

Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala

Evaluation of air pollution by microscopic fungi in two biological collections and two museums of Guatemala

Herrera, K, Cobar, O, Barrios, R, Pierola, K, Chamalé, W. Rosales, C, Quan, J,
Moreno, M, Paxtor, J y Maas, J.

Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San
Carlos de Guatemala (USAC)
kherrera676@gmail.com

Recibido: 15 de octubre, 2014 • Aceptado: 16 de julio, 2015

Resumen

Se determinó la calidad del aire en el interior y exterior de la Micoteca Licenciado Rúbén Mayorga Peralta (MICG), el Herbario de Biología de Guatemala (Herbario BIGU), el Museo de Historia Natural (MUSHNAT) y el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (MUSAC). Para la recolección de los hongos microscópicos se utilizó la técnica volumétrica por impactación haciendo uso de un biolector. Los muestreos fueron realizados de octubre de 2011 a marzo de 2012, la identificación microscópica se realizó por medio de preparaciones con azul de lactofenol y para la identificación de levaduras se utilizó el API 20C AUX. Los resultados obtenidos en los ambientes Micoteca Licenciado Rúbén Mayorga Peralta indican que la mayor concentración fúngica fue de 1,780, (unidad formadora de colonias por metro cúbico UFC/m³) en el exterior y para el interior fue de 1,270 UFC/m³, en el caso del Herbario BIGU en el exterior fue de 2,790 UFC/m³ y en el interior de 1,450 UFC/m³, para el MUSAC la mayor concentración observada fue de 990 UFC/m³ para el exterior y de 1,010 UFC/m³ para el interior, y para el MUSHNAT en el caso del ambiente exterior fue de 1,630 UFC/m³ y para el interior fue de 2,850 UFC/m³. Los géneros predominantes durante los muestreos en ambos ambientes en todas las áreas muestreadas fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp. Se logró el aislamiento de otros géneros fúngicos de gran importancia *Fusarium* sp. y *Paecilomyces* sp. Se llevó a cabo la elaboración de una guía que contiene

información acerca de procedimientos de limpieza y bioseguridad acorde a la infraestructura y materia prima de cada establecimiento.

Palabras claves: calidad del aire, hongos microscópicos, biocolector, herbario, muestreo del aire.

Abstract

Air quality was determined both inside and outside the Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG), the Herbarium of the School of Biology (BIGU), the Museum of Natural History (MUSHNAT) and the Museum of the University of San Carlos of Guatemala (MUSAC). Volumetric sampling (impaction) with a bio-colector was used to gather microscopic fungi. The samples were collected from Oct 2011 to Mar 2012. Microscopic identification was performed using slides with lactophenol blue; while API 20C AUX was used for the identification of yeasts. The results obtained were 1,780 CFU/m³ outside and 1,270 CFU/m³ inside for MICG; 2,790 CFU/m³ outside and 1,450 CFU/m³ inside for BIGU; 990 CFU/m³ outside and 1,010 CFU/m³ inside for MUSAC, and finally 1,630 CFU/m³ outside and 2,850 CFU/m³ inside for MUSHNAT. The predominant genera found in both environments of all sites were *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. and *Aspergillus* sp. It was also possible to isolate other extremely important fungal genera such as *Fusarium* sp. and *Paecilomyces* sp. A guide was developed with information about the proper cleaning and biosafety procedures according to the infrastructure and raw materials of each site.

Keywords: quality of air, microscopic fungi, biocolector, Herbarium, sampling of the air.

Introducción

Las esporas fúngicas son componentes normales de ambientes externos. El aire de muchos ambientes internos también contiene esporas. Actualmente, se conoce que el aire presente en los ambientes exteriores puede ser la fuente de esporas fúngicas contaminantes de los ambientes internos. A su vez, muchos de estos últimos pueden servir como sitios de amplificación para el crecimiento de los hongos. Así, cuando se presenta una alta humedad, las esporas pueden germinar y el hongo puede crecer produciendo miles de nuevas esporas que utilizan la materia orgánica de esos sitios (Yang & Johanning, 1993).

La mayoría de los hongos presentes en los ambientes internos son saprofitos, porque, ellos obtienen lo que necesitan para su metabolismo de materiales muertos, materia orgánica o sustratos como madera, papel, pintura, suelo, polvo, piel y alimentos (Albright, 2001). No hay un cierto nivel de los hongos ambientales que puede ser considerado como seguro. Esto depende de la concentración fúngica en los ambientes externos y de los tipos de esporas presentes en el ambiente interno. Cada oficina, cada edificio o cada casa deben ser considerados como un caso separado y único. Generalmente, la concentración fúngica de los ambientes internos es menor que la presente en los externos (Berlongieri, 1999). Klanova (2000) estableció que la concentración de hongos en ambientes internos por encima de 2,000 UFC/m³, puede ser considerada como un factor de riesgo serio para la salud de los ocupantes.

Los herbarios, museos, bibliotecas y centros de documentación o simplemente colecciones, como un ambiente interno, son lugares aptos para el desarrollo y mantenimiento de estos microorganismos

que pueden causar daño sobre los libros, colecciones, documentos, entre otros.

