

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



“Determinación de la calidad fúngica en el aire de dos colecciones de interés científico en el centro de estudios conservacionistas -CECON-, en la ciudad de Guatemala.”

**José Eduardo Abdo Retana
Eldin Josué Reyes Estrada**

QUÍMICOS BIÓLOGOS

Guatemala, agosto 2013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



“Determinación de la calidad fúngica en el aire de dos colecciones de interés científico en el centro de estudios conservacionistas -CECON-, en la ciudad de Guatemala.”

Seminario de Investigación

Presentado por

José Eduardo Abdo Retana

Eldin Josué Reyes Estrada

**Para optar al título de
QUÍMICOS BIÓLOGOS**

Guatemala, agosto 2013

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph. D.

Decano

Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M. A.

Secretario

Licda. Liliana Vides de Urizar

Vocal I

Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares

Vocal II

Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli

Vocal III

Br. Fayver Manuel de León Mayorga

Vocal IV

Br. Maily Graciela Córdova Audón

Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el autor de mi vida y trazar el camino por el que mis pies avanzan y fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A nuestros padres por su incondicional apoyo e infinito amor en cada etapa de nuestras vidas, por esas incontables atenciones, increíbles esfuerzos y exagerados cuidados.

A nuestros hermanos, por ser nuestros compañeros de vida, con quienes compartimos alegrías y tristezas, por recorrer juntos cada camino a lo largo de este trayecto, el cual definitivamente no sería igual sin ellos en nuestra vida.

A nuestras familias por sus palabras de aliento y acompañarnos en este proceso, por todo su cariño, comprensión y fortaleza.

A nuestros amigos, por compartir con nosotros esta etapa tan importante en nuestras vidas, con quienes hemos estado en buenos y malos momentos, disfrutando de las cosas simples de la vida.

A nuestras asesoras y revisora por la orientación y ayuda que nos brindaron para la realización de esta investigación, por permitirnos aprender cada día más en este arduo trayecto.

A mi esposa Ana Cecilia, por ser mi apoyo cuando tropiezo, la sensatez de mis acciones, el motivo de mi seguir y principalmente la razón de mi existir; gracias por ser todo lo que necesito, te amo.

ÍNDICE

Contenido	Página
I. RESUMEN	1
II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	3
III. ANTECEDENTES	4
A. Importancia de la evaluación de la calidad del aire	4
1. Contaminación del aire	4
2. Contaminantes biológicos	5
2.1 Hongos	5
3. Calidad micológica en el aire	5
3.1 Tipos de contaminantes fúngicos	6
3.1.1 <i>Penicillium</i>	6
3.1.2 <i>Cladosporium</i>	6
3.1.3 <i>Aspergillus</i>	7
3.1.4 <i>Mucor</i>	7
3.1.5 <i>Rhizopus</i>	8
B. Aeromicología de ambientes	8
1. Ambientes interiores	8
2. Ambientes exteriores	9
C. Factores físicos que afectan la carga micológica en el aire	10
D. Estudios relacionados con la evaluación de la calidad del aire en herbarios	11
E. Normas, regulaciones o legislación disponible sobre la calidad del aire en Guatemala	11
F. Descripción de los sitios de muestreo	12
1. <i>Index Seminum</i>	12
2. Herbario USCG	12
IV. JUSTIFICACIÓN	13
V. OBJETIVOS	14
A. General	14
B. Específicos	14
VI. HIPÓTESIS	15

VII. MATERIALES Y MÉTODOS	16
A. Selección de puntos de muestreo	16
B. Selección de la hora de máxima contaminación	16
C. Recursos	16
1. Recursos humanos	16
2. Recursos institucionales	17
3. Recursos físicos	17
3.1 Reactivos	17
3.2 Materiales	17
3.1 Equipo	18
D. Muestreo aeromicológico	18
1. Preparación de medios de cultivo	19
2. Medición de temperatura y humedad relativa	19
3. Muestro por impactación	19
E. Recuento de colonias fúngicas emergentes	20
F. Aislamiento fúngico	21
G. Caracterización e identificación de géneros fúngicos aislados	21
H. Diseño de la investigación	21
I. Análisis estadístico	22
VIII. RESULTADOS	23
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
X. CONCLUSIONES	39
XI. RECOMENDACIONES	40
XII. REFERENCIAS	41
XIII. ANEXOS	47
1. Diseño y distribución de puntos de muestreo del <i>Index Seminum</i>	47
2. Diseño y distribución de puntos de muestreo del Herbario USCG	48

