

Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala, *Index seminum* y la sección de macrohongos del Herbario de Biología de Guatemala

Herrera, K., Cobar, O., Barrios, R., Pierola, K., Chamalé, W., Rosales, C., Quan, J., Fuentes, O., de León, C.,
Reyes, J., Abdo, J.
Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala,
Herbario USCG, *Index seminum* y Sección de Macrohongos del Herbario BIGU

Resumen

Se determinó la calidad del aire en el interior y exterior del Herbario Universidad de San Carlos de Guatemala (Herbario USCG), *Index seminum* y la sección de macrohongos del Herbario de Biología de Guatemala (Herbario BIGU). Para la recolección de los hongos microscópicos se utilizó la técnica volumétrica por impactación haciendo uso de un biocolector. Los muestreos fueron realizados de octubre de 2011 a marzo de 2012, la posterior identificación se hizo mediante la observación al microscopio de preparaciones con azul de lactofenol y por medio del API 20C AUX para identificación de levaduras. Los resultados obtenidos en los ambientes del Herbario USCG indican que la mayor concentración fúngica fue de 3580 UFC/m³ en el exterior y para el interior fue de 300 UFC/m³, en el caso del *Index seminum* en el exterior fue de 1860 UFC/m³ y en el interior de 2300 UFC/m³, para la sección de macrohongos del Herbario BIGU la mayor concentración observada fue de 2790 UFC/m³ para el exterior y de 1630 UFC/m³ para el interior.

Durante los meses en los que se realizaron los muestreos se observó que los hongos predominantes en ambos ambientes en todas las áreas muestreadas fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp. Se logró el aislamiento de géneros fúngicos de gran importancia por su acción celulolítica y fitopatogena como lo son *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. y *Paecilomyces* sp. El aislamiento de los géneros mencionados anteriormente permitió la creación de un cepario aplicando la técnica de conservación en aceite mineral.

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 clave: Calidad del aire, hongos microscópicos, biocolector, herbario, muestreo del aire.

Abstract

The indoor and outdoor quality air was determined at the University of San Carlos of Guatemala Herbarium (USCG Herbarium), the *Index seminum* and macrofungi section of Biology of Guatemala Herbarium (BIGU Herbarium). It was used a volumetric impactation technic through a biocolector in order to collect microscopic fungi. Sampling was carried out from October 2011 through March 2012. Further identification was performed through microscopic observation using lactophenol blue staining and also using API 20C AUX was for yeast identification. Results indicate that in USCG Herbarium environments, the highest concentration in the outdoor 3580 UFC/m³ and 300 UFC/m³ for the indoor, *Index seminum* 1860 UFC/m³ for the outdoor and 2300 UFC/m³ for the indoor, to microfungi section of BIGU Herbarium the highest concentration was 2790 UFC/m³ for the outdoor and 1630 UFC/m³ for the indoor.

During the months in wich the sampling was carried out, it was observed that the predominant fungi in both environments and in all sampled areas were *Penicillium* sp, *Cladosporium* sp y *Aspergillus* sp. It was possible to isolate fungal genera of great importance for its cellulolytic and phytopathogenic action, such as *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. y *Paecilomyces* sp. The isolation of the fungal genera made it possible to create a strain library applying the mineral oil conservation technique.

It was created a guide containing information about cleaning procedures according to biosafety infrastructure and raw materials for each establishment.

Keywords: Air quality, microscopic fungi, biocolector, herbarium, air sampling.

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 y Johanning, 1997).

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 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 los niveles de unidades formadoras de colonia por metro cúbico (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 guía titulada "Guía para el control del biodeterioro de las colecciones científicas" en la cual se trató de recopilar 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:

Herbario de Universidad de San Carlos de Guatemala (Herbario USCG) que se ubica en Avenida Reforma 3-61, Zona 10, ciudad de Guatemala.

Index Seminum que se ubica en Avenida Reforma 3-61, Zona 10, ciudad de Guatemala y la sección de macrohongos del Herbario de Biología 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.

