

Evaluación de la calidad micológica ambiental del depósito de fondos documentales del Museo Nacional de la Música de Cuba en época de lluvia

Assessment of mycological environmental quality in a repository of documentary collections from the National Music Museum in Cuba during the rainy season

Julio César Rodríguez García ^a, Betzaida Rodríguez Rosales ^a, Sofía Flavia Borrego Alonso^{b*}

Palabras claves:

aerobiología, biodeterioro, calidad ambiental, patrimonio documental, hongos filamentosos

Keywords:

aerobiology, biodeterioration, environmental quality, documentary heritage, filamentous fungi

ABSTRACT

The study of microbiota in indoor environments of institutions safeguarding historic cultural values is of great interest to experts in heritage conservation science since microorganisms, particularly fungi, can produce their biodeterioration and have potentially serious effects on human health. The overall objective of this study was to assess mycological environmental quality in a documentary conservation from the National Museum of Music in Cuba. Microbiological sampling was conducted in the documentary repository of National Music Museum in the rainy season from May to October 2011 through 25 consecutive weekly samplings using the exposed-plate sedimentation method described by Omeliansky. The quantification of air CFU.m⁻³ was conducted and correlated with the variations of HR and T. Deterioration power of fungal genera isolated in higher density and relative frequency by physiological tests was evaluated qualitatively. Air microbial concentration was above 100 CFU.m⁻³, which shows that the museum was contaminated from the point of view of bioteterioration. *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Eurotium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Mucor* and *Chrysonilia* were identified. *Aspergillus* and *Cladosporium* were the predominant genera. Most fungal isolates degraded cellulose, starch and gelatin and also produced pigments and acid. A new record for Cuban closed places, *Aspergillus carneus*, was found.

RESUMEN

El estudio de la microbiota en ambientes interiores de instituciones destinadas a la salvaguarda de los valores histórico culturales de los bienes patrimoniales es de gran interés para los especialistas dedicados a la conservación científica del Patrimonio Cultural, pues los microorganismos, especialmente los hongos, son capaces de causar su biodeterioro material además de provocar potencialmente serias afecciones a la salud de las personas. El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la calidad micológica ambiental para la conservación de las colecciones documentales del Museo Nacional de la Música en Cuba. El estudio se realizó en el depósito de fondos documentales del museo en la época de lluvia comprendida entre mayo y octubre del 2011, mediante 25 muestreos semanales consecutivos. Para el muestreo de la microbiota fúngica del aire se empleó el método de sedimentación de placa expuesta descrito por Omeliansky. Se realizó la cuantificación de UFC. m⁻³ de aire correlacionándose con las variaciones de HR y T, y se evaluó cualitativamente el poder deteriógeno de los géneros fúngicos aislados en mayor densidad y frecuencia relativa mediante pruebas fisiológicas. La concentración microbiana detectada en el aire fue superior a las 100 UFC. m⁻³ de aire, por lo que se puede considerar que es un local contaminado desde el punto de vista del biodeterioro. Se identificaron los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Eurotium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Mucor* y *Chrysonilia*, predominando *Aspergillus* y *Cladosporium*. La mayoría de los hongos aislados degradaron celulosa, almidón y la gelatina, y produjeron pigmentos y ácidos. Se encontró un nuevo registro en ambientes interiores para Cuba, la especie *Aspergillus carneus*.

^a Laboratorio de Ciencias Aplicadas. Centro de Conservación, Restauración y Museología (CECRM). Universidad de las Artes-ISA. jcesar@isa.cult.cu; leoncesar65@gmail.com

^b Laboratorio de Conservación Preventiva. Archivo Nacional de la República de Cuba (ARNAC). sofia@arnac.cu; sofy.borrego@gmail.com, sborrego@aol.com

* Autor para correspondencia: {537} 862-9436. sofia@arnac.cu; sofy.borrego@gmail.com, sborrego62@aol.com

INTRODUCCIÓN

El papel está constituido principalmente por celulosa y otras moléculas, como lignina, hemicelulosas, pectinas, ceras, taninos, proteínas y constituyentes minerales, por lo que representa una fuente de carbono orgánico importante para muchos organismos heterótrofos. Debido a ello, el biodeterioro juega un papel esencial en la pérdida de los valores y funcionalidad de los documentos (Vaillant & Valentín, 1996; Valentín *et al.*, 1997; Valentín *et al.*, 2001).

El papel como material orgánico es muy higroscópico y gana o pierde agua en función del grado de humedad relativa de la atmósfera que le circunde, y su superficie varía de dimensiones según la humedad residual de sus fibras. Por lo tanto, si la fibra de celulosa se deshidrata desaparecerán parte de los puentes de hidrógeno de la molécula de celulosa que lo constituye y la fibra se contraerá en su anchura. Cuando la fibra está bien hidratada se expande y el exceso de agua reblandece la fibra hasta desmenuzarla (UNESCO, 1985). Estas alteraciones en la estructura físico mecánica del papel, causadas por las variaciones de humedad relativa y temperatura, favorecen el ataque de agentes biológicos heterótrofos que encuentran en sus componentes químicos, estructuralmente alterados, una fuente asequible de carbono para su nutrición y desarrollo, acelerándose el biodeterioro (Nugari & Roccardi, 2001; Florian, 2003, 2004; Pinzari *et al.*, 2004, 2006; Cappitelli & Sorlini, 2010).

La conservación es una disciplina técnica al servicio de la salvaguarda de las colecciones atesoradas no sólo en museos sino también en instituciones dedicadas a la salvaguarda del patrimonio histórico cultural de una nación, como es el caso de archivos y bibliotecas, o cualquier institución que atesore bienes de valor patrimonial que deben velar por su preservación y transmisión (ICCROM-UNESCO, 2009).

El deber del especialista en conservación consiste en tomar todas las medidas posibles para prevenir o reducir al mínimo

el deterioro de las colecciones y evitar situaciones, ya sean activas o pasivas, que pudieran tener como consecuencia el deterioro del objeto. En el procedimiento científico técnico que tributa a la actividad de conservación preventiva, juega un papel esencial el estudio de la calidad ambiental de los locales donde se almacenan, exhiben o manipulan las colecciones de museos, archivos y bibliotecas. Dicho estudio de calidad ambiental, incluye la valoración y análisis de los niveles de contaminación química, microbiológica y los factores físicos como la humedad relativa, la temperatura, la iluminación, manipulación, y otras (Giani *et al.*, 2010).

El Museo Nacional de la Música (MNM) en Cuba fue fundado el 9 de septiembre de 1971, en el edificio donde se encontraba el antiguo palacete de la familia Pérez de la Riva. Entre las donaciones más importantes que se recibieron en los primeros tiempos y que forman hoy parte de la valiosa colección del fondo de la biblioteca de esta prestigiosa institución consultada por estudiosos e investigadores del arte musical cubano, están las partituras originales y ediciones de grandes compositores cubanos como José Mauri, Gonzalo Roig, Alejandro García Carturla, Hubert de Blank, Amadeo Roldán, José White, Eduardo Sánchez de Fuentes, Guillermo Tomás, Erich Kleiber y Esteban Salas entre otros. En 1997 asumió la dirección del museo el musicólogo Jesús Gómez Cairo, director hasta entonces del Centro de Documentación e Información Musical Odilio Urfé, que por decisión estratégica del Instituto Cubano de la Música se fusionó al museo, con el propósito de centralizar en una a dos instituciones con perfiles de trabajo similares; los fondos de la biblioteca y los materiales de archivo se incrementaron notablemente con esta fusión y por consiguiente la posibilidad de ofrecer un mejor servicio.

Como respuesta a la imperiosa necesidad de tomar acciones apremiantes para detener el deterioro de los bienes patrimoniales atesorados en el Museo Nacional de la Música, donde las malas condiciones del inmueble y las limitantes espaciales, tanto

para la exposición como el almacenamiento, estaban poniendo en riesgo su integridad, surge un importante proyecto de rescate de la edificación y sus colecciones. Para ello, fue necesario trasladar las colecciones que atesora el museo a un edificio que, inicialmente, fue considerado como un local de tránsito mientras duraran las labores de rescate del edificio sede. Sin embargo, posteriormente, se determinó que continuaría funcionando como edificio destinado al almacenamiento de colecciones. Es precisamente en esta nueva edificación, acondicionada para acoger las vastas colecciones del MNM, donde se realizó el presente estudio sobre la calidad micológica del ambiente del local destinado al almacenamiento de una importante colección bibliográfica que, como se planteó anteriormente, guarda documentos, publicaciones, fotografías, discos y partituras originales de importantes personalidades e instituciones de la cultura musical cubana e internacional. Este estudio, constituye el fundamento para trazar una eficiente estrategia de conservación preventiva que permita la salvaguarda eficiente de esta colección.

Entre los factores de deterioro que más afectan las colecciones documentales bajo condiciones de clima tropical húmedo, como el de Cuba, se encuentran los microorganismos (Rojas, 2010; Molina, 2012). Numerosos organismos aerotransportados, sus fragmentos, así como otras partículas de origen biológico flotan pasivamente en la atmósfera. Dentro de los bioaerosoles, las esporas fúngicas integran gran parte del material biológico suspendido en el aire, y constituyen el grupo más numeroso que alcanza concentraciones muy significativas en determinadas épocas del año (Matthais-Maser *et al.*, 2000; Aira *et al.*, 2007).