I. RESUMEN

En la actualidad, las investigaciones sobre la calidad del aire en espacios abiertos y cerrados, han sido integradas por varios países a nivel mundial, ya que es de conocimiento común que este es uno de los principales transportes de diversas partículas orgánicas e inorgánicas, las cuales pueden contribuir a problemas de salud y medioambientales.

En Guatemala, no existen hasta el momento normas, regulaciones o legislaciones concretas sobre el tema. La principal fuente de información encontrada sobre contaminantes del aire en los países en desarrollo es el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire, establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Actualmente, solo existen valores de referencias internacionales para establecer patrones aceptables de calidad del aire, por lo cual, para muchos países en desarrollo como el nuestro, resulta de interés el monitoreo de la calidad del aire.

Es por esto que en el presente estudio, se realizó un muestreo mensual en los ambientes interiores y exteriores de dos centros de interés científico ubicados en el Centro de Estudios Conservacionistas -CECON-, de la ciudad de Guatemala, con el fin de determinar la calidad micológica en el aire y caracterizar los géneros fúngicos aislados en el *Index Seminum* y el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG-. Para fines de este estudio, se incluyó la selección de la hora de máxima contaminación fúngica (*Index Seminum*, las 9:30h para el ambiente interior y las 14:30h para el ambiente exterior; -USCG-, las 9:00h para el ambiente interior y las 14:00h para el ambiente exterior) mediante un muestreo de seis horas consecutivas en ambos ambientes de los dos lugares incluidos en el estudio. Posterior a la selección de hora de máxima contaminación, se realizaron seis muestreos mensuales, haciendo uso del método volumétrico por impactación con el aeroscopio Eco MAS-100 y empleando medio de cultivo agar Saboraud + NaCl al 7.5%.

A partir de la metodología previamente descrita, se lograron establecer las concentraciones de hongos microscópicos en los ambientes interiores y exteriores de ambos sitios muestreados. Donde los tres meses de mayor contaminación fúngica en promedio para el interior del *Index Seminum*, según los valores medios fueron 2320 UFC/m³ para febrero, 1970 UFC/m³ en diciembre y enero con 1500 UFC/m³. En cuanto al ambiente exterior, febrero presentó 2060 UFC/m³, seguido de diciembre con 1560 UFC/m³ y finalmente octubre con 700 UFC/m³. Con tales valores se evidenció que el ambiente interior presentó mayores niveles de contaminación por hongos

microscópicos que el ambiente exterior. Por otra parte, los tres meses de mayor contaminación por esporas fúngicas en promedio para el ambiente interior del Herbario USCG, fueron noviembre con 290 UFC/m³ y octubre y marzo con 270 UFC/m³. Distintamente en el ambiente exterior, los meses que figuraron como máximos exponentes de contaminación aeromicológica fueron febrero con 3530 UFC/m³, diciembre con 2023 UFC/m³ y noviembre con 1890 UFC/m³, lo cual demostró que existió una mayor contaminación fúngica en el exterior que en el interior.

Además de los recuentos fúngicos determinados en los dos centros de estudio, se logró la caracterización de 13 taxa, distribuidas en 48 géneros y 10 especies, correspondientes a 58 aislamientos, de los cuales 31 procedieron del interior y 27 del exterior. Para el *Index Seminum*, los géneros de mayor frecuencia en los sitios muestreados en orden decreciente correspondieron a *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., otros géneros entre los que figuran *Cladophialophora*, *Paecylomices*, *Scopulariopsis*, y *Syncephalastrum*, levaduras como *Prototheca wickerhamii*, *Candida famata* y *Cryptococcus humicola* y *Rhizopus* sp. en el orden de mucorales.