Este estudio planteó la determinación y evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en algunos herbarios de interés científico en la ciudad de Guatemala a través del monitoreo mensual de (UFC/m³) de aire, así como también el aislamiento e identificación de los géneros fúngicos predominantes en el ambiente interior y exterior de cada institución.

Los resultados obtenidos se utilizaron para la propuesta de la “Guía para el control del biodeterioro de las colecciones científicas” en la cual se recopiló la información relevante en cuanto al deterioro y formas de prevención, por medio de la propuesta de normas de limpieza y desinfección para mejorar la calidad del aire y promover de esta manera la conservación de las colecciones y material de valor científico que se encuentran en estos establecimientos.

Materiales y Métodos

Con relación al lugar de estudio el monitoreo del aire se llevó a cabo en:

Micoteca Licenciado Rúben Mayorga Peralta (MICG), segundo nivel del edificio T-12 en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ciudad universitaria zona 12, ciudad de Guatemala.

Herbario BIGU, que se ubica en el segundo nivel del edificio T-10 en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, ciudad universitaria zona 12, ciudad de Guatemala.

MUSHNAT, ubicado en Avenida Reforma 3-61, Zona 10, ciudad de Guatemala.

MUSAC, ubicado en la 9a avenida 9-79, zona 1.

Para la selección de las áreas y puntos de muestreo, se obtuvo información sobre la infraestructura de los establecimientos a través de un estudio exploratorio y se ubicaron tres puntos de muestreo en el ambiente interior y tres puntos en el ambiente exterior de cada institución. Se seleccionaron en función del área y volumen ocupado, así como por la ubicación de las corrientes de aire (cambios en velocidad y dirección), actividades realizadas en los ambientes seleccionados y flujo del personal en este establecimiento (Castañeda, Montes & Avelino, 2006).

Para la selección de la hora de muestreo, se monitoreó cada hora de 8:00 am a 14:00 pm, esto permitió conocer la hora con mayor contaminación microbiológica en el ambiente exterior e interior en el horario estudiado.

Con relación a la toma de muestras de aire, se empleó un método volumétrico por impactación utilizando un aeroscopio que posee una capacidad de absorción de 0-100 L/minuto de aire. La capacidad de absorción que se utilizó durante los meses de octubre de 2011 a marzo 2012 fue de 100 L/min.

Las cajas de Petri con agar Saboraud utilizadas en el muestreo se incubaron por siete días a temperatura ambiente (26°C) y posteriormente se realizó el recuento y caracterización fúngica. Además, se calculó la carga fúngica en UFC/m³. Se aislaron los hongos microscópicos predominantes en cada caja realizando un pase de las colonias a los medios de cultivo: Czapek, Saboraud y PDA, lo cual permitió la purificación de las colonias, para luego llevar a cabo la caracterización (Sánchez & Martínez, 1997). Esta se realizó a través de la observación de las características morfológicas de las colonias (textura, color, forma de crecimiento, entre otros).

Posteriormente, se realizaron preparaciones en fresco con solución de Azul de Lactofenol de las colonias aisladas y se observaron al microscopio (Rico, 1998). Se realizó la identificación de los géneros fúngicos empleando las claves de identificación.

Las levaduras aisladas se identificaron bioquímicamente mediante el kit API®20C AUX. Por último, se llevó a cabo la conservación de las cepas estudiadas utilizando el método de conservación por transferencia periódica.

Para llevar a cabo el análisis estadístico se elaboró una matriz de datos totales de las cuatro áreas interiores y cuatro áreas exteriores muestreadas, las cuales se transformaron a logaritmo natural para facilitar el procesamiento de los datos. La matriz de datos se analizó con el programa Stata versión 10, realizando un análisis de varianza de entrada múltiple a un nivel de significancia de ($\alpha = 0.05$). La estadística descriptiva se presenta con el cálculo de la media aritmética y la desviación estándar de los niveles de contaminación.

Para el análisis estadístico los datos se agruparon en dos categorías a saber herbarios Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG), (Herbario BIGU) y museos (MUSHNAT y MUSAC).

Resultados

En la Tabla 1 se puede observar los resultados para la selección de la hora de mayor contaminación en Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG), con un aumento a las 13:00 h en el interior y a las 14:00 h en el exterior. En las horas restantes, las cargas de contaminación registradas fueron menores, los valores presentaron una media de 1,138 UFC/m³ y desviación estándar 318 (p=0.16).

Tabla 1

Carga fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en ambiente interior y exterior en Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG)

Área muestreada	Hora						Promedio general ± desviación estándar
	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	
Interior	720	1110	1100	1230	920	1100	1030 ± 318
Exterior	1060	1330	1020	840	1990	1230	1245 ± 318

* n= 9 por área y por hora.

En la Tabla 2 se presentan las UFC/m³ de la carga fúngica del Herbario BIGU para la selección de la hora de mayor contaminación, que registró mayor valor en el área interior a las 11:00 h y a las 14:00 h

en el exterior. En las horas restantes, las cargas de contaminación registradas fueron menores. En el Herbario BIGU se presentó una media de 868 UFC/m³ y desviación estándar de 548 (p=0.47).