El objetivo de la presente investigación fue valorar el comportamiento de los parámetros ambientales: humedad relativa, temperatura y contaminantes fúngicos aerotransportados; que juegan un papel esencial y determinante en el deterioro de materiales orgánicos como el papel, y evaluar así la calidad micológica ambiental

para la conservación de las colecciones documentales del Museo Nacional de la Música en Cuba, en la época de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como local de estudio el depósito de fondos documentales del Museo Nacional de la Música de Cuba teniendo en cuenta el valor de las colecciones que alberga y que el sustrato predominante es el papel, uno de los materiales orgánicos más susceptibles al biodeterioro microbiológico ambiental especialmente fúngico. Las dimensiones del local son 19.30 m de largo, 9.30 m de ancho y 4.70 m de altura. En la Figura 1 se muestran los detalles estructurales más relevantes de dicho local. El estudio se realizó durante la denominada época de lluvia en Cuba, comprendida entre los meses de Mayo y Octubre del 2011, partiendo de resultados previos puntuales realizados en un día de la época de seca y un día de la época de lluvia.

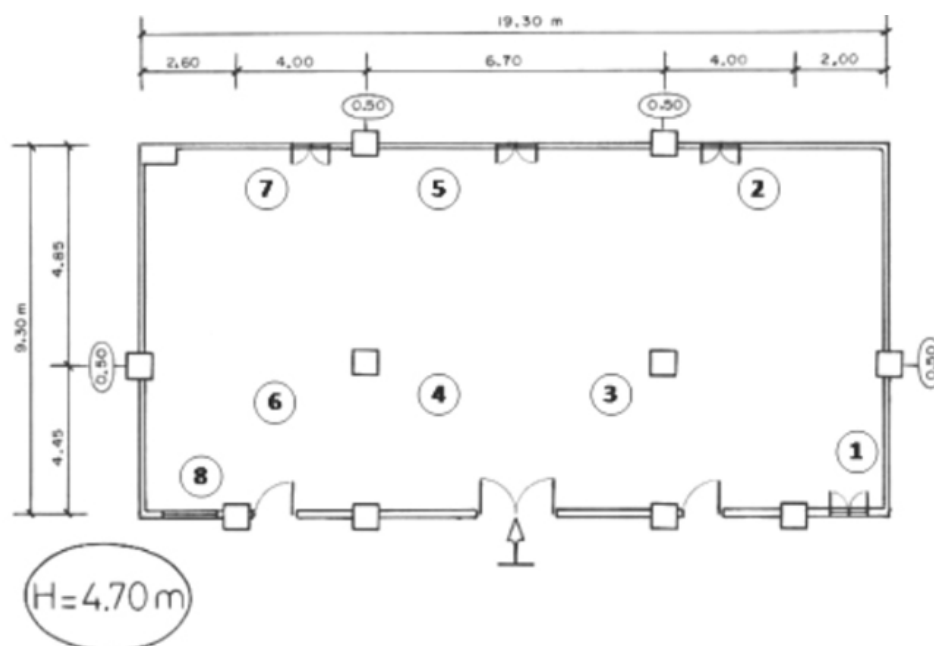


Figura 1. Esquema del local muestreado indicando los puntos de muestreo microbiológico y ambiental.

Figure 1. Schema indicating microbiological and environmental sampling points

Medición de temperatura y humedad relativa

Durante la realización del muestreo microbiológico ambiental se midieron los valores de temperatura y humedad relativa existentes en el local de estudio, empleando un Psicrómetro de molinete y tablas psicrométricas.

Durante todo el periodo de estudio se colocaron dos termohigrógrafos con sistema de relojería manual, con los cuales se registraron de manera continua las variaciones de humedad relativa y temperatura, realizándose el cambio de la plantilla de registro y la calibración del equipo los días de muestreo.

Muestreo, identificación y caracterización de la microbiota ambiental

Los muestreos se realizaron en cada punto seleccionado, empleando el método de sedimentación descrito por Omeliansky (Bogomolova & Kirtsideli, 2009), muestreándose 8 puntos por triplicado (Figura 1) de acuerdo con

Sánchis (2002), durante toda una época de lluvia con un muestreo semanal entre los meses de mayo y octubre (25 semanas consecutivas). Concluida la incubación, a temperatura ambiente de 7 a 10 días, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia para determinar la concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonias por m^3 de aire ($UFC \cdot m^{-3}$) según la ecuación descrita por Omeliansky (Bogomolova & Kirtsideli, 2009; Borrego & Molina, 2014) y se determinó el grado de contaminación comparando las concentraciones microbianas obtenidas con los valores propuestos por Omeliansky (l.c.).

Se realizó la depuración de las diferentes cepas microbianas que crecieron en las placas correspondientes a los diferentes muestreos y se procedió a su identificación por técnicas tradicionales siguiendo los criterios de Casadesús & Rojas (1981), Pitt (1988), Klich & Pitt (1994), Barnett & Hunter (1998) y Pitt (2000). Se determinaron las densidades relativas (DR) de las cepas aisladas según Smith (1980) y Borrego & Molina (2014) y las frecuencias relativas (FR) según Esquivel *et al.* (2003), Saleh (2007) y Borrego & Molina (2014).

La caracterización cualitativa del poder deteriógeno de las cepas con mayor densidad y frecuencia relativa se llevó a cabo mediante el estudio de la producción de ácido; determinación cualitativa de la actividad celulolítica, proteolítica y amilolítica por los hongos aislados (Borrego *et al.*, 2010 a,b).

Análisis biométricos

La variable de respuesta (variable dependiente) fue el recuento o concentración microbiana y los factores a analizar fueron la humedad relativa y la temperatura (variables independientes). A los resultados obtenidos se les realizó un análisis estadístico por el programa Statgraphics Centurion XV, aplicando:

-Gráficos de control individuales para analizar la distribución de los valores puntuales.

-ANOVA simple (factor HR y T) por el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para determinar la influencia de los factores ambientales monitoreados sobre la variable de respuesta.

-Análisis multifactorial para obtener las posibles correlaciones ordinales (Pearson), correlaciones parciales y covarianzas, establecer las relaciones entre la variable de

respuesta y los factores, además corroborar la similitud entre los muestreos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas del depósito de bienes documentales del MNM

La humedad relativa (HR) y la temperatura (T) del local a lo largo de todo el periodo de estudio mostraron un comportamiento estable como puede apreciarse en la Figura 2. La temperatura osciló entre los 27 y 32 °C con variaciones semanales máximas de 3 °C, mientras la HR osciló entre los 56 y 70 %, manteniéndose regularmente por debajo del 65 %, con una variación máxima intrasemanal de 10 % de amplitud. Este comportamiento demuestra que el local estudiado posee un clima estable que no favorece la existencia de brotes de contaminación fúngica a partir de la posible germinación de las esporas depositadas en la superficie de los ejemplares de la colección al no poseer estos la actividad de agua requerida para desarrollar sus procesos metabólicos. El comportamiento de los parámetros climáticos garantiza además que no ocurra deterioro causado directamente por las variaciones bruscas o valores elevados, especialmente de la HR, como es el stress o fatiga en este tipo de material orgánico a partir de su comportamiento higroscópico.

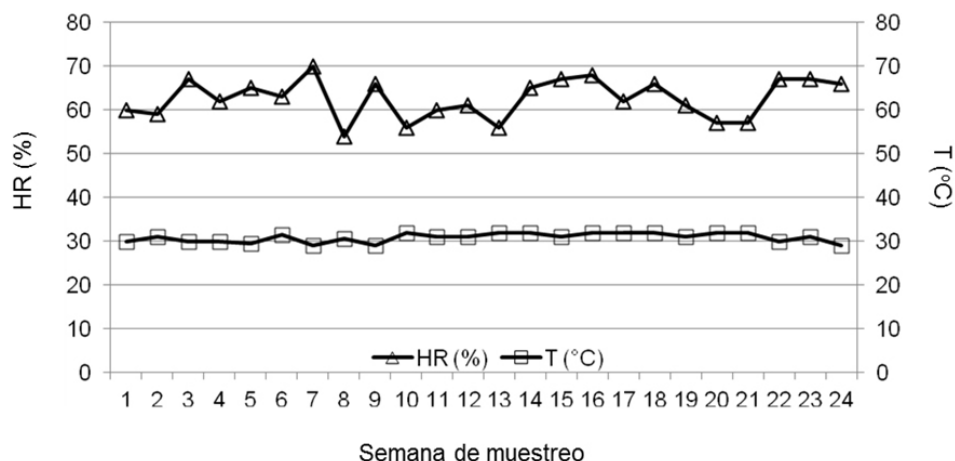


Figura 2. Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR) dentro del local estudiado durante la época de lluvia (mayo-octubre 2011).

Figure 2. Temperature (T) and Relative Humidity (HR) inside the repository during the rainy season (May to October 2011)

La Figura 3 muestra un registro de temperatura y humedad relativa obtenido durante una de las semanas estudiadas, que se considera representativo de los 25 muestreos realizados. Este muestra la estabilidad en el comportamiento de estos parámetros climáticos, lo cual es garantizado

por la técnica de manejo climático que posee el local a partir del sistema de ventilación natural cruzada que existe en el mismo durante los horarios de apertura del museo y el empleo de deshumidificadores durante el horario de cierre del mismo.