En cuanto al Herbario USCG, los géneros identificados nuevamente mencionados en orden descendente fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Fusarium* sp., *Syncephalastrum racemosum* y finalmente levaduras como *Rhodotorula minuta* y *Rhodotorula mucilaginosa*.

En este estudio se demostró que para los ambientes interiores y exteriores de ambos centros, los tres géneros predominantes, a lo largo de los seis meses muestreados fueron *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp.

A raíz esta investigación, se pudo determinar que existe contaminación del aire en los puntos muestreados del interior y exterior del *Index Seminum* y Herbario USCG, debido al recuento de hongos que sobrepasa las 200 UFC/m³. En cuanto al género predominante en el *Index Seminum*, corresponde a *Cladosporium* sp. y para el Herbario USCG se determinó al género *Penicillium* sp. A partir de los hallazgos encontrados en los ambientes muestreados, se puede inferir que los géneros predominantes pueden representar una amenaza en el deterioro de los especímenes resguardados en ambos centros científicos.

II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, los estudios sobre la calidad del aire en espacios interiores como exteriores, han sido adoptados por diversos países a nivel mundial, ya que éste constituye una vía de transporte de diversas partículas orgánicas e inorgánicas, las cuales, han demostrado que pueden contribuir o no, a problemas de salud humana y medioambiental, afectando equitativamente a los países desarrollados y en desarrollo (Solís, 2011, p. 36).

En Guatemala, no se cuenta con normas, regulaciones o legislación ambiental que regule la calidad del aire, y no están definidas a nivel nacional las concentraciones límite sobre las cuales se pudieran originar efectos nocivos a la salud de las personas y el ambiente en general. Sin embargo, el Sistema de Calidad del Aire utiliza como referencia los Límites de Calidad del Aire establecidos en la legislación de EEUU a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Esta investigación se limitó al estudio de ambientes en herbarios, donde se trató de determinar las concentraciones fúngica existentes en los ambientes interiores como exteriores, así como su caracterización mediante muestreos mensuales en horas determinadas previamente como las de mayor contaminación en el *Index Seminum* y el herbario USCG, ambos pertenecientes al Centro de Estudios Conservacionistas –CECON- de la USAC.

Desde el punto de vista científico, el *Index Seminum* se centra en la reproducción y cultivo de especies vegetales y plantas amenazadas en Guatemala, a fin de servir como apoyo a la enseñanza botánica. De igual forma, el herbario USCG se enfoca en la exploración botánica del país, en particular de la vegetación acuática, poseyendo la colección más grande en Guatemala del departamento de Petén. Debido a que en estos centros se resguardan importantes colecciones de interés científico, es necesario conocer los niveles de contaminación fúngica para así evitar el deterioro de los especímenes.

Los aislamientos e identificaciones fúngicas encontrados en los diversos ambiente muestreados, fueron llevados a cabo por medio de técnicas de cultivo en placa y microscopía directa, realizando posteriormente la caracterización de la cepa, mediante la observación microscópica y macroscópica de los géneros fúngicos de fácil crecimiento como lo son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, entre otros. Los cuales son estrechamente vinculados como causantes de biodeterioro, según lo publicado por Romero, M. en el año 2006.

III. ANTECEDENTES

A. Importancia de la evaluación de la calidad del aire

El aire es el vehículo común en la dispersión de partículas orgánicas e inorgánicas que pueden repercutir en la salud humana, el término aerobiología fue definido en los años 30 por Fred C. Meier con el fin de incluir bajo esta denominación los estudios que se realizaban sobre las esporas de hongos, granos de polen y bacterias contenidos en la atmósfera. Sin embargo, más recientemente, se consideró la aerobiología como una ciencia multidisciplinaria que comprende la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de esporas, pólenes y otros microorganismos aerotransportados. Así como su diversidad, modos de vida, dependencia y al mismo tiempo, repercusión en el entorno (Almaguer, Rojas y Hernández, 2008, pp. 137-143).