Tabla 2

Fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en el ambiente interior y exterior en el Herbario BIGU

Área muestreada	Hora						Promedio general ± desviación estándar
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	
Interior	420	520	570	220	380	230	390 ± 548
Exterior	1480	1280	1150	1030	1240	1890	1345 ± 548

* n= 9 por área y por hora.

En la Tabla 3 se presentan las UFC/m³ de las cargas microbianas obtenidas para la selección de la hora de mayor contaminación del MUSHNAT, se registró un aumento a

las 13:00 h en el interior y a las 14:00 h en el exterior. La media de los valores es de 1,800 UFC/m³ y la desviación estándar 794 (p=0.22).

Tabla 3

Carga fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en el ambiente interior y exterior del MUSHNAT

Área muestreada	Hora						Promedio general ± desviación estándar
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	
Interior	1220	1450	1710	1580	2350	2110	1737 ± 794
Exterior	1110	1350	1800	1370	1500	4050	1863 ± 794

* n= 9 por localidad y por hora.

En la Tabla 4 se observan las UFC/m³ para la selección de la hora de mayor contaminación en el MUSAC, con un aumento notorio a las 13:00 h en el interior y a las 14:00

h en el exterior. El valor de la media en el caso del MUSAC fue de 665 UFC/m³ y el de la desviación estándar fue de 268 (p=0.29).

Tabla 4

Fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en ambiente interior y exterior en el MUSAC

Área muestreada	Hora						Promedio general ± desviación estándar
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	
Interior	910	810	750	890	930	900	865 ± 268
Exterior	390	290	340	400	430	940	465 ± 268

* n= 9 por localidad y por hora.

Los resultados de los recuentos de hongos en los muestreos periódicos, se presentan a continuación:

En la Tabla 5 se presentan las cargas fúngicas obtenidas en UFC/m³ durante los

meses de muestreo tanto para el ambiente interior como para el ambiente exterior en (MICG) y en el Herbario BIGU. Estos valores presentaron un media de 1,002 UFC/m³ y una desviación estándar de 460 (p=0.15).

Tabla 5

Carga de hongos microscópicos en el aire en Carga fúngica en UFC/m³ en la Micoteca Rubén Mayorga Peralta –MICG- y el Herbario BIGU durante los seis meses muestreados

Mes	Micoteca		Herbario BIGU	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Oct	1270	320	120	2790
Nov	1270	1100	1450	1030
Dic	1140	1040	1020	1300
Ene	710	1780	1150	820
Feb	1070	1560	850	990
Mar	1020	970	720	1310

La Tabla 6 muestra las cargas fúngicas obtenidas en UFC/m³ durante los meses de muestreo tanto para el ambiente interior como para el ambiente exterior en el

MUSHNAT y en el MUSAC. En este caso la media de los valores es de 1,232 UFC/m³ y la desviación estándar es de 820 (p=0.25).

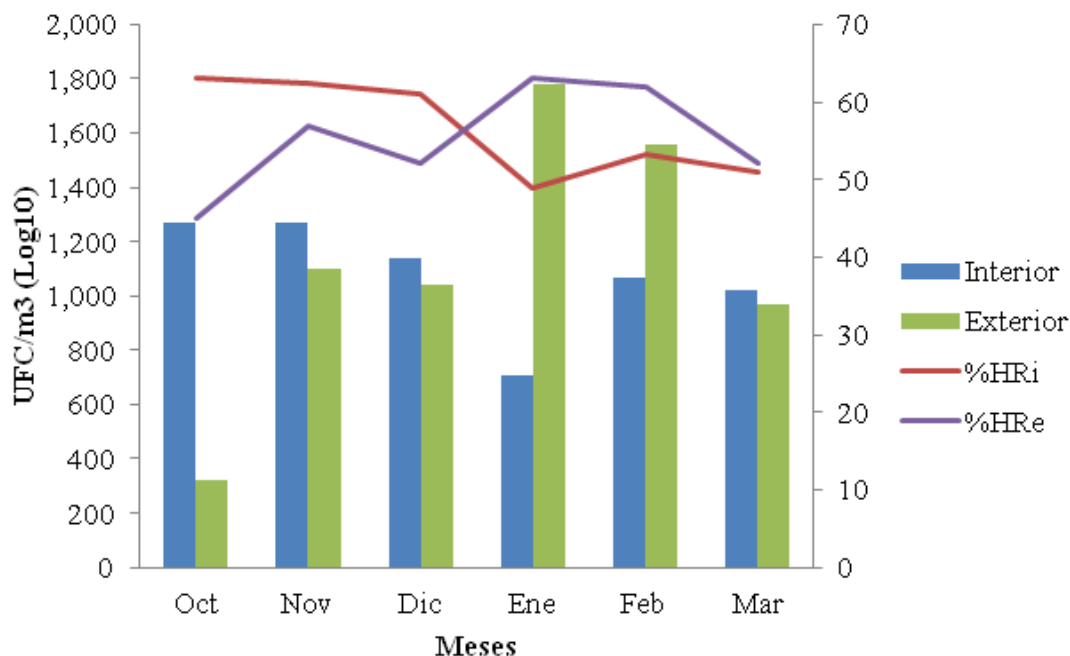
Tabla 6

Carga de hongos microscópicos en el aire en carga fúngica en UFC/m³ en el MUSHNAT y el MUSAC durante los seis meses muestreados

Mes	MUSHNAT		MUSAC	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Oct	2850	560	1080	420
Nov	600	450	740	420
Dic	1630	1450	990	1010
Ene	510	180	450	350
Feb	1690	1310	650	340
Mar	2390	1340	390	310

La Gráfica 1 (MICG) los valores registrados en el exterior superan las 1,780 UFC/m³ y la mayor carga se determinó en enero. El

interior de la Micoteca presentó valores por debajo de las 1,270 UFC/m³ en los muestreos (Tabla 5).