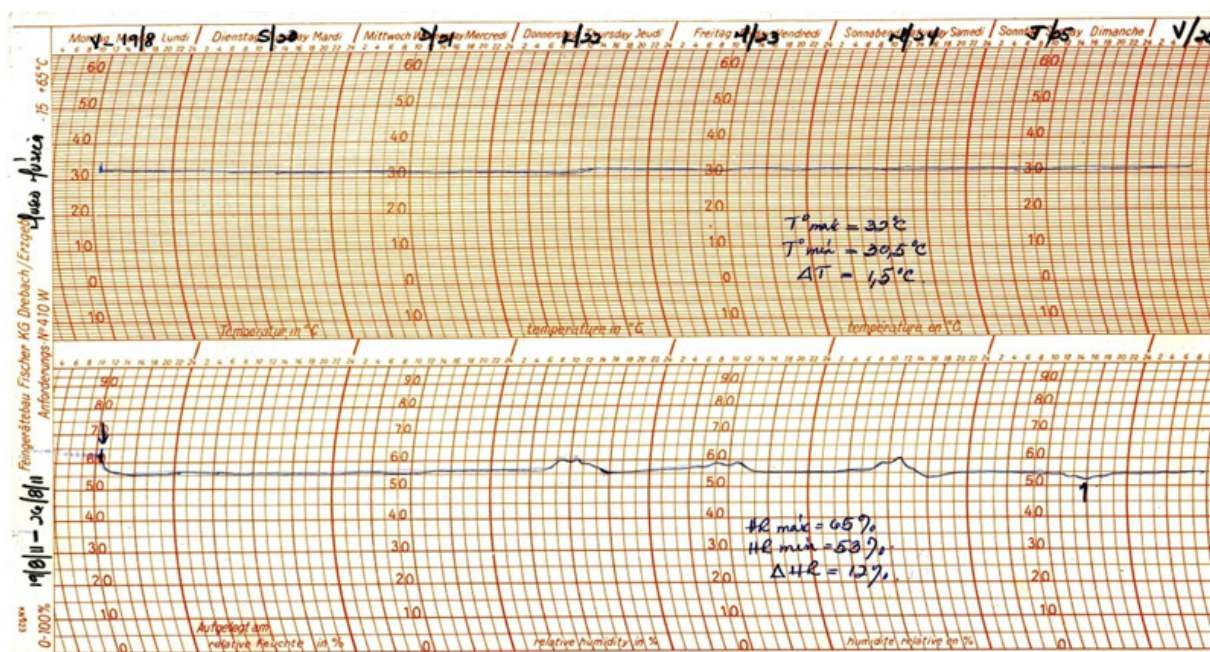


Figura 3. Registro de temperatura (arriba) y humedad relativa (abajo) tomado con termohigrógrafo para una de las semanas de estudio.

Figure 3. Recording of temperature (above) and relative humidity (below) taken with a thermohygrograph during one of the studied weeks

La relativa estabilidad del comportamiento de los parámetros climáticos durante toda la época de estudio (Mayo - Octubre 2011) se puede corroborar con el gráfico de los valores máximos y mínimos de HR y T en cada semana a partir de los registros continuos obtenidos (Figura 4). Como se aprecia, no hubo variaciones elevadas ni bruscas en los rangos de T, detectándose una variación máxima de 3°C con un comportamiento prácticamente lineal y una ligera tendencia a disminuir hacia las últimas semanas del estudio en correspondencia con los máximos valores de HR registrados. Por su parte, la HR muestra un rango de variación más marcado entre los valores máximos y mínimos, pero estas variaciones no generan grandes áreas entre las curvas demostrándose así la estabilidad del clima interior del local de

estudio y, corroborándose la efectividad de la ventilación en el manejo climático de la institución para evitar la formación de bolsas de aire húmedo que generen microclimas favorables para el deterioro físico-químico y biológico de las colecciones documentales.

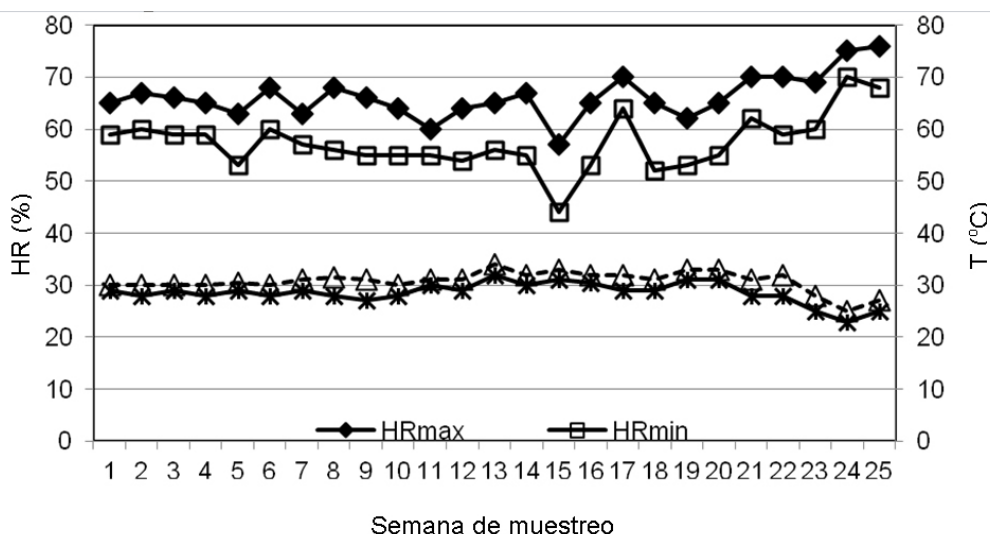


Figura 4. Máximos y mínimos de HR y T registrados a lo largo de las 25 semanas de estudio.

Figure 4. Maximum and minimum RH and T recorded throughout the 25-week of study

Contaminación microbiana por hongos en el aire interior del local

El análisis estadístico de los resultados del recuento total de colonias fúngicas (UFC) y sus valores correspondientes de concentración microbiana (UFC.m⁻³ de aire), tuvieron una distribución normal, lo cual indica que las medias muestrales pueden

asumirse como un comportamiento de las medias poblacionales dado el mínimo de 25 muestreos realizados en las diferentes meses del año representativos de la época de lluvia. Es decir, que la micobiota típica del local objeto de estudio es similar aunque su distribución estuvo influenciada por los factores humedad relativa y temperatura como se explicará a continuación.

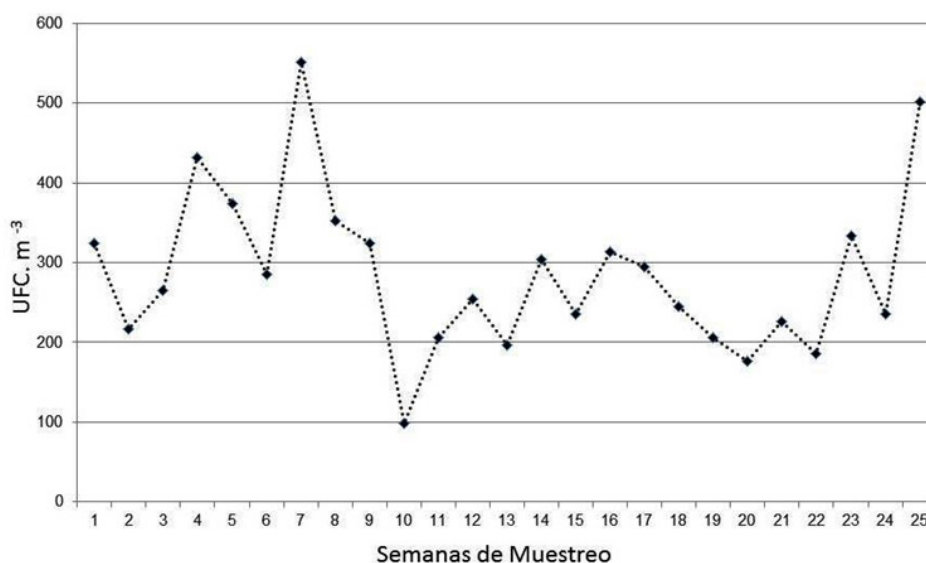


Figura 5. Distribución de la concentración fúngica en la época de lluvia analizada.

Figure 5. Distribution of fungal concentration in the rainy season analyzed

A partir de los resultados obtenidos (Figura 5), al analizar el comportamiento de la concentración de contaminantes fúngicos aislados del aire se aprecia que la media de las concentraciones fúngicas detectadas oscilaron entre 92 y 573 UFC.m⁻³ de aire, concentraciones que comparadas con la escala propuesta por Omeliansky para evaluar el grado de contaminación microbiana del aire y otros reportes más recientes que consideran que un ambiente está contaminado cuando presenta una concentración microbiana superior a 1000 UFC.m⁻³ (EIHA, 2004), podemos considerar que el local estudiado presenta un ambiente no contaminado con hongos.

