe un consenso internacional en cuanto a regulaciones que establezcan valores límites que permitan clasificar a un ambiente interior como contaminado o no. No obstante, en la literatura se encuentran disponibles algunos

Tabla 2

Especies aisladas de los diferentes soportes fotográficos y de los mapas, así como su frecuencia relativa de aparición

Especie	F1	F2	F3	F4	F5	F6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	FR (%)	CE ^a
<i>Aspergillus flavus</i>	-	x	-	-	x	x	x	x	-	-	x	x	-	58,3	F
<i>Aspergillus niger</i>	-	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	83,5	A
<i>Aspergillus terreus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	16,6	R
<i>Cladosporium herbarum</i>	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-	x	33,3	O
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	16,6	R
<i>Penicillium citrinum</i>	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3	R
<i>Penicillium frequentans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x	25,0	O
<i>Penicillium citroviride</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	25,0	O
<i>Emiricella nidulans</i>	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	8,3	R
<i>Talaromyces flavus</i>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3	R
<i>Candida</i> sp.	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	16,6	R
<i>Rhodotorula</i> sp.	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,3	R
Micelio blanco no esporulado	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,6	R

A: abundante; F: frecuente; FR: frecuencia relativa de aparición; O: ocasional; R: raro (bajo).

^a Indica categoría ecológica según Esquivel et al.¹⁵.

critérios para valores de contaminación fúngica en ambientes interiores desarrollados por varias instituciones. La Organización Mundial de la Salud plantea que un ambiente interior con una concentración mayor de 1.000 UFC/m³ se considera contaminado³². Sin embargo, para Brasil, un ambiente interior con más de 700 UFC/m³ de hongos se considera contaminado³⁷. En Estados Unidos, la American Conference of Industrial Hygienists y US Public Health Service proponen que 200 UFC/m³ resulta un valor preocupante para bioaerosoles fúngicos²³, mientras que la Unión Europea estableció desde 1998 en las normas SBM⁴⁵ que 500 UFC/m³ es el valor límite a partir del cual se considera un ambiente interior altamente contaminado. Asimismo, el Ministerio de Cultura de Italia estableció que

150 UFC/m³ debe ser el límite máximo de hongos y 750 UFC/m³ el de bacterias para que el ambiente interior de locales en museos se considere de calidad¹¹.

El comportamiento de la concentración fúngica ha sido estable durante años en los locales analizados^{6,7,9,10} y está dado por las condiciones higiénicas de los depósitos, así como por los valores de HR próximos al 60% que se han mantenido muy cercanos a los recomendados para conservar estos tipos de documentos^{40,51}, a pesar de que la HR media de La Habana es superior al 70% todo el año³³.

La densidad relativa de aparición en el aire de los depósitos indicó que *Cladosporium* fue el género más abundante (67,9% en fototeca y 45,5% en mapoteca), lo que representa concentraciones

Tabla 3

Actividades hidrolíticas cualitativas de las cepas fúngicas aisladas del aire de la Fototeca, la Mapoteca, de fotos y mapas

Especie	Aislado de	Actividad celulolítica		Actividad amilolítica	Actividad proteolítica	Producción de ácidos (pH)	Excreción de pigmentos ^a
		Crecimiento en papel de filtro	Crecimiento en celulosa cristalina				
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	+	-	-	3,9	+
<i>Cladosporium herbarum</i>	Aire de FARNAC y MARNAC, F6, M4	+	±	+	+	5,4	-
<i>Cladosporium oxysporum</i>	Aire de FARNAC	++	++	-	-	5,9	+
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	+++	+	-	5,7	+
<i>Aspergillus niger</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	++	+	+	4,5	+
<i>Aspergillus flavus</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	++	+	+	5,9	+
<i>Aspergillus terreus</i>	Aire de FARNAC, M4, M7	+++	+++	+	+	6,0	+
<i>Aspergillus oryzae</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	+++	+	+	4,9	-
<i>Aspergillus versicolor</i>	Aire de MARNAC	+++	++	+	+	5,3	+
<i>Aspergillus clavatus</i>	Aire de MARNAC	+++	++	+	+	6,2	+
<i>Penicillium frequentans</i>	M5	+++	++	+	+	4,4	-
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Aire de FARNAC y MARNAC, F4, M4	+++	++	+	+	5,6	+
<i>Penicillium commune</i>	Aire de FARNAC	++	+	+	+	4,5	+
<i>Penicillium aurantiogriseum</i>	Aire de MARNAC	++	+	-	+	5,2	+
<i>Penicillium citrinum</i>	F3	+++	++	+	+	6,0	+
<i>Penicillium citroviride</i>	M5, M6, M7	+++	++	+	+	5,8	-
<i>Curvularia lunata</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	+	+	-	-	5,5	+
<i>Curvularia</i> sp.	Aire de FARNAC y MARNAC	+	±	+	+	4,5	+
<i>Alternaria alternata</i>	Aire de FARNAC y MARNAC	++	+	+	-	5,2	+
<i>Alternaria solani</i>	Aire de FARNAC	+++	++	+	+	4,3	+
<i>Alternaria</i> sp.	Aire de MARNAC	++	+	+	+	4,8	+
<i>Fusarium oxysporum</i>	Aire de FARNAC	+++	++	+	+	4,5	-
<i>Fusarium solani</i>	Aire de FARNAC	+++	+++	+	+	4,2	-
<i>Fusarium</i> sp.	Aire de FARNAC y MARNAC	+++	++	+	+	4,5	-
<i>Emiricella nidulans</i>	M2	-	-	+	+	5,3	-
<i>Talaromyces flavus</i>	F2	+++	+++	+	+	5,6	-