La calidad del aire es considerada como la medida efectuada según una escala arbitraria en la que se especifica el estado global del aire contaminado en relación con el aire considerado como saludablemente normal. El término anterior hace mención a dos aspectos muy importantes, el aire contaminado considerado como: el aire que contiene en suspensión partículas de polvo o humo, microorganismos y otros gases distintos de aquellos que la componen normalmente y el aire saludablemente normal o aire puro considerado como: el aire que está (relativamente) desprovisto de materiales contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos (Herrera, 2007, p. 56).

1. Contaminación del aire

Un ambiente nocivo para la salud de los hombres, animales o plantas, es producido por la contaminación del aire. Este efecto es generado por distintos sólidos, líquidos o gases procedentes de diferentes actividades de la industria, población, putrefacciones de animales o vegetales, desastres naturales, actividades volcánicas, etc. (Herrera, 2007, p. 56).

El deterioro de la calidad del aire, es producido por la conjunción de factores de origen natural y de origen humano, que participan en los grandes complejos urbanos o industriales, por lo cual se hace necesario monitorear la calidad del aire. Dentro de los factores naturales destacan el clima y la capacidad de ventilación que presenta la atmósfera, lo que redundaría en una mayor o menor dispersión de los contaminantes; en cambio, en los factores generados por los humanos figuran las emisiones generadas en transporte y operación de procesos productivos (Herrera, 2007, p. 56).

2. Contaminantes biológicos

La presencia de contaminantes biológicos requiere de un reservorio multiplicador y diseminador por lo cual, en la mayoría de los ambientes de trabajo de interior los microorganismos tienen gran importancia para la salud. (González, Mateo y González, 2003, p. 8). Los microorganismos comúnmente encontrados en ambientes interiores como exteriores son hongos, bacterias, virus y protozoos, además, recientemente se ha establecido la presencia de polen, fragmentos de ácaros e insectos, así como sus productos de excreción (Flannigan, 1992, p. 22).

2.1 Hongos: estos organismos se encuentran presentes todo el año en atmósferas exteriores e interiores aumentando su concentración durante períodos de elevada humedad, cuando la proliferación de los mismos es más favorable. Entre las fuentes generadoras de estos contaminantes se encuentran humidificadores ambientales (por agua estancada) y sistemas de ventilación sucios (Rey y Velasco, 2007, p. 66). A su vez, los ambientes interiores proporcionan nichos o rincones que contienen el material orgánico muerto que sirve como nutriente a la mayoría de los hongos para su crecimiento y producción de esporas. Estudios han relacionado los microorganismos de transmisión aérea con una serie de procesos alérgicos entre los que se destacan rinitis, asma, fiebre, alveolitis alérgica (González y otros, 2003, pp. 85, 86).

3. Calidad micológica del aire

Existen esporas de muchos mohos diferentes en el aire de ambientes interiores y exteriores, probablemente los más frecuentes sean las especies de *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Eurotium*. Algunos mohos presentes en el aire, como las especies de *Cladosporium*, son abundantes en las superficies de las hojas y de otras partes de las plantas, en particular en verano. Por otra parte, las esporas presentes en el aire interior pueden originarse en el exterior, *Cladosporium* también es capaz de crecer y producir esporas sobre superficies húmedas en el interior, contribuyendo así a la carga biológica del aire. Se considera que las diversas especies de *Penicillium* se originan generalmente en el interior, al igual que *Aspergillus* y *Eurotium*. En la mayoría de las muestras de aire interior se encuentran levaduras, y en ocasiones pueden estar presentes en niveles elevados (Flannigan, 1992, p. 23).