Gráfica 1.

Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire (UFC/m³) y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior de (MICG) durante los meses muestreados

En la Gráfica 2 muestra la carga fúngica del Herbario BIGU exterior es superior a la del interior. En el exterior la mayor carga se determinó en octubre (2,790 UFC/m³). En el interior el mayor valor se registró

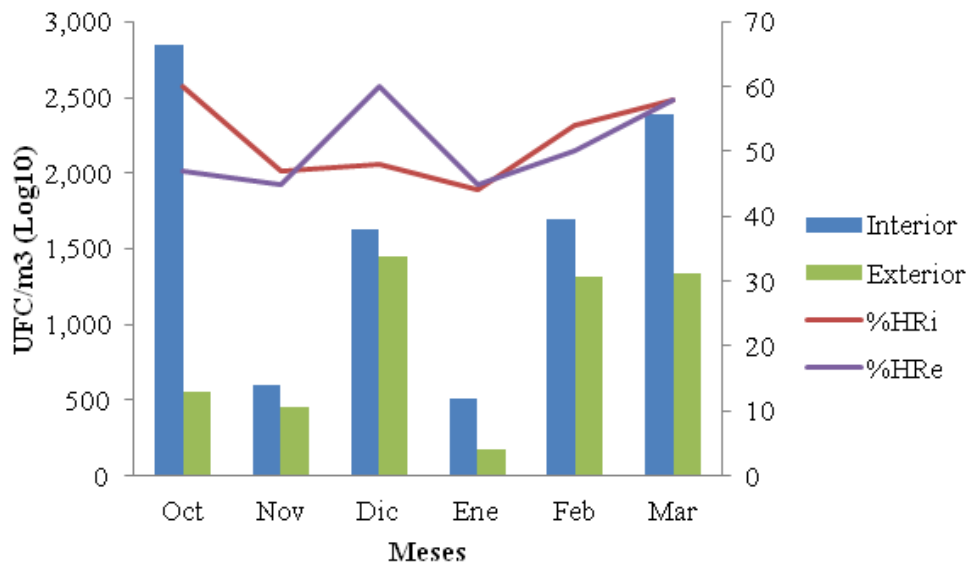
en noviembre (1,450 UFC/m³). También se puede observar que la carga fúngica incrementa a medida que aumentó la humedad relativa (Tabla 5).



Gráfica 2. Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire (UFC/m³) y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior del Herbario BIGU durante los meses muestreados

En la Gráfica 3 se observa el comportamiento de la carga fúngica y el porcentaje de humedad relativa registrados durante los meses muestreados en el MUSHNAT. En

octubre se registró la mayor carga fúngica del interior (2,850 UFC/m³), en el exterior la mayor carga se presentó en el mes de diciembre (1,450 UFC/m³) (Tabla 6).



Gráfica 3. Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire (UFC/m³) y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior del MUSHNAT durante los meses muestreados

En la Gráfica 4 se observa que en el MUSAC, la mayor carga fúngica en el exterior se registró en el mes de diciembre (1,010 UFC/m³) y en el interior fueron en el mes de octubre (1,080 UFC/m³) (Tabla 6).



Gráfica 4.

Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire (UFC/m³) y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior del MUSAC durante los meses muestreados

Con relación a los géneros fúngicos, los resultados muestran que los géneros aislados con mayor frecuencia de aparición en los herbarios fueron los géneros *Penicillium*,

Cladosporium, y *Aspergillus*, para los ambientes interiores y exteriores lo cual se puede observar de mejor manera en la Tabla 7.

Tabla 7

Porcentaje de aparición de los hongos microscópicos predominantes en el aire de la Micoteca Rúben Mayorga Peralta –MICG- y el Herbario BIGU

Género	Micoteca		Herbario BIGU	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
<i>Aspergillus</i> sp.	14	14	17	18
<i>Cladosporium</i> sp.	29	26	23	27
<i>Penicillium</i> sp.	49	52	53	43

En los museos, los géneros fúngicos aislados con mayor frecuencia de aparición fueron *Penicillium*, *Cladosporium*, y

Aspergillus, para los ambientes interiores y exteriores lo cual se observa en la Tabla 8.

Tabla 8

Porcentaje de aparición de los hongos microscópicos predominantes en el MUSHNAT y el MUSAC durante los muestreos

Género	MUSHNAT		MUSAC	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
<i>Aspergillus</i> sp.	20	15	18	19
<i>Cladosporium</i> sp.	33	41	38	28
<i>Penicillium</i> sp.	38	36	36	42

El género *Penicillium* presentó la mayor frecuencia de aparición, *Cladosporium* fue el segundo género y el género *Aspergillus* apareció con menor frecuencia a diferencia de los dos géneros anteriores.