FARNAC: Fototeca; MARNAC: Mapoteca; +++: crecimiento abundante; ++: crecimiento moderado; +: crecimiento pobre sobre la fuente celulósica, también es indicativo de actividad amilolítica, proteolítica y de la excreción de pigmento; ±: crecimiento o producción de pigmento muy pobre; -: NO crecimiento y NO producción de pigmento.

^a El pigmento se evidenció sobre la tira de papel del filtro.

de 166,8 y 54,7 CFU/m³, respectivamente, e inferiores a las permisibles para este género en ambientes interiores (300 UFC/m³)³¹. Los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* secundaron al género *Cladosporium*, coincidiendo con otros reportes que establecen a estos tres géneros como los principales contaminantes de ambientes interiores a nivel mundial^{16,32,47,49} y comúnmente aislados en casas, archivos, bibliotecas y museos de Cuba^{6-10,19,22,41,42,50}. También, se detectaron pequeños porcentajes de cepas pertenecientes a los géneros *Curvularia*, *Alternaria* y *Fusarium* que, igualmente, están reportados en los ambientes antes mencionados.

Con relación a los hongos aislados de los soportes analizados, se pudieron detectar diferentes cantidades de hongos filamentosos en todos los soportes, en tanto que levaduras solo fueron encontradas en una técnica fotográfica que posee cristal como soporte primario (F3) y en un mapa cuyo soporte es de seda (M2). Es conveniente señalar que las concentraciones de hongos filamentosos no fueron superiores a 6,3 × 10² UFC/cm² y que en el caso de la placa de vidrio la concentración de levaduras fue muy alta (3,6 × 10³ UFC/cm²).

Las concentraciones de levaduras detectadas resultaron inferiores a las reportadas por Borrego et al.⁷ y coincidieron con los géneros *Candida* y *Rhodotorula*, reportados con anterioridad⁷. De estos géneros se conoce que ciertas especies de *Candida* son dañinas para la salud humana⁴⁷.

En cuanto a la frecuencia relativa de las especies fúngicas aisladas en los materiales estudiados, se obtuvo un predominio de *A. niger* y *A. flavus*, que se consideran ecológicamente frecuentes y abundantes¹⁵. *C. herbarum*, única especie del género *Cladosporium* detectada, ocupó el tercer lugar de predominio, con un 33,3%, por lo que se considera una especie ocasional. Otras especies que se consideran como ocasionales fueron *Penicillium frequentans* y *Penicillium citroviride*. Un porcentaje considerable (16,6%) correspondió a un micelio blanco que no esporuló en ningún medio de cultivo ensayado (micelio no esporulado). En frecuencias de aparición más bajas se detectaron los teleomorfos de los géneros *Penicillium* (*T. flavus*) y *Aspergillus* (*E. nidulans*). Cuando se analiza la frecuencia relativa de aparición de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y sus teleomorfos en su totalidad, se puede apreciar que fueron los que predominaron. Este resultado se corresponde con los valores de actividad de agua de estos géneros ($a_w < 0,8$) y los valores de HR de los depósitos estudiados⁵².