Los ambientes interiores proporcionan numerosos nichos o rincones que contienen el material orgánico muerto que sirve como nutriente a la mayoría de los hongos y bacterias para su crecimiento y producción de esporas. El hecho de que tenga lugar o no el crecimiento de estos microorganismos depende del nivel de humedad. Algunos mohos también requieren condiciones de gran humedad, pero otros son menos exigentes y pueden proliferar en materiales húmedos aunque no estén totalmente saturados. El polvo puede ser un lugar de depósito y si está suficientemente húmedo, un lugar de cultivo para los mohos. Por consiguiente, una cantidad importante de esporas entran en suspensión en el aire cuando se mueve el polvo (Flannigan, 1992, p. 23).

3.1 Tipos de contaminantes fúngicos

Las esporas de los hongos representan el grupo más numeroso en cuanto a contaminación biológica, los hongos alcanzan concentraciones muy significativas en determinadas épocas y son las responsables del elevado porcentaje de pacientes sensibilizados a estos aeroalergenos y diagnosticados con problemas de alergia. La inhalación de esporas fúngicas puede desencadenar una variedad de síntomas respiratorios, como rinitis alérgica, asma, bronquitis, etc., que dependen de la especie, de las condiciones tanto del medio en el que se desarrolla el hongo como climáticas y de la reactividad inmunológica del sujeto. A diferencia de lo que ocurre con el polen, el número de esporas que se encuentran en la atmósfera no está directamente relacionado con la respuesta de los pacientes sensibilizados a ciertos hongos (Sabariego, Díaz y Alba, 2004, pp. 121-127).

3.1.1 *Penicillium*: género de mayor distribución geográfica, sus esporas se encuentran en aires y suelos, proliferan en una gran variedad de ambientes, incluye especies capaces de producir una micosis en humanos, algunos géneros desarrollan micotoxinas que afectan semillas y granos, así como la salud humana (Carrillo, 2003, pp. 61- 70). Son colonias de crecimiento rápido, de color blanco o verde azulado, productor de micelio aéreo. Las hifas portadoras de esporas forman la estructura característica de pincel, los conidios se disponen en cadenas no ramificadas y parten del extremo de estructuras en forma de pirámides o métulas que se proyectan de las ramas del conidióforo (Gini, Cano, García, Bran y Herrera, 2009, pp. 75-82).

3.1.2 *Cladosporium*: género de distribución cosmopolita, siendo uno de los taxos más aislado y abundante en los recuentos aerobiológicos, se encuentra asociado a cuadros clínicos de asma y esporosis, e incluso algunas de sus especies actúan como oportunistas y son capaces

de intervenir en ciertos procesos micóticos pulmonares, atacar la piel o producir cromoblastomicosis, su importancia desde el punto de vista sanitario, viene dado por la capacidad alergénica de sus conidios, los cuales pueden alcanzar altas concentraciones en la atmósfera (Madigan, Martinko y Parker, 2004, p. 944). Posee un crecimiento rápido, con tonos grisáceo o verde claro con aspecto polvoriento; microscópicamente los conidióforos sostienen cadenas ramificadas de conidios alargados u ovals. El micelio, los conidióforos y los conidios presentan un color pardo oscuro (Gini y otros, 2009, pp. 75-82).

3.1.3 *Aspergillus*: este género es de los que presentan una mayor distribución geográfica, encontrándose desde las regiones árticas hasta el Ecuador. El aire y el suelo de casi cualquier parte del mundo contiene los conidios de diferentes especies, siendo capaces de crecer casi en cualquier sustrato, este causa problemas de contaminación y algunas especies pueden ocasionar una enfermedad denominada aspergilosis, siendo la pulmonar la más seria (Madigan y otros, 2004, p. 944). El color es una característica macroscópica para la identificación de los grupos de *Aspergillus* sp. poseen distintos tonos de verde, pardo, amarillo, blanco, gris y negro; microscópicamente presentan una hifa alargada no tabicada ni ramificada, de la cual nace una célula pie que se ensancha formando una vesícula productora de fiálides, las cuales presentan en los extremos los conidios (Gini y otros, 2009, pp. 75-82).