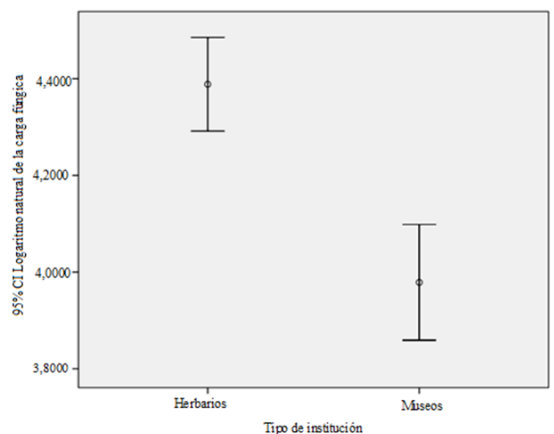
En la Tabla 9 muestra el listado de los géneros fúngicos identificados en los locales muestreados, los cuales fueron conservados en un cepario de trabajo.

Tabla 9

Géneros fúngicos identificados durante los muestreos

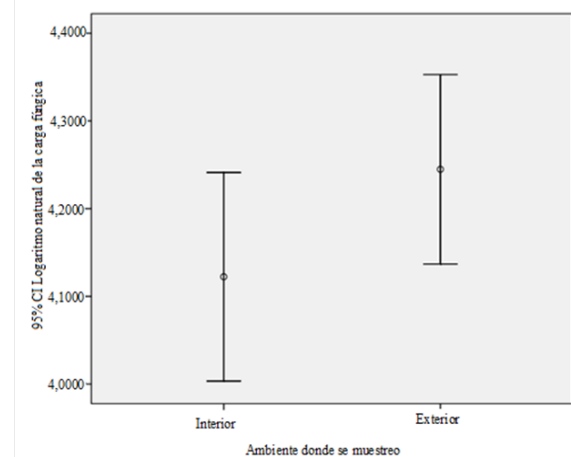
No.	Géneros	No.	Géneros
1	<i>Aspergillus flavus</i>	15	<i>Cryptococcus laurentii</i>
2	<i>Aspergillus niger</i>	16	<i>Cryptococcus uniguttulatus</i>
3	<i>Aspergillus niveus</i>	17	<i>Fusarium</i> sp.
4	<i>Aspergillus oryzae</i>	18	<i>Geotrichum capitatum</i>
5	<i>Aspergillus</i> sp.	19	<i>Mucor</i> sp.
6	<i>Aspergillus terreus</i>	20	<i>Paecilomyces</i> sp.
7	<i>Candida famata</i>	21	<i>Penicillium chrysogenum</i>
8	<i>Candida krusei/inconspicua</i>	22	<i>Penicillium</i> sp.
9	<i>Cladophialophora</i> sp.	23	<i>Rhizopus</i> sp.
10	<i>Cladosporium cladosporoides</i>	24	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>
11	<i>Cladosporium herbarum</i>	25	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>
12	<i>Cladosporium</i> sp.	26	<i>Syncephalastrum racemosum</i>
13	<i>Cryptococcus albidus</i>	27	<i>Penicillium fluccosum</i>
14	<i>Cryptococcus humicola</i>		

Se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos utilizando el programa Stata versión 10, realizando un análisis de varianza de entrada múltiple a un nivel de significancia de ($\alpha= 0.05$), donde las covariables fueron: lugar, que se refiere a las instituciones de manera individual; ambiente, que se refiere al ambiente interior y al ambiente exterior; y muestreos, que son los meses en lo que se llevó a cabo el estudio. Los resultados mostraron que hay diferencia significativa entre los ambientes y entre los meses muestreados en los que se llevó a cabo este estudio, ya que se obtuvo valores menores de 0.05 en estos casos. No fue así entre los lugares donde se obtuvo un valor mayor a 0.05 con lo cual se muestra que no hubo diferencia significativa, la media de los valores fue de 1.81, mostrando una desviación estándar de 0.30.



Gráfica 5. Comparación entre herbarios y museos con relación a la carga fúngica en UFC/m³.

Los resultados mostraron que hay diferencia significativa entre los museos y los herbarios (gráfica 5) en los que se llevó a cabo este estudio ($p=0.03$). La gráfica identifica en los puntos centrales el valor central de la media, ubicado en la línea vertical que indica el intervalo de confianza, donde se observa que existe diferencia significativa entre los tipos de institución, es decir, la carga fúngica difiere significativamente entre museos y herbarios.



Gráfica 6. Comparación del ambiente interior y ambiente exterior de los locales muestreados a lo largo de la investigación.

Al realizar la comparación entre el ambiente interior y el ambiente exterior, Gráfica 6, se observa que existe diferencia significativa entre los ambientes, es decir que la carga fúngica en el exterior es significativamente diferente a la del interior ($p<0.00001$). Dicho de otra manera, las cargas fúngicas encontradas en el exterior son mayores a las encontradas en el interior.