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 y 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, 1,997). 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. Esta 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 estadística y la desviación estándar de los niveles de contaminación.

Resultados

En la tabla 1 se puede observar los resultados para la selección de la hora de mayor contaminación en el Herbario USCG, con un aumento notorio a las 9:00 h en el interior y a las 14:00 h en el exterior. En las horas restantes, las cargas de contaminación registradas fueron menores.

Tabla 1. Carga fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en ambiente interior y exterior en el Herbario USCG

Locales y áreas muestreadas	Hora					
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
USCG interior	1230	780	500	420	470	700
USCG exterior	1100	650	700	880	1080	1140

Fuente: proyecto FODECYT 28-2011.

En la tabla 2 se presenta la carga microbiana de hongos del *Index seminum* para la selección de la hora de mayor contaminación, que registró un aumento notorio a las 9:30 h en el interior y a las 14:30 h en el exterior. En las horas restantes, las cargas de contaminación registradas fueron menores.

Tabla 2. Carga fúngica UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en ambiente interior y exterior en el *Index seminum*

Locales y áreas muestreadas	Hora					
	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30
<i>Index Interior</i>	4190	1750	1200	1260	1200	1410
<i>Index Exterior</i>	2630	1890	930	1070	1450	2710

Fuente: proyecto FODECYT 28-2011

En la tabla 3 se presentan las cargas microbianas obtenidas para la selección de la hora de mayor contaminación de la sección de macrohongos del Herbario BIGU, se registró un aumento notorio a las 9:30 h en el interior y a las 14:30 h en el exterior. En las horas restantes, las cargas de contaminación registradas fueron menores.

Tabla 3. Carga fúngica en UFC/m³ para la selección de hora de máxima contaminación en ambiente interior y exterior en la sección de macrohongos del Herbario BIGU

Locales y áreas muestreadas	Hora					
	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30
Anexo Interior	2480	2910	1380	840	1100	1220
Anexo Exterior	1500	1510	1380	880	930	1470

Fuente: proyecto FODECYT 28-2011.

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

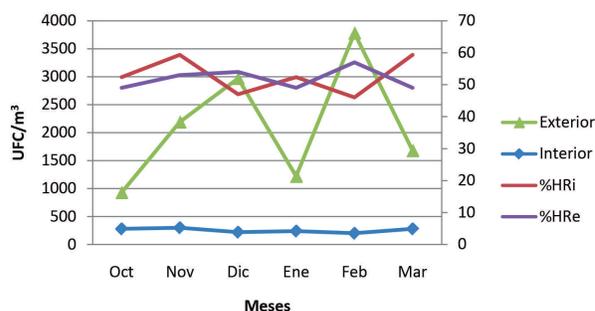
En la tabla 4 se presentan las cargas fúngicas obtenidas en unidades formadoras de colonia por metro cubico (UFC/m³) durante los meses de muestreo tanto para el ambiente interior como para el ambiente exterior de cada una de las instituciones participantes en el estudio.

Tabla 4. Carga de hongos microscópicos en el aire en UFC/m³ en el Herbario USCG, *Index Seminum* y la Sección de Macrohongos del Herbario BIGU durante los seis meses muestreados

Mes	Herbario USCG		<i>Index Seminum</i>		Herbario BIGU	
	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ext.
Oct	280	650	1310	700	450	2790
Nov	300	1890	600	500	540	430
Dic	220	2750	1970	1560	1630	1610
Ene	240	980	1510	510	470	1420
Feb	200	3580	2300	1860	920	1140
Mar	280	1400	1190	540	1240	1180

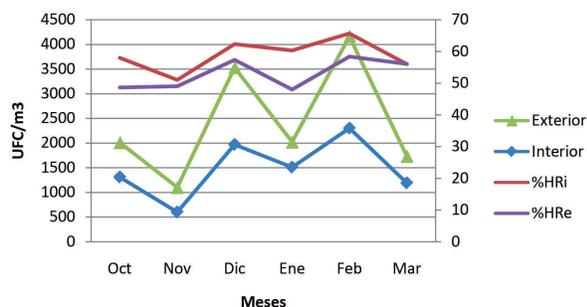
Fuente: proyecto FODECYT 28-2011.