3.1.4 *Mucor*: género cuyas esporas se encuentran suspendidas en el ambiente o en recintos cerrados. Los miembros del género *Mucor* se encuentra viviendo en todo el mundo, en una amplia variedad de entornos, desde el bosque hasta las alfombras de hogares y empresas, pudiendo contribuir a alergias al moho en personas sensibles (Szczupak, 2011). Las esporas son fácilmente transportadas por el movimiento del aire, no son muy abundantes en el aire libre, pero lo son más en lugares donde se acumula vegetación en descomposición y hay un alto grado de humedad, como en el aserrín y la leña (Álvarez, 2002, p. 34). Macroscópicamente es un hongo filamentoso de crecimiento rápido, presenta un abundante micelio aéreo de color grisáceo; microscópicamente presenta hifas cenocíticas que dan origen a un gran número de esporangióforos portadores de esporangios esféricos con zigosporas esféricas de paredes lisas, en el extremo del micelio no forma estolones ni rizoides (Gini y otros, 2009, pp. 75-82).

3.1.5 *Rhizopus*: género común de hongos saprófitos en plantas. Se encuentran en una amplia variedad de sustratos orgánicos, incluidos frutos maduros y verduras. Algunas especies son oportunistas en infecciones humanas, muchas de estas infecciones asociadas a la diabetes (Peña, 1998, pp. 17- 23). Es un hongo de crecimiento rápido con micelio aéreo algodonoso denso, de color gris oscuro; microscópicamente presenta hifas cenocíticas con rizoides en la base y conectado con otros por medio de estolones, los esporangióforos se proyectan por encima de los estolones, a su vez los esporangios presentan una estructura globosa con zigosporas en su interior (Gini y otros, 2009, pp. 75-82).

B. Aeromicología de ambientes

Una investigación llevada a cabo por científicos del instituto Max-Planck-Gesellschaft (Alemania) muestra que la cantidad y diversidad de esporas de hongos presentes en el aire es mucho mayor de lo estimado hasta el momento. Según el estudio, en cada metro cúbico de aire flotan entre 1,000 y 10,000 esporas de hongos. Cada inhalación que realiza una persona contiene entre 1 y 10 esporas, muchas de las cuales al entrar en contacto con los pulmones pueden desencadenar alergias o enfermedades (Pöschl, 2009), por lo cual resulta de interés el conocimiento de los contaminantes presentes en los ambientes interiores y exteriores.

1. Ambientes interiores

La contaminación del aire en interiores es motivo de una gran preocupación, debido a que gran parte de la población transcurre la mayor parte del tiempo en ambientes interiores, un estudio realizado en Canadá señaló que los niños y jóvenes pasan casi 90% de su tiempo en interiores, se ha demostrado que el hombre urbano promedio transcurre entre el 58 - 78% en ambientes cerrados. El término aire interior se puede aplicar a ambientes interiores como residencias, edificios de oficinas, edificios públicos (hospitales, escuelas, restaurantes, etc.), así mismo, se puede decir que esta exposición repercute en los trabajadores de estos ambientes en lo que se denomina exposición profesional. La calidad aeromicológica en el interior de un edificio se encuentra influenciada en una serie de variables tales como la calidad del aire exterior, ventilación, humedad, temperatura, factores de limpieza y condiciones del establecimiento (Guardino, Berenguer y Hernández, 1994, p. 3).

La calidad del aire interior llega a ser una causa importante de riesgo en la salud, cuando en éste ambiente se encuentran concentraciones significativas de esporas fúngicas, pudiendo ser éstas de origen interno y/o del medio externo (Sanfeliu y Jordán, 2005, p. 383).

El aire interior es considerado como el espacio cerrado laboral o doméstico con diferencias importantes de las situaciones externas ambientales, donde el ambiente externo se conforma de un flujo constante de aire determinado por los efectos de temperatura, viento y precipitaciones que produce una condición homogénea de concentraciones características de un sitio a otro y de una estación a otra. El ambiente interior es considerado como ambiente estacionario, donde el aire se mueve de acuerdo a influencias externas específicas y acumula contaminantes por la acción biológica, creando una situación heterogénea (Sanfeliu y Jordán, 2005, p. 383).