Discusión

Para determinar la hora de mayor contaminación fúngica en el aire, se llevó a cabo un muestreo intradiurno, por un periodo de seis horas consecutivas acorde al horario de atención en cada local. El análisis de los resultados obtenidos estableció que la concentración de hongos microscópicos varía durante las horas muestreadas en todos los locales, y se observó que para casi todos los locales la mayor concentración de colonias, se encontró en horas de la tarde. Esto corrobora la influencia de los factores ambientales (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, entre otras) para la obtención de determinados niveles (De la Rosa, Mosso & Ullán, 2002).

La hora establecida para realizar los muestreos periódicos se seleccionó de

acuerdo a la hora en la que se obtuvo la mayor concentración de hongos microscópicos. Las horas establecidas para realizar los muestreos periódicos en cada área fue: Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG) interior 13:30 h, exterior 14:30 h (Tabla 1); Herbario BIGU interior 11:00 h, exterior 14:00 h (Tabla 2); MUSHNAT interior 13:00 h, exterior 14:00 h (Tabla 3); y MUSAC interior 13:00 h y exterior 14:00 h (Tabla 4). Esta hora de mayor contaminación, aseguró la obtención de una mayor cantidad de géneros fúngicos durante los muestreos.

Con relación a la carga microbiológica en el aire durante los muestreos del ambiente interno y externo, en Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG), los resultados indican que en cinco de los seis meses muestreados, registraron niveles que sobrepasaron las 1,000 UFC/m³, lo que coincide con lo expuesto por Díaz, Gutiérrez, Gutiérrez, González, Vidal, Zaragoza & Calderón (2002), quienes indicaron que esta concentración es común encontrarla en los ambientes interiores.

Sin embargo, a pesar de los valores reportados, ninguno alcanzó las 2,000 UFC/m³, que se han reportado como un factor de riesgo para la salud de los ocupantes (Klanova, 2000).

Los factores que pueden influir en las cargas microbiológicas encontradas en el interior del local son las actividades que allí se llevan a cabo como lo son la caracterización de macrohongos. En este local existe una deficiente ventilación ya que dentro de la colección no hay ninguna fuente de entrada de aire más que la puerta de acceso a la colección, lo cual concuerda ya que se presentó mayor contaminación en el ambiente interno que en el ambiente externo en cuatro de los meses muestreados (Gráfica 1).

Esto coincide con los resultados obtenidos por Johanning, Morey & Jarvis, (1993)

quienes encontraron que la presencia de contaminantes en muchos ambientes interiores es superior a la prevista.

En el Herbario BIGU (Tabla 5), la carga de hongos microscópicos registró una máxima concentración en el mes de noviembre con un recuento de 1,450 UFC/m³, lo cual representa un valor elevado según Rojas y otros en el 2002, quienes plantearon que para países de clima tropical los niveles de contaminación en ambientes internos se encuentran concentraciones de 1,000 UFC/m³. Existen otros criterios como el establecido por Klanova (2000), que menciona que niveles por debajo de las 2,000 UFC/m³ no representan riesgo para la salud, a diferencia del criterio de Comisión of the European Communities, (1991), quienes clasifican la contaminación del Herbario BIGU como alta por encontrarse entre el rango de 500-2,000 UFC/m³.

Este comportamiento puede deberse a la liberación constante de contaminantes acarreados por el personal así como el tipo de trabajo que se lleva a cabo en este lugar. Es decir, la manipulación de especímenes vegetales, ya que según se ha reportado por Zubiria (2004) la concentración de microhongos suspendidos en el ambiente incrementa al manipular material de tipo orgánico tales como hojas, semillas, tierra entre otros.

En ambos ambientes se observa que la mayor concentración fúngica se presentó cuando se registró el mayor porcentaje de humedad relativa (Gráfica 2), según Michalski (2006), la humedad relativa influye directamente en el tiempo de crecimiento de los microhongos. Además señala que a medida que el porcentaje de humedad relativa incrementa se favorece el desarrollo de los microhongos.

Según la Organización Mundial de la Salud, (2004), la concentración de la carga fúngica en los ambientes externos se encuentra

afectada por las condiciones meteorológicas, la concentración fúngica en el exterior del herbario BIGU durante los meses muestreados mantuvo niveles medios que no excedieron las 1,500 UFC/ m³, a excepción de octubre, el cual presentó un valor de 2,790 UFC/m³. Esto pudo deberse a que en este mes se inició un frente frío, que favoreció el ingreso de humedad del Pacífico, además de ser este el segundo mes del año 2011 que presentó mayor precipitación pluvial (385 mm de lluvia) (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala [INSIVUMEH], 2011).

En la Tabla 6 se muestra la carga fúngica que se obtuvo en el MUSHNAT durante los muestreos registró valores que variaron en un rango de 510-2,850 UFC/m³ en el ambiente interior, mientras que en el ambiente exterior este rango fue de 180-1,450 UFC/m³ (Tabla 4). Los valores del ambiente interior excedieron en cada uno de los meses muestreados a los valores del ambiente exterior, lo cual puede deberse a la falta de recambio del aire interno.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, cuando la ventilación es incorrecta como consecuencia de un aporte insuficiente de aire fresco exterior, puede haber una acumulación de contaminantes de origen vario hasta unos niveles que resulten molestos para sus ocupantes. El aporte de aire exterior ha de ser suficiente para diluir los contaminantes hasta niveles que estén por debajo de la percepción humana y, evidentemente, de los considerados perjudiciales para la salud (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2004).