En el Herbario USCG los valores registrados en el exterior superan las (600 UFC/m³) y la mayor carga se determinó en febrero. El interior del Herbario presentó valores por debajo de las 300 UFC/m³ en los muestreos.



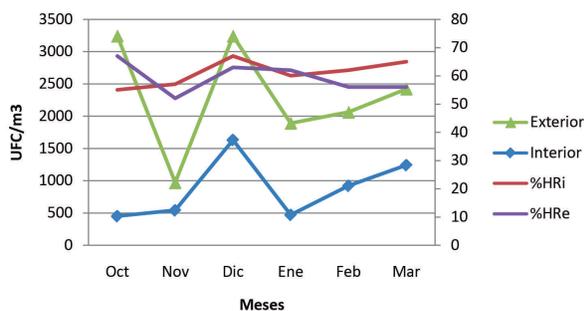
Gráfica 1. Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire en UFC/m³ y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior en el Herbario USCG durante los meses muestreados

En la gráfica 1 muestra la carga fúngica del Herbario USCG exterior es superior a la del interior. En el exterior la mayor carga se determinó en febrero (3580 UFC/m³). El interior el mayor valor se registró en noviembre (300 UFC/m³). También se puede observar que la carga fúngica incrementa a medida que aumentó la humedad relativa



Gráfica 2. Relación entre la carga de hongos microscópicos en el aire en UFC/m³ y porcentaje de humedad relativa registrada en ambiente interior y exterior en el *Index seminum* durante los meses muestreados

En la gráfica 2 se observa el comportamiento de la carga fúngica y el porcentaje de humedad relativa registrados durante los meses muestreados en el *Index seminum*. Es importante notar que el porcentaje de humedad relativa del exterior en cada uno de los meses fue mayor que el porcentaje de humedad relativa del interior. En febrero se registró la mayor carga fúngica tanto del interior (2300 UFC/m³) como del exterior (4200 UFC/m³), así como el mayor porcentaje de humedad relativa. La menor carga fúngica del interior (600 UFC/m³) y el exterior (1000 UFC/m³) se registró en noviembre y enero respectivamente.



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

En la gráfica 3 se aprecia que en la sección de macrohongos del Herbario BIGU, la mayor carga fúngica del exterior se encuentra en octubre (2790 UFC/m³), mientras que la menor carga se encuentra en noviembre (430 UFC/m³). En cuanto al interior, la mayor carga fúngica se encontró en diciembre (1630 UFC/m³) y la menor carga en octubre (450 UFC/m³). También se observa una tendencia a incrementar la carga fúngica a partir de enero en el interior a medida que aumentó la humedad relativa.

Con relación a los géneros fúngicos, los resultados obtenidos demuestran la existencia de hongos filamentosos y levaduras como contaminantes del ambiente, por lo que se consideró importante determinar los géneros presentes. Se obtuvo un listado de los géneros encontrados con mayor frecuencia de aparición en los tres establecimientos que incluye a *Penicillium*, *Cladosporium*, y *Aspergillus*, como géneros predominantes en ambos ambientes a lo largo de todo el estudio, en orden de frecuencia de aparición en el aire respectivamente.

El género *Penicillium* presentó la mayor frecuencia de aparición a lo largo de todos los muestreos. En la tabla 5 se observa que el género *Penicillium* sp. presentó un porcentaje de aparición igual al 42% predominando sobre otras especies del mismo género aisladas en los locales considerados en el estudio, las cuales se aislaron en porcentajes menores al 1% como lo son *P. chrysogenu*, *P. marneffe* y *P. fluccosum*.