Los géneros *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, se han descrito como los más abundantes y se encuentran frecuentemente asociados a factores en hogares, como ventilación, humedad, deterioro de superficies y en ambientes industriales, contribuyendo a la dispersión de la contaminación industrial junto con *Acremonium* y *Fusarium* (Sanfeliu y Jordán, 2005, p. 383).

2. Ambientes exteriores

La contaminación del exterior puede tener distintas procedencias como lo son los vehículos circulantes, gases procedentes de calderas, productos utilizados en las actividades realizadas en la calle, asfalto o soldaduras, aire precedente de otros ambientes interiores, salidas de humos de industrias, etc. (Guardino y otros, 1994, p. 5).

Las esporas del aire pueden variar dentro de pequeñas áreas dependiendo de la cantidad y tipo de vegetación, el microambiente local y la actividad humana. La gran abundancia de hongos en el ambiente, combinados con su pequeño tamaño y su fácil dispersión favorece la presencia de altas concentraciones de esporas en el aire. El género *Cladosporium* es el hongo conidial más abundante en el aire de la mayoría de las regiones del mundo, predominando a tal nivel que su número frecuentemente determina la magnitud total de esporas en el aire durante el día. La segunda espora más abundante en exteriores es usualmente *Alternaria* la cual predomina en los días calientes, secos y con viento (Reponen, Nevalainen, Jantunen, Pellikka y Kalliokoski, 1992, pp. 26- 31).

Dado que muchos hongos crecen en hojas y suelo, sus concentraciones varían de acuerdo con el ciclo de crecimiento de las plantas. Por la noche y en los días lluviosos adquieren la mayor prevalencia y los picos de exposición son mucho mayores cuando se manipula vegetación o granos, heno, tierra seca y hojas. Otros tipos de hongos cuyas esporas se disparan cuando hay humedad lo hacen de preferencia en la mañana antes de la salida del sol (Zubiría, 2004, p. 217).

C. Factores físicos que afectan la carga micológica en el aire

La concentración local de los contaminantes del aire depende de la magnitud de las fuentes y de la eficiencia de su dispersión. Las variaciones diarias en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes (Maynard, Lippman, Seifert, Murray, Ackermann, Aggarwal,... Younes, 2004, p. 7). Entre los factores que influyen en la carga micológica se menciona la actividad del agua, la cual representa la humedad relativa ambiental que se encuentra en equilibrio termodinámico con el agua disponible (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 53). Los microorganismos necesitan la presencia de agua para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La actividad del agua está regulada y tiene relación con diversos factores como por ejemplo la humedad relativa, la presión atmosférica y la temperatura (Yang y Heinsohn, 2007, p. 92).

De igual forma, la humedad relativa tiene significancia en la contaminación fúngica ambiental al incidir en la concentración de esporas, su diámetro aerodinámico y en la deposición respiratoria de las mismas, proliferando estas en mayor cantidad en condiciones de más humedad, temperaturas templadas y atmósfera inestable. Estas condiciones se dan más a finales de verano y otoño. No obstante, en muchos lugares pueden hallarse presentes durante todo el año. Entre los factores esenciales para la germinación de las esporas en la atmósfera se encuentra una temperatura con rangos de 20- 26°C y una humedad elevada (Yang y Heinsohn, 2007, p. 104).

El aire estancado favorece considerablemente la propagación de las esporas, mientras que el aire circulante no solo impide que las esporas suspendidas se depositen y germinen, sino que ayudan a mantener seco el local, de ahí que la ventilación es esencial para lograr una baja actividad biológica en los ambiente internos (Mishalski, 1985, p. 130).

Finalmente, otro factor influyente en los niveles fúngicos del aire es el polvo, el cual se encuentra siempre cargado de esporas y estas constituyen el elemento mayoritario. Los componentes del polvo, tanto químicos como biológicos, pueden dañar los materiales, por lo cual, éste debe ser retirado periódicamente y así prevenir el desarrollo de los mismos (Chew, Douwes y Doekes, 2001, p. 171).