Hay que señalar que de las 26 especies de hongos filamentosos detectados, solamente 5 se encontraron tanto en el aire de los depósitos como sobre uno o más de los soportes documentales analizados (*A. flavus*, *A. niger*, *Aspergillus terreus*, *C. herbarum*, *Penicillium chrysogenum*). Esta coincidencia ecológica representa el 19,3%, que según Esquivel et al.¹⁵ se considera baja y es indicativa de que al parecer el aire ha incidido poco en la microbiota que se pudo detectar en los soportes analizados.

Según Florian¹⁶, los teleomorfos son difíciles de aislar de los soportes documentales, sin embargo otros autores anteriormente han logrado aislar e identificar estas formas fúngicas^{7,19,30}, coincidiendo nuestros resultados con los antes mencionados. En trabajos previos, un teleomorfo de *Penicillium* spp. (*Talaromyces helicus*) se aisló de un mapa en seda^{7,19} y en esta ocasión ocurrió lo mismo, la diferencia estriba en que ahora es un teleomorfo de *Aspergillus* spp. (*E. nidulans*). Cabe destacar el hecho de que en este trabajo se detectó otro teleomorfo de *Penicillium* spp. (*Talaromyces flavus*) en una fotografía cuyo soporte también es seda. Todo parece indicar que la seda facilita la preservación de estas formas fúngicas en el tiempo.

La actividad hidrolítica cualitativa de las cepas fúngicas aisladas tanto del aire como de los soportes mostró que el 99% fueron capaces de crecer a expensas del papel de filtro (formado por celulosa amorfa y cristalina), utilizando la celulosa como única fuente de carbono, lo que demuestra que poseen actividad celulolítica. Asimismo, cerca del 81% de las cepas mostraron actividad amilolítica y

proteolítica. La totalidad de las cepas analizadas produjeron ácidos, pues provocaron una disminución significativa del pH del medio de cultivo. Casi el 62% excretaron pigmentos sobre el papel, abarcando diferentes tonalidades, desde el amarillo hasta el carmelita intenso.

Se conoce desde hace años que los hongos provocan alteraciones cromáticas por manchas de diferentes colores, tonalidades y texturas producto del crecimiento micelial y por los pigmentos que excretan. En particular, los altamente celulolíticos llegan a atacar las fibras celulósicas y las debilitan. Es decir, que además de las afectaciones cromáticas, producen daños químicos y estructurales^{16,20,21,27,50}.

Por todo ello, la manera de mantener estas colecciones en buen estado implicaría la realización de una limpieza profunda por aspiración para eliminar parte de la suciedad adherida y disminuir la carga microbiana en su superficie, así como mantener las condiciones climáticas correctas para su conservación ($T \leq 25^\circ\text{C}$ y $\text{HR} \leq 65\%$)^{40,51}.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero concedido por el Programa de Ayuda para los Archivos de Iberoamérica (ADA), proyecto 146/2008.