Cladosporium fue el segundo género con mayor frecuencia de aparición que se aisló en todos los locales. *Cladosporium* sp. fue predominante con un 30% y se aislaron en porcentajes menor al 1% las siguientes especies *C. cladosporoides*, *C. herbarum*.

El género *Aspergillus* apareció con menor frecuencia a diferencia de los dos géneros anteriores, se observa que el *Aspergillus* sp. fue el predominante con un 12%, las especies de *A. niger* y *A. terreus* presentaron un porcentajes de frecuencia del 3%. Y en porcentajes menor al 1% se aislaron las siguientes especies *A. flavus*, *A. niveus* y *A. oryzae*.

Tabla 5. Géneros aislados e identificados con mayor frecuencia a lo largo del estudio.

Especies	Porcentaje
<i>Penicillium</i> sp.	42%
<i>Penicillium chrysogenum</i>	<1%
<i>Penicillium marneffeii</i>	<1%
<i>Penicillium fluccosum</i>	<1%
<i>Cladosporium</i> sp.	30%
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	<1%
<i>Cladosporium herbarum</i>	<1%
<i>Aspergillus</i> sp.	12%
<i>Aspergillus flavus</i>	<1%
<i>Aspergillus niger</i>	3%
<i>Aspergillus niveus</i>	<1%
<i>Aspergillus oryzae</i>	<1%
<i>Aspergillus terreus</i>	3%

Fuente: proyecto FODECYT 28-2011

En la tabla 6 muestra el listado de todos los géneros fúngicos aislados e identificadas en los locales muestreados, los cuales fueron conservados con aceite mineral formando un cepario de trabajo.

Tabla 6. Géneros fúngicos identificados durante los muestreos

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

Fuente: proyecto FODECYT 28-2011

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 llevaron a cabo el muestreo que corresponden de octubre de 2011 a marzo de 2012, 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 obtuvieron valores menores de 0.05 en estos casos, no siendo así entre los lugares donde se obtuvo un valor mayor a 0.05 con lo cual se muestra que no hubo diferencia significativa.

Discusión de resultados

Para establecer la hora de mayor contaminación fúngica en el aire, se realizó un muestreo intradiurno, por un periodo de seis horas consecutivas acorde al horario de atención en cada local. El análisis de los resultados obtenidos determinó que la concentración de hongos microscópicos varía durante las horas muestreadas en todos los locales (Tablas 1-3).

Al comparar los diferentes locales se pudo observar que la mayoría presentaron, en el ambiente exterior, valores máximos de carga fúngica en horas de la tarde, lo cual 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 y Ullán, 2002).

La hora de muestreo se seleccionó acorde a la hora en la que se obtuvo una mayor concentración de hongos microscópicos, lo cual

aseguró obtener la mayor cantidad de géneros fúngicos presentes durante los muestreos. Las horas establecidas para realizar los muestreos periódicos en cada local fue: Herbario USCG interior 9:00 h, exterior 14:00 h (Tabla 1); *Index seminum* interior 9:30 h, exterior 14:30 h (Tabla 2) y sección de macrohongos del BIGU interior y exterior 9:30h (Tabla 3).

En cuanto a los niveles de contaminación periódica en las diferentes áreas muestreadas (Tabla 4) siguiendo los criterios planteados por Reynolds en 1990 y Reponen en 1992, que establece que para ambientes interiores en países fríos los niveles permisibles de esporas no deben sobrepasar los niveles de 500 UFC/m³, en el interior del Herbario USCG (Gráfica 1), se mantuvo una concentración de esporas menor a este parámetro durante los seis meses muestreados. Sin embargo, Rojas en el 2002 plantea que para países de clima tropical los niveles de esporas en los ambientes interiores se encuentran comúnmente en concentraciones de 1000 UFC/m³, tomando en cuenta estos parámetros, el Herbario USCG continúa presentando niveles por debajo de dichos niveles a lo largo de los seis meses. Un factor que pudo contribuir a la carga fúngica encontrada en este herbario es el uso de deshumidificadores y aire acondicionado que permitieron tener un rango de 47-59% de humedad relativa, ya que de acuerdo a Michalski en el 2000, en periodos intermitentes de humedad relativa por debajo del 55% el crecimiento de hongos microscópicos se detiene. En esta gráfica también se determinó que la contaminación incrementa a medida que el porcentaje de humedad relativa se elevó, y de la misma manera, esta disminuye cuando la humedad desciende, lo cual concuerda con lo publicado por Michalski, quien indicó que los niveles de crecimiento fúngico presentan una relación directamente proporcional a la humedad relativa.