No obstante es importante tener en cuenta que concentraciones microbianas superiores a las 100 UFC.m⁻³ de aire, pueden ser niveles importantes desde el punto de vista del biodeterioro de los materiales presentes en dicho ambiente y para la conservación del Patrimonio Cultural en general, lo que concuerda también con lo planteado por el Ministerio de Cultura de Italia según Resolución 2000 de 1998 que norma valores menores de 150 UFC.m⁻³ de aire (Cappitelli *et al.*, 2009) para poder considerar que un ambiente no está contaminado micrológicamente, por lo que desde el punto de vista de la conservación preventiva se puede afirmar que las cifras obtenidas representan un riesgo potencial de posible ataque y deterioro fúngico de las colecciones, por lo que resulta importante mantener el control climático adecuado, con niveles de HR que no excedan valores del 65%, los cuales propician el desarrollo vegetativo de las esporas fúngicas depositadas sobre la superficie de las colecciones y su acción físico química sobre las mismas causando daños no deseados que ponen en riesgo su salvaguarda.

La Figura 6 muestra que la concentración microbiana no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la variación de temperatura durante el tiempo de muestreo, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) respecto a la humedad relativa, lo que se puede evidenciar por la ubicación

de los valores promedios de concentración fúngica del aire y el solapamiento de las líneas que indican la desviación estándar, destacándose las diferencias entre los valores de 57 y 56 respecto al 64 % de humedad relativa. Pasanen *et al.* (1991), Hyvärinen *et al.* (2001) y Meklin *et al.* (2002) señalan que el diámetro aerodinámico de las esporas fúngicas es típico para especies específicas de microorganismos, pero también puede variar debido a las condiciones físicas de los ambientes interiores tales como la humedad relativa. El crecimiento higroscópico, lo que significa incremento del diámetro de la partícula por condensación o absorción de agua, influye en la deposición y cinética del aerosol.

La expansión de hongos aerotransportados está estrechamente relacionada a la humedad relativa del ambiente interior, por debajo de 30 % usualmente ocurre un ligero crecimiento de mohos, mientras por encima de un 70 % puede ser óptimo para el crecimiento fúngico. La higroscopicidad de los hongos aerotransportados puede afectar significativamente su diámetro aerodinámico y cambia su patrón de deposición en ambientes interiores, factores que influyen en las concentraciones fúngicas detectadas en el aire interior. El diámetro aerodinámico equivalente (AED) de las partículas aerotransportadas determina su movimiento incluyendo su deposición bajo gravedad, resuspensión y transporte por movimientos de aire (Hicks *et al.*, 2005). Estos criterios podrían explicar el comportamiento antes analizado respecto a la humedad relativa teniendo en cuenta además las especies predominantes en cada uno de estos muestreos que reflejan una diferencia significativa.

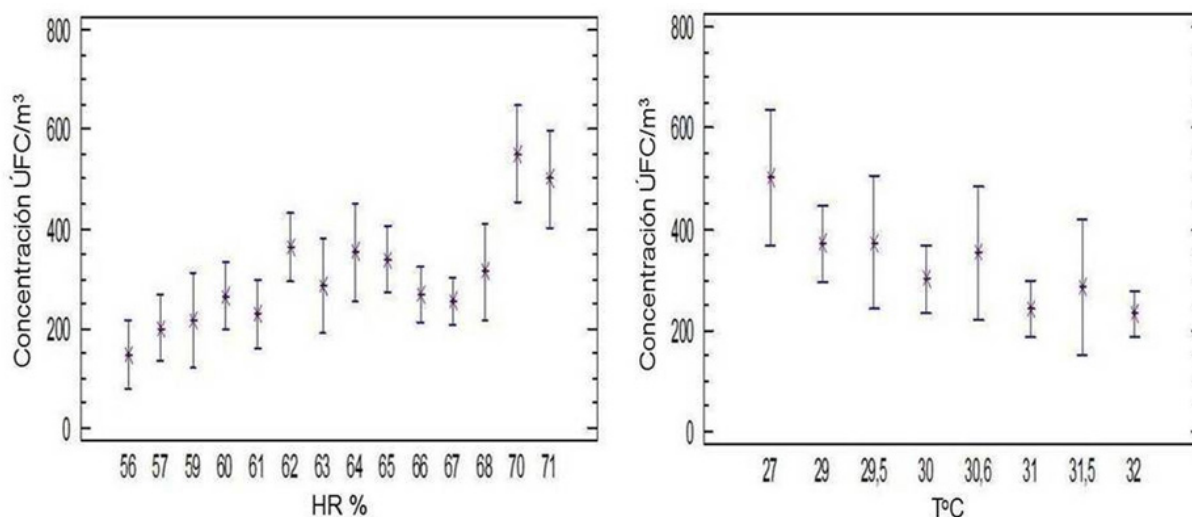


Figura 6. Diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) del promedio de la concentración microbiana respecto a los rangos de temperatura y la humedad relativa detectados en el período de estudio.

Figure 6. Least significant difference Fisher (LSD) of the average microbial concentration according to temperature and relative humidity ranges detected in the study period

Teniendo en cuenta estos resultados, al realizar un Test de Correlación de Pearson, a partir de la distribución normal de la muestra, los cuales se muestran en la Tabla 2, se puede constatar la existencia de una alta correlación positiva (63.8 %), entre la deposición de las esporas y propágulos fúngicos aerovagantes y la HR 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 HR y T, en todos los casos con un alto nivel de significación estadística, resultados que sustentan los antes discutido.

	HR vs UFC.m ⁻³	T vs UFC.m ⁻³	HR vs T
Correlación	0.6376	-0.6350	-0.5934
Pares de datos	(25)	(25)	(25)
p	0,0006	0,0006	0,0018

Tabla 2. Correlación ordinal de Pearson entre Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR), y la concentración fúngica realizado mediante el programa Statgraphics Centurion XV

Table 2. Ordinal Pearson Correlation between temperature (T) and relative humidity (HR) and fungi concentration through Statgraphics Centurion XV programs

En latitudes bajas, donde predomina un clima tropical o desértico, la temperatura no es un factor tan influyente como la precipitación y la humedad (Aira *et al.*, 2006), por lo que existe siempre una relación más marcada en ambientes exteriores si tenemos en cuenta que las condiciones microclimáticas de los espacios interiores son más estables. En este caso particular la disminución de la temperatura puede relacionarse con una mayor concentración fúngica del aire ya que al disminuir la temperatura en un ambiente con una humedad absoluta constante implica un aumento de HR que según las características higroscópicas de las esporas aerotransportadas aumentaría el diámetro aerodinámico favoreciendo su sedimentación por gravedad provocando un incremento de las concentraciones detectadas por métodos gravimétricos como el utilizado en este estudio.

Estos resultados coinciden con múltiples reportes en la literatura especializada que plantean la existencia de correlaciones positivas significativas entre las concentraciones fúngicas del aire y la HR, especialmente aquellos que utilizan como método de muestreo el método de sedimentación por gravedad que se utilizó en el presente estudio (Stryjakowska-Sekulska *et al.*, 2007; Ulea *et al.*, 2009; Abdel Hameed *et al.*, 2012; Awad & Mawla, 2012; Novakovic *et al.*, 2013).

Resultados de otros investigadores (Rojas, 2010), en ambiente similares, no coinciden con los nuestros mostrando la existencia de correlaciones tanto negativas como positivas de las concentraciones fúngicas del aire con los niveles de humedad relativa, que en estos casos sobrepasan los valores de 75 % de HR, por lo que se puede pensar que esta correlación puede estar en dependencia no solo de los niveles de HR del ambiente sino también de las especies de hongos predominantes en el aire.

Caracterización taxonómica de los hongos aislados del aire

Se aislaron un total de 2178 colonias a lo largo de las 25 semanas de muestreo y se identificaron 1992 aislados correspondientes a 9 géneros de hongos filamentosos mitospóricos; 1617 hongos pertenecientes a la clase Hyphomycetes para un 74.6 %, entre los que destacó el orden Moniliales con un 49 % de los aislados pertenecientes a la familia Moniliaceae y el 51 % a la familia Dematiaceae; 333 aislados representantes de Ascomycota (clase Eurotiomycetes, género Eurotium) para un 15.3 %; 42 de Zygomycota (clase Zygomycetes, orden Mucorales) para un 1.9 % y, dos géneros no identificados por la carencia de esporulación para un 8.5 % (Tabla 3).

TAXA	No. de aislados	DR (%)	DR (%)*
Zygomycota			
Zygomycetes	42	1.9	
Mucorales	42		100
Rhizopus	35		83.3
Mucor	7		16.7
Ascomycota			
Ascomycetes	333	15.3	
Eurotiales	333		100
Deuteromycota			
Hyphomycetes	1617	74.2	
Moniliales	1617		100
Moniliaceae	792		49
Dematiaceae	825		51
No identificados	186	8.5	

DR: Densidad relativa; *: Indica DR respecto al taxa inmediato superior

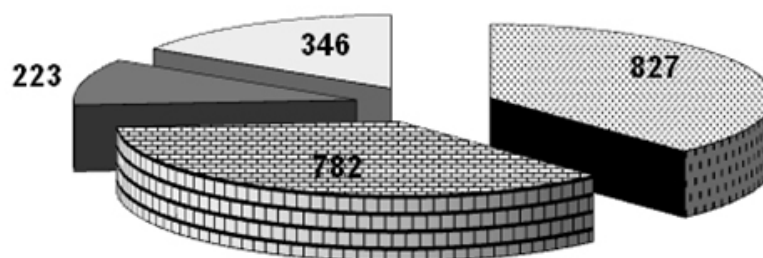
Tabla 3. Número de aislados y densidades relativas de los taxa aislados del aire interior del depósito documental del MNM en época de lluvia.