Bibliografía

- Análisis Ambiental, 1987. Método de Omeliansky. Análisis higiénico sanitario y ambiental. Métodos de ensayos microbiológicos. Norma Ramal de la Pesca NRP-201. Ciudad de La Habana: Ministerio de la Industria Pesquera Cuba; 1987.
- Barnett HL, Hunter BB. Illustrated genera of imperfect fungi. 4th ed. EE. UU.: APS Press. The American Phytopathological Society; 1998. St. Paul, Minnesota.
- Barriga G, Mercado F. Microbios africanos de vacaciones en el Caribe. Rev Mex Patol Clin. 2007;54:168-76.
- Bensch K, Groenewald JZ, Dijksterhuis J, Starink-Willemsse M, Andersen B, Summerell BA, et al. Species and ecological diversity within the *Cladosporium cladosporioides* complex (Davidiellaceae, Capnodiales). Stud Mycol. 2010;67:1-94.
- Bogomolova E, Kirtsideli I. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. Int Biodeterior Biodegradation. 2009;63:156-62.
- Borrego S, García M. Comportamiento de la concentración microbiana aérea en la Fototeca del Archivo Nacional de Cuba. Revista CENIC. Ciencias Biológicas. 2011;42:61-7.
- Borrego S, Guaiamet P, Gómez de Saravia S, Battistoni P, García M, Lavin P, et al. The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. Int Biodeterior Biodegradation. 2010;64:139-45.
- Borrego S, Perdomo I. Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. Aerobiología. 2012;28:303-16.
- Borrego S, Perdomo I, de la Paz J, Gómez de Saravia SG, Guaiamet PS. Relevamiento microbiológico del aire y de materiales almacenados en el Archivo Histórico del Museo de La Plata, Argentina y en el Archivo Nacional de la República de Cuba. Revista Mus La Plata. 2011;18:1-18.
- 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. 2008;39:63-9.
- Cappitelli F, Fermo P, Vecchi R, Piazzalunga A, Valli G, Zanardini E, et al. Chemical-physical and microbiological measurements for indoor air quality assessment at the Ca'Granda Historical Archive, Milan (Italy). Water Air Soil Pollut. 2009;201:109-20.
- Cappitelli F, Sorlini C. Paper and manuscripts. En: Mitchell R, McNamara CJ, editores. Cultural heritage microbiology: Studies in conservation science. Washington, DC: ASM Press; 2010. p. 45-59.
- de Hoog GS, Guarro J, Gené J, Figueras MJ. Yeast and yeast-like fungi: Explanatory chapter and key to the genera. En: Atlas of Clinical Fungi, 2nd ed. Utrecht, The Netherlands and Reus, Spain: Centraalbureau voor Schimmelfcultures/Universitat Rovira i Virgili; 2000.
- Ellis MB. More Dematiaceous hyphomycetes. Kew, Surrey, England: Commonwealth Mycological Institute; 1976.
- Esquivel PP, Mangiaterra M, Giusiano G, Sosa MA. Microhongos anemófilos en ambientes abiertos de dos ciudades del nordeste argentino. Bol micol. 2003;18:21-8.
- Florian MLE. Fungal facts. Solving fungal problems in heritage collections. London, UK: Archetype Publications, Ltd; 2004.