En el ambiente exterior (Gráfica 1) se registraron valores en un rango de 650-3580 UFC/m³, se encontraron los valores máximos en diciembre (2750 UFC/m³) y febrero (3580 UFC/m³). Estos valores pudieron ser afectados por diferentes variables, las condiciones meteorológicas fueron propuestas por Maynard en el 2004, lo cual concuerda con las condiciones climáticas reportadas por el -INSIVUMEH- en los respectivos meses. En diciembre del 2011 se registraron lloviznas, al igual que enfriamiento en meseta central y altiplanos, la influencia de alta presión continuó sobre el territorio hasta mediados del mes, generando entrada de humedad. En febrero del 2012 se inició con ingreso de humedad del mar Caribe, el viento del suroeste provocó abundante nubosidad alta y redujo significativamente la radiación solar, Por lo cual, se presentó un periodo con temperaturas diurnas reducidas y mucha humedad. También, se ha determinado la influencia que ejercen las áreas verdes y se ha establecido que los ambientes cercanos presentan un mayor índice de contaminación ambiental (Säteri, 2000), lo cual concuerda con la ubicación de este herbario ya que se encuentra contiguo al Jardín Botánico del Centro de Estudios Conservacionistas -CECON-.

Los valores que se obtuvieron de los muestreos mensuales para el *Index seminum* se presentan en la gráfica 2, estos resultados indican un rango de 600-2300 UFC/m³ en el ambiente interior, el hecho que exista una diferencia entre el mínimo y máximo valor de carga fúngica de 1700 UFC/m³ indican que las condiciones de este ambiente no se mantienen estables al pasar de los meses. Las posibles causas de esta variación son la localización del *Index seminum*, ya que los ambientes cercanos a áreas verdes presentan un mayor índice de contaminación ambiental (Säteri 2000). Asimismo, la cercanía del *Index seminum* a la avenida Reforma, una de las vías

más transitadas permite que los microorganismos puedan 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, 1996). Otro factor que puede influir en la contaminación del ambiente interior es la limpieza, ya que al existir periodos prolongados, sin realizar la misma de forma adecuada se permite la colonización y el crecimiento sobre la superficie de los objetos que se encuentran en el interior, pudiendo ser una importante fuente de contaminación del aire interior (Petushkova & Kandyba, 1999).

En la gráfica 3 se observan los resultados obtenidos para los muestreos mensuales en la sección del macrohongos del Herbario BIGU donde se registró en el ambiente interior una concentración fúngica máxima de 1630 UFC/m³ en diciembre, lo cual representa un valor elevado según Rojas y otros en el 2002. El resto de los meses muestreados presentaron concentraciones por debajo de 1000 UFC/m³, lo cual puede estar influenciado por la disminución del porcentaje de humedad relativa, puesto que en octubre se registró la menor concentración fúngica (450 UFC/m³) y el menor porcentaje de humedad relativa (55%). Así mismo, el porcentaje de humedad relativa se ve afectado por la temperatura de manera inversamente proporcional (Michalski, 2009). Los niveles de contaminación fúngica en el ambiente exterior se presentaron con una concentración máxima durante octubre (2790 UFC/m³), Durante octubre se presentó un frente frío que favoreció el ingreso de humedad, además de ser este el segundo mes del año 2011 que presentó mayor precipitación de lluvias (385 mm) (INSIVUMEH, Reporte mensual), lo cual pudo afectar la carga micológica, ya que según Maynard en el 2004, la concentración de la carga fúngica en los ambientes externos, puede ser afectada por las condiciones meteorológicas. Por estas razones

es necesario implementar un sistema de aire acondicionado y deshumidificadores a fin de mantener un porcentaje de humedad relativa y temperatura constantes.