Table 3. Number of isolates and relative densities of taxa isolated from indoor air in the documentary deposit of MNM in the rainy season

Estos resultados coinciden con los reportes de estudios realizados en varios países del mundo que encontraron que los hongos imperfectos muestran los mayores porcentajes de densidad relativa en ambientes interiores con diferentes prestaciones e independientemente de los métodos de muestreo utilizados (Shelton *et al.*, 2002; Górný, 2004; Gómez de Ana *et al.*, 2006; Codina *et al.*, 2008; Zielinska-Jankiewicz *et al.*, 2008; Raisi *et al.*, 2010).

La caracterización hasta género de los aislados de hongos filamentosos mitospóricos, de Zygomycota, Ascomycota y hongos imperfectos, permitió la identificación de 9 géneros, con predominio de los géneros anamorfos *Cladosporium*

(782 aislados), *Aspergillus* (494 aislados), *Penicillium* (223) y el género *Erotium* (333) teleomorfo de *Aspergillus*, para un total de 1832 aislados que representan el 84,1% del total de aislados. Estos resultados son similares a los obtenidos en la gran mayoría de los estudios aerobiológicos realizados en ambientes interiores de locales con diferentes prestaciones incluyendo librerías, archivos y museos (Figura 7). Le siguieron en menor número los géneros anamorfos *Fusarium* (66), *Alternaria* (43), *Rhizopus* (35), *Mucor* (7) y *Chrysonilia* (9). Los restantes aislados correspondieron a 2 géneros no identificados, una colonia blanca no esporulada (CBNE) y una colonia gris algodonosa de reverso oscuro (CGRO).



■ *Aspergillus* + *Eurotium* ■ *Cladosporium* ■ *Penicillium* □ Resto de los aislados

Figura 7. Distribución de los géneros más abundantes respecto al total de aislados del aire.

Figure 7. Distribution of the most abundant genera according to the total air isolates

La distribución de la densidad relativa de los taxa aislados puede apreciarse en la Figura 8. El género con mayor densidad relativa en el período evaluado fue *Aspergillus* que alcanzó una DR de 38 % (22.7 % de *Aspergillus* y 15.3 % de *Eurotium*, teleomorfo de *Aspergillus*), seguido por *Cladosporium* con una DR de 35.5 %, y *Penicillium* con 10.2 %. Los valores obtenidos para los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* aunque varían según la densidad relativa encontrada en el presente

estudio, coinciden de manera general con los resultados reportados, para ambientes interiores de archivos y bibliotecas, por otros investigadores nacionales e internacionales (Borrego et al., 2010a; Rojas, 2010; Borrego & Molina, 2014; Molina & Borrego, 2014), lo que reafirma el criterio de que los mismos representan los contaminantes fúngicos por excelencia en los ambientes interiores destinados al almacenamiento de bienes del patrimonio histórico cultural.

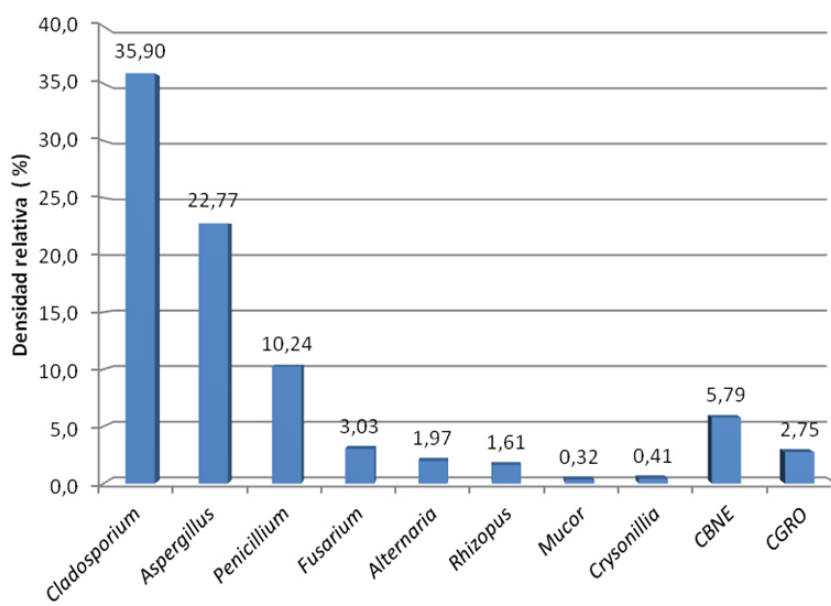


Figura 8. Densidad relativa (DR) de los géneros fúngicos aislados (CBNE: colonia blanca no esporulada; CGRO: colonia gris de reverso oscuro)

Figure 8. Relative density (RD) of isolated fungal genera (CBNE: Spanish acronym of white non-sporulated colony)

En correspondencia con estos resultados, la gran mayoría de los estudios aeromicrobiológicos nacionales e internacionales realizados en ambientes interiores reportan a estos tres géneros como los géneros de mayor prevalencia en el aire de estos ambientes, aunque la distribución de sus densidades pueden variar de un estudio a otro (Shelton *et al.*, 2002; Górnny, 2004; Gómez de Ana *et al.*, 2006; Codina *et al.*, 2008; Raisi *et al.*, 2010; Zielinska-Jankiewicz *et al.*, 2008; Rojas, 2010; Molina, 2012; Borrego *et al.*, 2012; Borrego & Molina, 2014; Molina & Borrego, 2014).

Como se aprecia en la Figura 9, 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 (Ezquivel *et al.*, 2003) 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 así mismo *Mucor* y *Chrysonillia* resultaron ser géneros muy raros y por tanto de poca importancia ecológica desde el punto de vista del biodeterioro material.

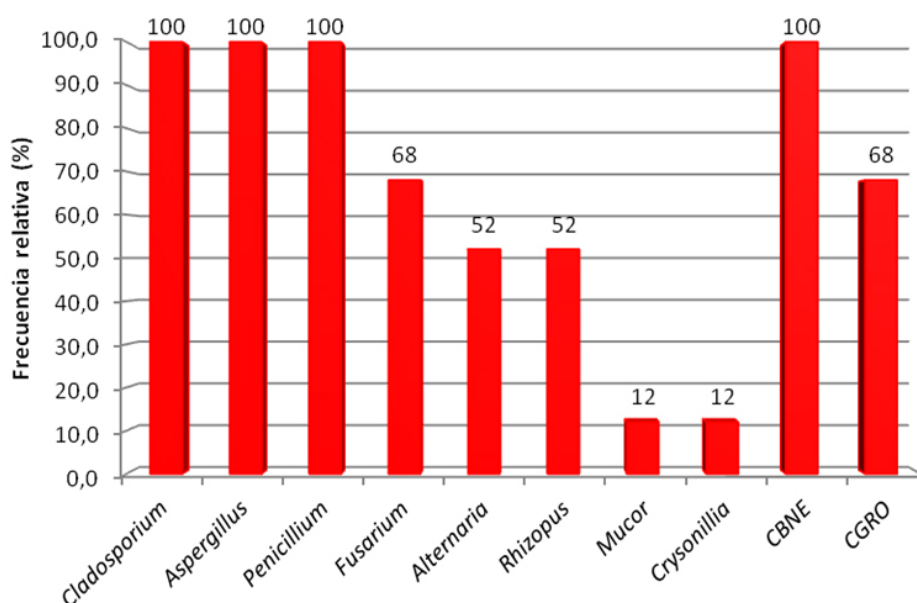


Figura 9. Frecuencia relativa (FR) de los géneros fúngicos aislados. CBNE: colonia blanca no esporulada; CGRO: colonia gris de reverso oscuro.

Figure 9. Relative frequency (RF) of isolated fungal genera isolated. CBNE: Spanish acronym of white non- sporulated colony

Los criterios de clasificación ecológica según la frecuencia relativa de aparición de los géneros aislados en el presente estudio coinciden con los resultados de otros estudios realizados en ambientes interiores incluyendo archivos, bibliotecas y museos, que reportan FR del 100% para los géneros de *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, seguidos por *Fusarium*, *Chrysonilia*, *Alternaria* y *Rhizopus* que representan taxas comunes y/o frecuentes en estos tipos de ambientes donde abundan materiales de naturaleza celulósica (Stryjakowska-Sekulska et al., 2007; Borrego et al., 2008, 2010, 2012; Ulea et al., 2009; Rojas, 2010; Abdel Hameed et al., 2012; Novakovic et al., 2013; Awad & Mawla, 2012; Molina & Borrego, 2014).

Al realizar un análisis de clusters según los cuadrados euclidianos por el método del vecino más cercano, 19 de los clusters formados a partir de los parámetros de HR, T y géneros fúngicos aislados, se agrupan a cortas distancias inferiores o iguales a 10, alejándose de estas distancias sólo 6 muestreos, entre los que se encuentran precisamente los mediciones correspondientes a los mayores por cientos de HR y más bajos valores de T con las mayores concentraciones de hongos detectadas en el aire, lo que corrobora la correlación negativa entre los parámetros climáticos y la alta correlación positiva de la HR y las concentraciones fúngicas del aire (Figura 10).