Los meses en los cuales se registraron los máximos valores de contaminación en este local fueron octubre (2,850 UFC/m³) y marzo (2,390 UFC/m³). Durante octubre finaliza el ciclo escolar, entonces el museo

inicia un período de poca actividad debido a que los principales visitantes de este museo son escolares, lo que pudo provocar el valor elevado de microhongos registrado. La infraestructura de estas salas también pudo contribuir, ya que el techo es de madera y lámina, esta infraestructura pudo ser colonizada por hongos microscópicos.

El menor valor registrado en el interior fue de 510 UFC/m³, en enero, lo cual pudo estar influenciado por el porcentaje de humedad relativa encontrado (45%). En este mes se reinician las actividades académicas y por ello se realiza una limpieza exhaustiva a fin de prepararse y recibir a los visitantes que en su mayoría son de tipo escolar (Gráfica 3).

Los datos obtenidos para el MUSAC (Tabla 6) indican que los valores del interior se encuentran en un rango de 170-840 UFC/m³. Es importante mencionar que esta sala en la actualidad no es utilizada como una entrada para los visitantes, sin embargo puede ser visitada por contener en una de sus paredes un mural denominado “Tierra Fértil” y estar contigua al auditorium del museo.

Una de las posibles razones del valor máximo encontrado puede ser que en diciembre se inician las actividades de fin de año y no se recibe una gran afluencia de visitantes. Esto pudo originar irregularidades en la periodicidad de la limpieza, además durante este mes también se registró la máxima concentración fúngica del exterior (800 UFC/ m³), factor que influyó en la carga presentada en el interior, ya que los microorganismos pueden ser transportados por las partículas de polvo presentes en el aire exterior hacia el interior de los locales a través de la ventilación y los visitantes (Gallo, Valenti, Colaizzi, Selocchi, Pasquariello, Escorranó & Persiana 1996; Vaillant & Valentín, 1996).

Se encontraron cuatro valores por debajo de las 500 UFC/m³ (Gráfica 4), estos valores puede estar influenciados por el uso de tres

deshumidificadores que funcionan por la noche. Esta medida disminuye el porcentaje de humedad relativa e intenta mantener valores estables que como se ha estudiado ampliamente con anterioridad es uno de los factores más importantes para el desarrollo microbiano, ya que determina el agua disponible para la germinación de esporas y el crecimiento microbiano.

Según Lacey (1989), los niveles de concentración de hongos microscópicos en el aire se relacionan con las condiciones necesarias para su liberación (turbulencias, velocidad del viento, difusión del calor por circulación e inversiones de temperatura).

La influencia que ejerce el ambiente exterior sobre este local es de suma importancia ya que en este local la ventilación es por medio de ventanas lisas y de paleta de vidrio que se mantienen cerradas ya que están ubicadas directamente a la calle donde el flujo de tránsito vehicular es constante, liberando emisión de gases que son transportadores de microorganismos al interior del local. A esto se le puede agregar que el local posee techo, puertas y una pared de madera en la cual se dificulta la limpieza y hay acumulo de polvo constante. Estos factores estructurales son una de las principales causas de la contaminación cruzada de ambos ambientes.

En cuanto a la identificación de los géneros fúngicos, se encontró que los que presentaron mayor frecuencia de aparición en los establecimientos fueron *Penicillium*, *Cladosporium* y *Aspergillus* en ambos ambientes a lo largo de todo el estudio, en orden de frecuencia de aparición en el aire respectivamente. De los géneros identificados algunos concuerdan con los detectados por Li & Kuo (1994), quienes describen el ambiente en casas subtropicales (Taiwán), en las cuales los grupos fúngicos predominantes fueron *Aspergillus* sp, *Zigomicetes*, *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. y levaduras.

La presencia de *Penicillium* se puede justificar por el hecho de que pertenece al grupo de hongos mitospóricos, por lo tanto su frecuencia no discrimina una temporada climática específica (Calderón, Lacey, McCartney & Rosas, 1997). Según Florian & Mannigan (2000), los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* tienen distribución cosmopolita y elevada adaptabilidad metabólica

La presencia de *Cladosporium* sp. concuerda con otros estudios, los cuales mencionan que este género se puede encontrar durante todo el año, pero se muestra un aumento durante los meses secos (Sáenz & Gutiérrez, 2003). Además *Cladosporium* sp. es considerado un género cosmopolita, especialmente en regiones templadas, su alta capacidad de desarrollo puede deberse a su pequeño tamaño y sus múltiples conidios, lo que puede facilitar su movilidad por el aire, haciendo de este un hongo predominante en el aire (Infante et al., 1999).