El comportamiento de los hongos para cada uno de los locales fue muy similar entre sí mostrando que los géneros de mayor frecuencia fueron *Penicillium*, *Cladosporium* y *Aspergillus* en todos los muestreos realizados (Tabla 5).

El género *Penicillium* sp. fue el que presentó la mayor frecuencia en ambientes exteriores e interiores, lo cual coincide con Pitt en el año 1986, quien denomina a esta como la especie común en ambientes exteriores, por la gran cantidad de conidios fácilmente aerotransportadas, demostrando su alta frecuencia en condiciones secas, ya que sus conidios han mostrado la capacidad de sobrevivir a la desecación. Este hongo es considerado un saprófito por lo que ha sido reportado como contaminante común en la mayoría de sustratos del mundo (Arenas, 2003).

El segundo género de mayor frecuencia en ambos ambientes correspondió a *Cladosporium* sp. En un estudio realizado en diferentes ciudades españolas se reportó que las esporas de este género son las más frecuentes en muestras aerobiológicas (Rosas, Calderón, Martínez, Ulloa & Lacey, 1997; Rutherford, Owen & Simpson, 1997; Fernández, Valencia, Molinar, Vega. & Sagües, 1998; Mediavilla, Angulo, Infante, Comtois, & Domínguez, 1998). Las esporas de este género mitospórico se encuentra en altas concentraciones tanto en los meses fríos como en meses cálidos. Por otra parte, la mayoría de especies de este género son saprófitas sobre plantas o materia orgánica del suelo, siendo algunas fitopatógenas, (Emberlin, Newman & Bryant, 1995; Angulo, Mediavilla, Bustos & Domínguez, 1999) lo cual destaca la importancia

de mantener controladas las altas concentraciones que alcanzan sus conidios en el ambiente de este centro que resguarda importantes especímenes botánicos.

Por último, el género *Aspergillus* sp. que a pesar de haberse presentado en menor porcentaje que los dos géneros antes mencionados, no deja de generar gran interés, ya que como los anteriores, también se clasifica como hongo mitospórico. En particular, el género *Aspergillus* es uno de los de mayor interés clínico, pues posee especies que son capaces de provocar una gran cantidad de afectaciones a las personas tales como alergias, queratitis y aspergilosis severa (Latge, 1999).

En síntesis, la predominancia de los hongos *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., y *Aspergillus* sp. se puede atribuir a lo expuesto en un estudio de caracterización aerobiológica en presencia de cubiertas vegetales en la ciudad de México, donde dichos géneros presentaron mayor frecuencia en presencia de plantas (Rojas, Gutiérrez, González, Vidal & Zaragoza, 2010).

En la tabla 7 se presentan los géneros aislados con menor frecuencia de aparición, dentro de los cuales los mucorales presentaron un mayor porcentaje de aislamientos, *Mucor* sp. fue el género dominante, esto pudo deberse a que es un hongo saprófito, el cual coloniza gran cantidad de sustratos, principalmente en los ambientes interiores. A sí mismo, *Fusarium* sp. y otros géneros como *Syncephalastrum racemosum*, se aislaron en una misma proporción, donde el primero en mención, presenta un óptimo desarrollo a bajas temperatura, siendo esta la principal razón de su desarrollo en octubre y diciembre (Herrero y otros, 1996), además de esto dicho hongo es de carácter fitopatógeno, constituyendo este un contaminante en este tipo de ambientes (Milagros, C. y Nieves, R., 1994).