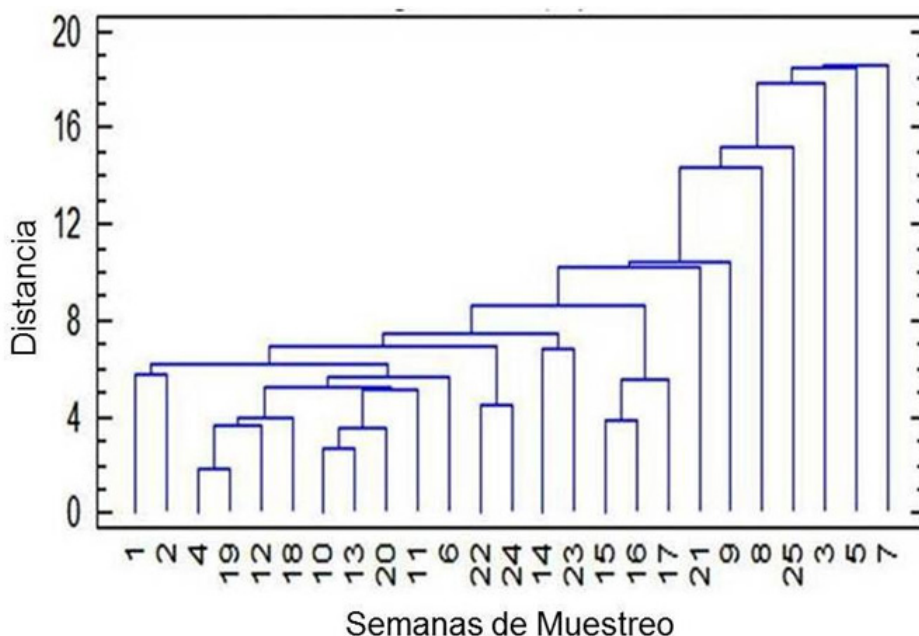


Figura 10. Dendrograma de cuadrados euclidianos según el método del vecino más cercano teniendo en cuenta la HR, T y los géneros fúngicos aislados.

Figure 10. Square Euclidean dendrogram according to the nearest neighbor method considering relative humidity (HR), temperature (T) and fungal genera isolated

Estos resultados permiten además afirmar que existe homogeneidad, demostrada estadísticamente, en el comportamiento de los factores analizados en los seis meses de la época de lluvia, por lo que los resultados obtenidos de la caracterización cuantitativa y taxonómica de la microbiota contaminante del local es representativo de esta época y

puede tomarse como valores de referencia predictivos por parte de los especialistas de la conservación sobre el riesgo potencial de deterioro que la microbiota ambiental pudiera provocar sobre las colecciones documentales.

Teniendo en cuenta que los géneros *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* representaron los taxa con mayor densidad y

frecuencia relativa se realizó la identificación de los aislados correspondientes a estos géneros hasta el nivel de especie. Se

identificaron 10 especies de *Aspergillus*, dos especies de *Cladosporium* y dos de *Penicillium* (Tabla 4).

TAXA	DR (%)	FR (%)
<i>Aspergillus flavus</i>	21.4	100
<i>Aspergillus niger</i>	19.7	100
<i>Aspergillus oryzae</i>	8.7	60
<i>Aspergillus carneus</i>	3.0	32
<i>Aspergillus auricomus</i>	2.7	24
<i>Aspergillus niveus</i>	1.5	20
<i>Aspergillus ochraceus</i>	1.6	16
<i>Aspergillus terreus</i>	1.2	12
<i>Aspergillus chevalieri</i>	33.6	100
<i>Aspergillus rubrum</i>	6.6	48
<i>Penicillium chrysogenum</i>	36.7	67
<i>Penicillium citrinum</i>	63.3	100
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	61.8	100
<i>Cladosporium herbarum</i>	38.2	87

*: Las DR se reportan respecto al taxa superior

Tabla 4. Densidad relativa (DR) y frecuencia relativa (FR) de las especies de *Aspergillus* y sus teleomorfos, *Penicillium* y *Cladosporium* aisladas del aire.

Table 4. Relative density (DR) and relative frequency (FR) of *Aspergillus* species and their teleomorphs, *Penicillium* and *Cladosporium*, isolated from air

Como se aprecia *Aspergillus* mostró la mayor diversidad ecológica de todos los géneros aislados del aire, con 10 especies diferentes. Las especies de *A. flavus* y *A. niger* mostraron las mayores densidades relativas dentro del género así como una frecuencia relativa de aparición del 100 % conjuntamente con *A. chevalieri*, que los convierte en especies comunes del local con un papel ecológico importante. Las especies de *A. flavus* y *A. niger* han sido registradas también como

las de mayor predominio en ambientes interiores de archivos y bibliotecas (Vaillant *et al.*, 1989; Borrego *et al.*, 2008, 2010a, 2012; Rojas, 2010; Molina, 2012; Borrego & Molina, 2014; Molina & Borrego, 2014) considerándose especies de importancia para el biodeterioro y la salud humana. Numerosos estudios internacionales reportan también las especies de *A. flavus* y *A. niger*, conjuntamente con *A. terreus* como las de mayor densidad y frecuencia relativa

dentro de los aislados fúngicos en interiores. (Stryjakowska-Sekulska et al., 2007; Ulea et al., 2009; Abdel Hameed et al., 2012; Awad & Mawla, 2012 Novakovic et al., 2013).

En cuanto a las especies de *Penicillium* identificadas, *P. chrysogenum* y *P. citrinum* coincidieron con las halladas por Borrego et al. (2011), Borrego & Perdomo (2012), Molina (2012) y Molina & Borrego (2014) en el Archivo Nacional de Cuba, así como con los reportes de Rojas (2010) en ambientes interiores de bibliotecas, y resultan también especies comúnmente reportada en estudios internacionales (Danny Carley et al., 1998; Shelton et al., 2002; Gómez de Ana et al., 2006). Lo mismo ocurre con las especies de *Cladosporium*, *C. cladosporioides* y *C. herbarum*, aunque los reportes a nivel específico de los representantes de este género son escasos en la literatura.

Caracterización fisiológica de los hongos aislados con mayor frecuencia y densidad relativa.

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

Teniendo en cuenta la importancia ecológica de los géneros *Aspergillus* y sus teleomorfos, *Cladosporium* y *Penicillium*, los cuales mostraron las mayores densidades relativas y una frecuencia del 100 % que los hacen contaminantes muy comunes en el ambiente del local estudiado, se decidió caracterizar su poder deteriogeno a partir de diferentes pruebas fisiológicas cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

La evaluación fisiológica de los aislados de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* demuestra que constituyen géneros con potencialidades enzimáticas muy amplias, resultados en correspondencia con los reportados por otros autores (Sunna & Antrainikian, 1997; Valentin, 1997; Villalba et al., 2004; Borrego et al., 2010a, 2012; Borrego & Perdomo, 2012; Molina 2012).

El análisis del crecimiento a expensas de la celulosa microcristalina o papel de filtro como única fuente de carbono, demostró que las especies de *Aspergillus* y *Cladosporium* fueron capaces de crecer en este medio lo cual demuestra que tienen una elevada actividad celulolítica al degradar una molécula de estructura cristalina altamente organizada. Las diferentes especies de *Penicillium* mostraron en este medio un crecimiento relativamente bajo, lo que demuestra que no poseen una fuerte actividad celulolítica, requiriendo que la molécula de celulosa posea una estructura amorfa que facilite su actividad química para degradarla como fuente de energía.

TAXA	Actividad celulolítica	Actividad amilolítica	Actividad proteolítica	Producción pigmentos	pH
<i>A. niger</i>	++++	+	+	-	5.58
<i>A. flavus</i>	++++	+	+	+	5.60
<i>A. oryzae</i>	+++	+	+	+	4.30*
<i>A. terreus</i>	+++	+	+	-	4.55*
<i>A. carneus</i>	++	+	+	+	5.53
<i>A. ochraceus</i>	+++	+	+	-	5.55
<i>A. auricomus</i>	++	+	+	-	5.58
<i>A. niveus</i>	+++	-	+	+	5.78
<i>A. candidus</i>	++++	-	+	+	3.20*
<i>A. chevallieri</i>	++	-	+	+	5.70
<i>A. rubrum</i>	+++	+	+	+	5.65
<i>C. cladosporioides</i>	++++	+	+	+	5.50
<i>C. herbarum</i>	+++	+	+	+	5.65
<i>P. chrysogenum</i>	+++	+	+	-	5.70
<i>P. citrinum</i>	++	+	+	+	4.65*

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

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

Tabla 5. Potencial biodeteriogeno de las cepas fúngicas con mayor frecuencia y densidad relativa aislados en el depósito del Fondo Documental y Archivo del Museo Nacional de la Música.

Table 5. Potential biodeterioration capacity of fungal strains with the highest frequency and relative density isolated from the repository in the Documentary Fund and Archive of the National Music Museum.