Por último, se encuentra el género *Aspergillus* sp., que aunque se encontró presente a lo largo de todos los meses muestreados, su porcentaje de aislamiento no fue muy alto. Un factor que pudo contribuir al bajo conteo de este género es que el crecimiento de otras colonias fúngicas suele ser más rápido que el de *Aspergillus* sp., por lo que el crecimiento de este se puede ver enmascarado o inhibido (Rosas, Calderón, Escamilla, & Ulloa, 1992).

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), el financiamiento del proyecto FODECYT 28-2011. Y la colaboración de las instituciones participantes: Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta (MICG), Herbario BIGU, MUSAC y MUSHNAT.

Referencias

- Albright, D. (2001). Human health effects of airborne mycotoxins exposure in fungi-contaminated indoor environment. *Professional Safety*, 46(11), 26-28.
- Berlongieri, A. (1999) Differences in the amount of fungi found in the air indoors and outdoors. *Journal Introductory Microbioly*, 2, 9-11.
- Calderón, C., Lacey, J., McCartney, A. & Rosas, I. (1997). Influence of urban climate upon distribution of airborne Deuteromycete spore concentration in México City. *International Journal Biometeorology*, 40(3), 71-80.
- Castañeda E., Montes M. & Avelino F., (2006). Cuantificación de bioaerosoles en las áreas de proceso de una industria zapatera y su relación con la salud de los trabajadores, *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 26, 1-5.
- Commission of the European Communities. Directorate General for Science, Research and Development (1991). Effect of Indoor air pollution on Human Health. Report 10. Recuperado de [www.inive.org/medias\(eca/eca_report10.pdf](http://www.inive.org/medias(eca/eca_report10.pdf)
- De la Rosa, M., Mosso, M. & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402.
- Díaz Rojas, M., Gutiérrez Espinoza, J., Gutiérrez Espinoza, A., Gonzales Chávez, M., Vidal Gaona, G., Zaragoza Palencia, R. M... Calderón Ezquerro, C. (2010). Caracterización aerobiológica de ambientes intramuro en presencia de cubiertas vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(4), 279-289.
- Florian, M. & Manning, L. (2000). SEM analysis of irregular fungal fox spots in an 1854 book: population dynamics and species identification. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46, 205-220.
- Gallo, F., Valenti, P., Colaizzi, P., Pasquariello, G., Escorrano, M. & Persiana A. (1996). Research on the viability of fungal spores in relation to different microclimates and materials. *Revista Erice*, 12(1), 177-193.
- Infante, F., Castro, A., Domínguez, E., Gúadia, A., Méndez, J., Sabariego, S... Vega, A. (1999). A comparative study of the incidence of *Cladosporium conidia* in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen*, 10, 15-23.
- Johanning, E., Morey, P. R. & Jarvis, B. B. (1993). Clinical-epidemiological investigation of health effects caused by *Stachybotrys atra* building contamination. P.225-230. In O. Seppänen (ed.), *Indoor Air'93 Proceedings of Sixth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 1. *Health Effects*. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Klanova, K. (2000). The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms with and without mould problems rooms with and without health complaints. *Central European Journal of Public Health*, 8, 59-61.
- Lacey, J. (1989). Pre-and post-harvest ecology of fungi causing spoilage of foods and other stored products. *Journal of Applied Bacteriology, Symposium Supplement*, 67(s18), 11-25.

- Li, C. & Kuo, Y. (1994). Characteristics of airborne microfungi in subtropical horne, *The Science of the Total Enviroment*, 155 (3), 266-271.
- Michalski, S. (2006) Preservación de colecciones. Como administrar un museo: Manual práctico. ICOM, Paris. p. 51-90. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/50039339/Michalski-S-Preservacion-de-colecciones-2006#scribd>.
- Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2004), NTP 243: *Ambientes cerrados: Calidad del aire*. España. Recuperado de http://www.insht.es/Inshtweb/contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf
- Rico M. (1998). *Fundamentos de Microbiología*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Centro Editorial Javeriano., p. 27-32 2
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. (2011) Reporte Climático, mes de enero 2011. Recuperado de www.insovumeh.gob.gt/meteorologia/climaticosmensuales.html
- Organización Mundial de la Salud. Departamento de Protección del Medio Humano (2004). Guías para la calidad del aire. Recuperado de <file:///C:/Users/USAC2013/Downloads/Maynard.pdf>
- Rosas, I., Calderon, C., Escamilla, B. & Ulloa, M. (1992). Seasonal distribution of *Aspergillus* in the air of a urbana area: Mexico city. *Grana*, 31(4), 315-319.
- Sáenz & Gutiérrez (2003). Esporas atmosféricas en la comunidad de Madrid. Documento Técnico de Salud Pública. Instituto de Salud Pública. Recuperado de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM009124.pdf>
- Vaillant Callol, M. & Valentín Rodrigo, N. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ministerio de Educación y Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales Madrid, Instituto del Patrimonio Histórico Español.
- Yang, C. & Johanning, E. (1997). Airborne fungi and mycotoxins. *Manual of environmental microbiology*, (651-660). Washington: ASM Press.
- Zubiría, E., Zubiría, E. & Zubiría, A. (2004). *Asma Bronquial*. Bogotá, Colombia. Editorial Panamericana. Recuperado de https://books.google.com.gt/books/about/Asma_bronquial.html?hl=es&id=otmaSA5RChQC