En cuanto a las levaduras aisladas, se pueden mencionar las especies de *Rhodotorula minuta* y *Rhodotorula mucilaginosa*, las cuales son un componente destacado de la microbiota en suspensión en el aire y también de superficies afectadas por mohos.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT-, el financiamiento del proyecto FODECYT 28-2011. Y la colaboración de las instituciones participantes: el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Herbario USCG), el *Index Seminum* y el Herbario de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (Herbario BIGU).

Referencias

- Alright, D. (2001). Human health effects of airborne mycotoxins exposure in fungi-contaminated indoor environment. Professional Safety. Estados Unidos: Autor.
- Angulo, J., Mediavilla, I., Bustos, I. & Domínguez, E. (1999). Especies fúngicas aisladas de las hojas de encina (*Quercus rotundifolia*) en el Parque Natural de Hornachuelos (Córdoba). XIII Simposio de Botánica Criptogámica. Madrid.
- Arenas, R. (2003). Micología Médica ilustrada. 2ed. México: McGraw Hill Interamericana.
- Berlongieri, A. (1999) Differences in the amount of fungi found in the air indoors and outdoors. *J. Introductory Micro- biol.* 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. *Biometeorol.* 40(3) pp. 71 - 80.
- Castañeda E., Montes M. y 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.
- Emberlin, J., Newman, T. & Bryant, R. (1995). The incidence of fungal spores in the ambient air and inside homes: evidence from London. *Revista Aerobiología* 11 (2), 253-258.
- Emberlin, J., Newman, T. & Bryant, R. (1995). The incidence of fungal spores in the ambient air and inside homes: evidence from London. *Revista Aerobiología* 11 (2), 253-258.
- Fernández, D., Valencia, R., M, Molinar., T, Vega. & Sagües, E. (1998). Daily and seasonal variations of *Alternaria* and *Cladosporium* airborne spores in León. *Revista Aerobiología.* (14)2, 215-220.
- Gallo, F., Valenti P., Colaizzi, P., Sclocchi, M., Pasquariello, G., Scorrano, M... & Persiana A. (1996). Research on the viability of fungal spores in relation to different microclimates and materials. International Conference on Conservation and Restopration of Archive and Library Materials. *Revista Erice.* 12(1). 177-193.
- Latge, J. (1999). *Aspergillus fumigatus* and aspergilosis. *Revista Clinical Microbiol.* 12:310-350.

- Mediavilla, A., Angulo, J., Infante, F., Comtois, P. & Domínguez, E. (1998). Preliminary statistical modeling of the presence of two conidial types of *Cladosporium* in the atmosphere of Córdoba. Spain. *Aerobiologia* 14(2,3): 229-234.
- Michalski, S. (2000). Guidelines for Humidity and Temperature for Canadian Archives. Canadian, Ottawa: Conservation Institute.
- Milagros, C. y Nieves, R. (1994). Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales.
- Petushkova, J. & Kandyba, P. (1999). Aeromicrobiological studies in the Moscow cathedrals. *Aerobiología*. 15(4). 193-201.
- Pitt, J. (1986). A laboratory guide to common *Penicillium* species. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 18 (3), 25.
- Rico M. (1998). Fundamentos de Microbiología. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Centro Editorial Javeriano., p. 27-32
- Rojas, D., Ojas, J., Espinosa, G., Espinosa, A., González, C. Vidal, G., Zaragoza, P. & Aragoza. Caracterización aerobiológica de ambientes intramuro en presencia de cubiertas vegetales. *Revista internacional Contam.* 26 (4) 279-289.
- Rosas, I., Calderón, C., Martínez, L., Ulloa, M. & Lacey, J. (1997). Indoor and outdoor airborne fungal propagule concentrations in Mexico city. *Revista Aerobiología* 13 (1): 23-30.
- Sanchez, C., y Martínez, P. (1997). Factores que favorecen el crecimiento fungico. Madrid, España: Autor.
- Yang, C., y Johanning, E. (1997): Airborne fungi and mycotoxins. Manual of environmental microbiology. Estados Unidos, Washington: *American Society for Microbiology*.