En la mayoría de las especies evaluadas se demostró de forma cualitativa, la actividad celulasa en papel de filtro, la cual define la actividad global del complejo enzimático que incluye exoglucanasas, endoglucanasas y β-glucosidasas, responsables del deterioro químico de materiales celulósicos como es el caso de las colecciones documentales (Ovando-Chacón & Waliszewski, 2005; Zhang *et al.*, 2006; Borrego *et al.*, 2010a, 2012; Molina, 2012).

La producción de ácidos y pigmentos por representantes de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* favorecen significativamente el deterioro de muchos materiales. Todas las especies analizadas mostraron que producen una acidificación del sustrato, la cual ocurre a través de la excreción de ácidos orgánicos, resultados que coinciden con los reportes de diversos autores que han citado que *A. niger*, *A. flavus* y *A. terreus* entre otras especies del género, producen ácido oleico, linoléico,

palmítico, esteárico y cítrico (Dai et al. 2004); mientras *A. niger* también produce ácido oxálico (Santhiya & Ting, 2005). Las especies que provocaron una mayor disminución de pH correspondieron al género *Aspergillus* y *P. citrinum*, que causan una disminución de pH de más de 2 unidades del valor inicial de pH del medio de cultivo empleado, lo que evidencia una fuerte producción de ácidos, resultados que también concuerdan con lo reportado por otros autores (Rojas, 2010; Borrego & Perdomo, 2012; Molina, 2012; Borrego & Molina, 2014).

La producción de pigmentos es una de las causas de biodeterioro más evidentes que causan los hongos sobre diferentes tipos de sustratos inorgánicos y orgánicos incluyendo el papel. Comúnmente las cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* destacan por mostrar una gama de pigmentos cuya presencia se evidencia a través de la difusión en el medio de cultivo así como en el papel de filtro empleado en la prueba de degradación de celulosa. Varios autores plantean que *A. flavus* provoca daños a documentos manchándolos de distintas tonalidades (Robledo, 1991; Florian, 2004), mientras otros afirman que esta especie no produce pigmentos (Paullada-Mena, 1982), resultados con los que coinciden los obtenidos en este estudio al evaluar las cepas de *A. flavus* aisladas. Rehnstrom & Free (1997) y Rosas & Casadevall (1997), plantearon que *A. niger* produce melanina y algún otro tipo de pigmento (amarillo, carmelita o verde), resultado que coincide con las cepas de *A. niger* evaluadas en este estudio, las cuales produjeron pigmentos amarillentos difusibles en el medio de cultivo. Las cepas de *A. terreus* evaluadas produjeron pigmentos difusivos de color ámbar, coincidiendo con lo observado por Hoog et al. (2000). Según Pitt (2000), la especie *Penicillium citrinum* puede producir pigmentos solubles de color amarillo, lo que coincide con los resultados del presente estudio y otros realizados en Cuba (Rojas, 2010; Molina, 2012; Borrego & Molina, 2014). Estos resultados demuestran una vez más las potencialidades que tienen estas especies como agentes biodeteriогenos. Otro aspecto importante que reafirma este potencial en la micobiota aerovagante en el local objeto de estudio, es la capacidad

que mostraron todas las cepas aisladas de emplear proteína como fuente de carbono, así como el poder de algunas especies de metabolizar el almidón, nutrientes que forman parte de la composición química de las colecciones documentales.

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

CONCLUSIONES

1. Según la escala propuesta por Omeliansky en el método de sedimentación las concentraciones detectadas corresponden a un ambiente no contaminado, pero si se tienen en cuenta los rangos de valores para el riesgo de deterioro biológico en colecciones de valor patrimonial, las concentraciones obtenidas hacen que este sea un ambiente contaminado con un importante riesgo potencial de deterioro.
2. El sistema de manejo climático implementado en el local de estudio garantiza la estabilidad del clima a lo largo de la temporada de lluvia. Se obtuvo una alta correlación negativa entre las variables climáticas (T y HR) y entre la temperatura y la concentración fúngica del aire, mientras que se demostró una alta correlación positiva entre esta última y la humedad relativa lo que evidencia la importancia de la humedad en la calidad microbiológica del ambiente.
3. Los mayores por cientos de aislados fúngicos del aire correspondieron a hongos mitospóricos de la clase Hyphomycetes (74.2 %) siendo los géneros *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Eurotium* y *Penicillium* los de mayores densidades relativas, todos con una frecuencia relativa del 100 % que los hace hongos ecológicamente comunes en el ambiente estudiado durante la época analizada.
4. El procesamiento estadístico de los resultados referentes a las variaciones de HR, T, y géneros fúngicos aislados del aire permitió afirmar que existe un comportamiento homogéneo, en términos de cantidad y diversidad ecológica, de la microbiota del aire durante toda la época de analizada.
5. *Aspergillus* spp. mostró la mayor diversidad ecológica, siendo las especies *A. flavus* y *A. niger* las de mayor densidad y frecuencia encontradas en el aire y el polvo; en los cuales se detectó además *A. carneus* que representa un nuevo reporte para Cuba en ambientes interiores.
6. Las especies fúngicas aisladas con mayor densidad y frecuencia relativa mostraron un elevado potencial biodeteriorígeno a partir de sus actividades metabólicas para degradar sustratos presentes en las colecciones documentales como celulosa, almidón y proteínas; además de ser productoras de ácidos y excretar pigmentos al medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Hameed AA, Ayesch AM, Razik Mohamed MA & Abdel Mawla HF. 2012. Fungi and some mycotoxins producing species in the air of soybean and cotton mills: a case study. *Atmospheric Pollution Research*, 3: 126-131
- Aira MJ, Rodríguez-Rajo FJ & Jato V. 2006. Comportamiento temporal de las mitosporas de *Cladosporium* en la atmósfera de Galicia (España). *Boletín Micológico*, 21: 19-26
- Aira MJ, Jato V, Stchigel AM, Rodríguez-Rajo FJ & Piontelli E. 2007. Aeromycological study in the Cathedral of Santiago de Compostela (Spain). *International Biodeterioration and Biodegradation*, 60: 231-237
- Awad AH & Mawla AH. 2012. Sedimentation with the Omeliansky formula as an accepted technique for quantifying airborne fungi. *Polish Journal of Environmental Sciences*, 21 (6): 1539-1541
- Barnett HL & Hunter BB. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*, Fourth. Edition. APS. Press. The American Phytopathological Society. USA: 218 p
- Bogomolova EV & Kirtsideli I. 2009. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg underground railway system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63:156-61
- Borrego S, Pons V & Perdomo I. 2008. La contaminación microbiana del aire en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 39 (1): 63-69
- Borrego S, Guiamet P, Gómez de Saravia S, Batistini P, García M, Lavín P & Perdomo I. 2010a. The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64: 139-145
- Borrego S, Perdomo I, Guiamet P, Gómez S. 2010b. Study of the microbial concentration in the air in repositories of the National Archive of Cuba. *AUGMDOMUS*, 1: 114-133
- Borrego S & García M. 2011. Comportamiento de la concentración microbiana aérea en la Fototeca del Archivo Nacional de Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 42: 61-67
- Borrego S, Lavín P, Perdomo I, Gómez de Saravia S & Guiamet P. 2012. Determination of Indoor Air Quality in Archives and Biodeterioration of the Documentary Heritage. *International Scholarly Research Network, ISRN Microbiology*, doi:10.5402/2012/680598
- Borrego S & Perdomo I. 2012. Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. *Aerobiología*, 28: 303-316
- Borrego S & Molina A. 2014. Comportamiento de la aeromicrobiota en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba durante 7 años de estudio. *AUGMDOMUS*, 6:1-24.
- Cappitelli F, Fermo P, Vecchi R, Piazzalunga A, Valli, G, Zanardini E,

Sorlini C. 2009. Chemical-physical and microbiological measurements for indoor air quality assessment at the Ca' Granada Historical Archive, Milan (Italy). *Water Air Soil Pollution* 201: 109-120

- Cappitelli F & Sorlini C. 2010. Papers and Manuscripts. P 45-59. En: Mitchell R & McNamara CJ (ed) *Cultural Heritage Microbiology: Fundamental Studies in Conservation Science*. ASM Press, Washington, DC
- Casadesús L & Rojas TI. 1981. *Micología. Manual Práctico*. Ed. MES, Cuba: 99 p
- Codina R, Fox RW, Lockey RF, De Marco P & Bagg A. 2008. Typical levels of airborne fungal spores in houses without obvious moisture problems during a rainy season in Florida. USA. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 58 (3): 156-162
- Dai Z, Mao X, Magnuson J & Lasure L. 2004. Identification of genes associated with morphology in *Aspergillus niger* by using suppression subtractive hybridization. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 2474-85
- Danny Cooley J, Wong WC, Jumper CA & Straus DC. 1998. Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occupational and Environmental Medicine*, 55: 579-584
- EIHA (Eagle Industrial Hygiene Associates). 2004. Microbial Sampling and Analysis: molds and bacteria: 115 p. <http://www.eagleih.com/micro.html>, Consultado 19/05/2012
- Esquivel PP, Mangiaterra M, Giusiano G & Sosa M.A. 2003. Microhongos anemofilos en ambientes abiertos de dos ciudades del nordeste argentino. *Boletín Micológico*, 18: 21 – 28
- Florian MLE. 2003. Water, heritage photographic materials and fungi. *Topics in Photographic Preservation*, 10: 60-73
- Florian MLE. 2004. *Fungal facts. Solving fungal problems in heritage collections*. Archetype Publications Ltd., London, UK: 146 p
- Giani E, Giobagnoli A & Nugari MP. 2010. A museum storage area: microclimate and air quality short-term monitoring programme. *e-Preservation Science*, 7: 56-58
- Gómez de Ana S, Torres-Rodríguez JM, Alvarado Ramírez E, Mojal García S & Belmonte-Soler J. 2006. Seasonal distribution of *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* and *Penicillium* species isolated in homes of fungal allergic patients. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 16 (6): 357-363
- Górnay RL. 2004. Filamentous microorganisms and their fragments in indoor air: A review. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11: 185-197
- Hicks JB, Lu ET, De Guzman R & Weingart M. 2005. Fungal types and concentrations from settled dust in normal residences. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2: 481-492