17. Frisvad JC, Samson RA. Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium*. A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. *Stud Mycol.* 2004;49:1–174.
18. Galiotou-Panayotou M, Kapantai M, Kalantzi O. Growth conditions of *Aspergillus* sp. ATHUM-3488 for polygalacturonase production. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1997;47:425–9.
19. Guiamet PS, Borrego S, Lavin P, Perdomo I, Gómez de Saravia S. Biofouling and biodeterioration in material stored at Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentina and at the National Archive of the Republic of Cuba. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 2011;85:229–34.
20. Gutarowska B. Metabolic activity of moulds as a factor of building materials biodegradation. *Polish J Microbiol.* 2010;59:119–24.
21. Gutarowska B, Kosmowska M, Wiszniewska M, Pałczyński C, Walusiak-Skorupa J. An investigation of allergenic proteins produced by moulds on building materials. *Indoor Built Environ.* 2012;21:253–63.
22. Hidalgo Y, Borrego S. Aislamiento y caracterización de hongos en documentos de la Biblioteca Nacional José Martí. *Bibliotecas [revista electrónica].* 2006 [consultado 5 Jun 2006]. Disponible en: <http://www.bnjm.cu/rev.biblioteca/bibliotecas.2006/pages/articulo6.htm>
23. InspectAPedia.com [página en internet]. Mould Exposure Standards. Levels of allergenic or toxic mould & how much mould means a problem. Building and Environmental Inspection, Testing, Diagnosis, Repair, Problem Prevention Advice. 2009. [consultado 14 Ene 2010]. Disponible en: http://InspectAPedia.com/sickhouse/Mold_Standards.htm
24. Iwatzu T. A new species of *Cladosporium* from Japan. *Mycotaxon.* 1984;XX:21–533.
25. Klich MA, Pitt JI. A laboratory guide to the common *Aspergillus* species and their teleomorphs. North Ryde, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing; 1994.
26. Maggi O, Persiani AM, Gallo F, Valenti P, Pasquariello G. Airborne fungal spores in dust present in archives: Proposal for a detection method, new for archival materials. *Aerobiologia.* 2000;16:429–34.
27. Martínez P. Determinación de la acidez producida por hongos contaminantes en bienes culturales. *Boletín Patrimonio y Desarrollo.* 2003;9:3–9.
28. Mena J. Taxonomía del complejo *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera* y *Exserohilum* en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente; 2004.
29. Mesquita N, Portugal A, Videira S, Rodríguez-Echeverría S, Bandeira AML, Santos MJA, et al. Fungal diversity in ancient documents. A case study on archive of the University of Coimbra. *Int Biodeterior Biodegradation.* 2009;63:626–9.
30. Michaelsen A, Piñar G, Pinzari F. Molecular and microscopical investigation of the microflora inhabiting a deteriorated Italian manuscript dated from the Thirteenth Century. *Microb Ecol.* 2010;60:69–80.
31. Miller JD, Laflamme AM, Sobol Y, Lafontaine PP, Greenhalgh R. Fungi and fungal products in some Canadian houses. *Int Biodeterior.* 1988;24:103–20.
32. Nevalainen A, Morawska L, editors. Biological agents in indoor environments. Assessment of health risks. Work conducted by a WHO Expert Group between 2000–2003. QUT, April, 2009 [consultado 6 Sep 2010]. Disponible en: http://www.ilahq.qut.edu.au/Misc/BIOLOGICAL_AGENTS.2009.pdf
33. Oficina Nacional de Estadísticas de Cuba (ONE). Ambiente natural. En: Medio ambiente, estadísticas en la Revolución. Cap. 3. Colecciones Estadísticas. Cuba, 2008 [consultado 25 Abr 2012]. Disponible en: <http://www.one.cu/publicaciones/50aniversario/medio ambiente/public completa.pdf>
34. Pinzari F, Montanari M, Michaelsen A, Piñar G. Analytical protocols for the assessment of biological damage in historical documents. *Coalition.* 2010;19:6–13.
35. Pinzari F, Paquariello G, de Mico A. Biodeterioration of paper: A SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions. *Macromol Symp.* 2006;238:57–66.
36. Pitt JI. A laboratory guide to common *Penicillium* species. 3rd ed. North Ryde: Food Science Australia; 2000.
37. Radler de Aquino F, de Góes LF. Guidelines for indoor air quality in offices in Brazil. *Proc Healthy Buildings.* 2000;4:549–53.
38. Rautela GS, Cowling EB. Simple culture test for relative cellulolytic activity of fungi. *Appl Microbiol.* 1986;14:892–8.
39. Redelman-Sidi G, Brown AE, Seo SK. *Rhodotorula* species. En: Yu VL, Weber R, Raoult D, editores. *Antimicrobial therapy and vaccines.* Pittsburgh, PA: ESUN Technology, LLC; 2010.
40. Resolución 41/2009 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Lineamientos para la conservación de las fuentes documentales. Cuba, 2009 [consultado 11 Mar 2009]. Disponible en: <http://www.gacetaoficial.cu/>
41. Rojas TI, Martínez E, Aira MJ, Almaguer M. Aeromicota de ambientes internos: comparación de métodos de muestreo. *Bol micol.* 2008;23:67–73.
42. Rojas TI, Martínez E, Gómez Y, Alvarado Y. Airborne spores of *Aspergillus* species in cultural institutions at Havana University. *Grana.* 2002;41:190–3.
43. Samson RA, Yilmaz N, Houbraken J, Spierenburg H, Seifert KA, Peterson SW, et al. Phylogeny and nomenclature of the genus *Talaromyces* and taxa accommodated in *Penicillium* subgenus *Biverticillium*. *Stud Mycol.* 2011;70:159–83.
44. Sanchis J. Los nueve parámetros más críticos en el muestreo biológico del aire. *Revista Técnicas de Laboratorio.* 2002;276:858–62.
45. SBM. Standard of building biology testing methods and guidelines. *Baubiologie Maes/IBN;* 2003.
46. Seifert D. *Fusarium* Interactive Key (Fuskey). Agriculture and Agri-Food Canada. Cat. No. A42-66/1996E-IN. 1996 [consultado 11 Mar 2003]. Disponible en: <http://res.agr.ca/brd/fusarium/home1.html>
47. Singh J. European heritage conservation and environmental monitoring-making informed decisions. *European heritage conservation environmentally sustainable solutions.* Dublin, Ireland: Trinity College; 2003.
48. Smith G. *Ecology and field biology.* 2nd ed New York: Harper & Row; 1980.
49. Valentín N. Microorganisms in museum collections. *Coalition.* 2010;19:2–5.
50. Valentín N, Vaillant M, Guerrero H. Programa de control integrado de plagas en bienes culturales de países de clima mediterráneo y tropical. *Apoyo.* 1997;7:13–4.
51. Walker A. *Basic preservation guidelines for library and archive collections.* London: National Preservation Office, NPO Preservation Guidance, British Library; 2003.
52. Yang CS, Li DW. Ecology of fungi in the indoor environment. En: Yang CS, Heinsohn PA, editores. *Sampling and analysis of indoor microorganisms.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2007. p. 191–214.