- Hoog GS, Guarro J, Gené J & Figueras MJ. 2000. *Atlas of Clinical Fungi*. 2nd edition. Centraalbureau loor Schimmelcultures/ Universitat Rovira I Virgili: 1126 ISBN 90-70351-43-9
- Hyvärinen A, Vahteristo M, Meklin T, Jantunen M & Nevalainen A. 2001. Temporal and spatial variation of fungal concentrations in indoor air. *Aerosol Science and Technology*, 35: 688-695
- ICCROM-UNESCO. 2009. *Preventive Conservation of Collections in Storage*. Activity Report for the Museum Section, Cultural Heritage Division of UNESCO: 51 p
- Klich MA & Pitt JI. 1994. *A Laboratory guide to the common Aspergillus species and their teleomorphs*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization: 116 p
- Kuhn DM & Ghannoum MA. 2003. Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clinic Microbiology Reviews*, 16: 144-172
- Martínez VA, Rincón CB, Esquivel G, Lazo JG, Llorenz MT & Velasco VM. 2002. Fungal spores in the environment of the asthmatic patient in semi-desert area of México. *Revista de Alergología Mexicana*, 49 (1): 2-7
- Matthais-Maser S, Obolkin V, Khodzir T & Jaenicke R. 2000. Seasonal variation of primary biological aerosols particles in the remote continental region of Lake Baikal/Siberia. *Atmospheric Environments*: 34: 3805-11
- Meklin T, Haugland RA, Reponen T, Varma M, Lummus Z, Bernstein D, Wymer LJ & Vesper SJ. 2004. Quantitative PCR analysis of house dust can reveal abnormal mold conditions. *Journal of Environmental Monitoring*, 6: 615-620
- Molina A. 2012. *Estudio de la calidad microbiológica del ambiente interior de la mapoteca del archivo nacional de la república de Cuba y del biodeterioro en mapas*. Tesis en Opción al Título Académico de Licenciado en Microbiología y Virología. Facultad de Biología, Universidad de la Habana: 61p
- Molina A & Borrego S. 2014. Análisis de la micobiota existente en el ambiente interior de la mapoteca del Archivo Nacional de la República de Cuba. *Boletín Micológico*, 29(1): 2-17
- Muller A, Lehmann I, Seiffart A, Diez U, Wetzig H, Borte M & Herbarth O. 2002. Increased incidence of allergic sensitisation and respiratory diseases due to mould exposure: results of the Leipzig Allergy Risk Study (L.A.R.S.). *International Journal of Environmental Health*, 204 (5-6): 363-365
- Novakovic M, Karaman M, Radnovic D, Radisic P & Sikoparija B. 2013. Monitoring of fungal spores in the indoor air of preschool institution facilities in Novi Sad. *Journal for Natural Sciences Matica Srpska Novi Sad*, 124: 297-305
- Nugari MP & Roccardi A. 2001. Aerobiological investigations applied to the conservation of cultural heritage. *Aerobiologia*, 17: 215-223

- Ovando-Chacon SL & Waliszewski KN. 2005. Preparativos de celulasas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. *Universidad y Ciencia*, México. 21 (42): 111-120
- Pasanen A.L., Pasanen PP, Jantunen MJ & Kalliokoski PP. 1991. Significance of air humidity and air velocity for fungal spore release into the air. *Atmospheric Environment*, 25 (2): 459-462
- Paullada-Mena M. 1982. La conservación preventiva de los materiales de archivos. *Información de Archivos A.G.N.*, México, 15: 1-253
- Pinzari F, Fanelli C, Canhoto O & Magan N. 2004. Electronic nose for the early detection of moulds in libraries and archives. *Indoor Built Environment*, 13: 387- 395.
- Pinzari F, Pasquariello G & De Mico A. 2006. Biodeterioration of paper: A SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions. *Macromolecular Symposia. Special Issue: Macromolecules in Cultural Heritage*, 238 (1): 57-66
- Pitt JL. 1988. *A Laboratory guide to the common Penicillium species*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. 183p.
- Pitt JL. 2000. *A laboratory guide to common Penicillium species*. Third Edition. Food Science, Australia: 197 p
- Raisi L, Lazaridis M & Katsivela E. 2010. Relationship between airborne microbial and particular matter concentrations in the ambient air at a Mediterranean site. *Global Nest Journal*, 12 (1): 84-91
- Rehnstrom AL & Free SJ. 1997. The isolation and characterization of melanin deficient mutants of *Molinia fructicola*. *Physiology and Molecular Plant Pathology*, 49: 321-330
- Robledo M. 1991. *Caracterización taxonómica, distribución y algunos aspectos fisiológicos de Aspergillus spp. que deterioran documentos en el Archivo General de la Nación*. Tesis de Maestría, UNAM, México: 108 p
- Rojas TI. 2010. *Diversidad fúngica en ambientes exteriores de áreas urbanas de ciudad de La Habana y sus potencialidades en el biodeterioro*. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Biológicas, Facultad de Biología, Universidad de la Habana, Cuba: 100 p
- Rosas AL & Casadevall A. 1997. Melanization effects susceptibility of *Cryptococcus neoformans* to heat and cold. *FEMS. Microbiology Letters*, 153: 265-272
- Saleh A. 2007. Studies on fungal communities associated whit litter of plant cover at Al-Taif Province, Saudi Arabia. *Meteorology, Environment and Arid Land Agricultur Sciences*, 18 (2): 87-98
- Sánchis J. 2002. Los nueve parámetros más críticos en el muestreo microbiológico del aire. *Revista Técnicas de laboratorio*, España, 276: 858- 862

- Santhiya D, Ting YP. 2005. Bioleaching of spent refinery processing catalyst using *Aspergillus niger* with high-yield oxalic acid. *Journal of Biotechnology*, 116 (2): 171-84
- Shelton BG, Kirland KH, Flanders WD & Morris GK. 2002. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied and Environment Microbiology*, 68 (4): 1743-1753
- Smith G. 1980. *Ecology and Field Biology*. Harper y Row. New York: 835 p
- Stark PPC, Burge HA, Ryan LM, Milton DK & Gold DR. 2003. Fungal levels in the home and lower respiratory tract illnesses in the first year of life. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 168: 232-237
- Stryjakowska-Sekulska M, Piotraszewska-Pająk A, Szyszka A, Nowicki M & Filipiak M. 2007. Microbiological Quality of Indoor Air in University Rooms. *Polish Journal of Environmental Sciences*, 16 (4): 623-632
- Sunna A & Antrainikian G. 1997. Xilanolytic enzymes from fungi and bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 17: 39-67
- Ulea E, Lipşa FD, Irimia N & Bălău AM. 2009. Survey of indoor airborne fungi in different educational institutions from Iasi, România. *Lucrări Ştiinţifice, seria Agronomie*, 52: 518-523
- UNESCO. 1985. La Preservación y restauración de documentos y libros en papel: un estudio del RAMP con directrices. PGI-84/WS/25.
- Vaillant M, Chi L & Sánchez A. 1989. Sobre la contaminación microbiológica en depósitos del Archivo Nacional. *Documentos*, Cuba 2: 44-62
- Vaillant M & Valentín N. 1996. *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ministerio de Educación y Cultura. Instituto del Patrimonio Histórico Español, Madrid: 158 p
- Valentín N, Vaillant M & Guerrero H. 1997. Programa de control integrado de plagas en bienes culturales de países de clima mediterráneo y tropical. *Apoyo*, Washington,USA, 7: 13-14
- Valentín N, García R, Ibáñez JL & Maekawa S. 2001. Tratamientos con ventilación controlada para detener el crecimiento microbiano en materiales de archivo. *Revista Archivamos*, 39: 40-44
- Villalba LS, Mikán JF & Sánchez J. 2004. Actividades hidrolíticas y caracterización isoenzimáticas de poblaciones microbianas aisladas del patrimonio documental del Archivo General de Colombia. *Nova Publicación Científica*, 2 (2): 50-57
- Zhang Y, Himmel M & Mielenz J. 2006. Outlook of cellulase improvement: screening and selection strategies. *Biotechnology Advances*, 24: 452-481
- Zielinska-Jankiewicz K, Kozajda A, Piotrowska M & Szadkowska-Stańczyk I. 2008. Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 15: 71-78