D. Estudios relacionados con la evaluación de la calidad del aire en herbarios

En un estudio realizado por la Universidad Nacional de Córdoba en Argentina, se monitoreó y analizó 359 puntos de la ciudad considerando diversas áreas verdes como parques y herbarios, y se reportó que año con año ha incrementado el índice de contaminación en la ciudad (Universidad Nacional de Córdoba, 2008). Diversas investigación sobre el monitoreo del aire han sido llevadas a cabo en Latino América, sin embargo, ninguna de ellas se ha centrado a herbarios o centros de interés botánicos hasta hoy en día, con lo cual posiblemente se da comienzo a un campo de estudio en relación a la calidad aeromicológico en centros de colecciones botánicas creando con esto, la inquietud de profundizar en el tema.

E. Normas, regulaciones o legislación disponible sobre la calidad del aire en Guatemala

Para la evaluación de la calidad del aire en un ambiente determinado se hace necesaria la comparación de los resultados obtenidos en el muestreo, con las normas, regulaciones o legislación disponible al respecto, a fin de determinar si los datos obtenidos son conformes o no, con éstas normativas. La principal fuente de información encontrada sobre la contaminación del aire en los países en desarrollo es el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire, establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Maynard y otros, 2004, p.22). Este sistema proporciona una base que pretende proteger la salud pública de los efectos adversos debidos a la contaminación del aire y eliminar o reducir hasta un nivel mínimo los contaminantes del aire que se ha demostrado o se sospecha que son peligrosos para la salud y el bienestar humano. (Programa de las Naciones Unidas, 1999, p. 28).

En Guatemala, no existen hasta el momento normas, regulaciones o legislación concreta sobre el tema, para mejorar la calidad de aire, dado que el principal instrumento jurídico que las contenía fue derogado (Programa de las Naciones Unidas, 1999, p. 28).

Considerando tal hecho, se sugiere consultar los valores de referencia empleados como normas o directrices para la calidad del aire de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, la cual ha establecido normas para el aire con el fin de proteger la salud de la población en general (normas primarias) e incluso su bienestar (normas secundarias) contra los efectos adversos que puedan preverse debido a un contaminante específico. Por consiguiente, estos valores de referencia son útiles como guía general para establecer un patrón aceptable de calidad del aire para un espacio interior determinado, y algunas normas, los utilizan como criterios de calidad para la renovación del aire en un edificio cerrado (Berenguer, 1991, p. 44.31).

F. Descripción de los sitios de muestreo

El Centro de Estudios Conservacionistas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, -CECON- localizado al Noreste de la ciudad capital, es el programa responsable de contribuir a la conservación de los ecosistemas naturales del país, a través de su acción en cuanto a sectores específicos tales como biotopos protegidos, jardines botánicos, el *Index Seminum* y el Herbario USCG, (Reseña histórica, 2011), siendo estos dos últimos en mención, los de interés para esta investigación ya que debido a los importantes especímenes que albergan en sus instalaciones, resulta importante minimizar en la medida de lo posible, el deterioro de las colecciones botánicas consideradas de interés científico.

1. *Index Seminum*

Esta unidad se dedica a coleccionar las semillas en el Jardín Botánico y en el campo, las cuales se ofrecen a intercambio por medio de un catálogo de semillas que se publica regularmente cada dos años, se intercambia semillas e información con aproximadamente 300 jardines botánicos en el extranjero. Además ofrece servicios a la docencia universitaria y se emplea como recurso docente proporcionando materiales biológicos (Reseña histórica, 2011).

2. Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USCG)

El Herbario USCG, se enfoca en la exploración botánica del país, la taxonomía, ecología y biogeografía de la flora guatemalteca, en particular de la vegetación acuática, cuenta a la fecha con 13,500 registros y 20,000 especímenes en proceso de registro. Al mismo tiempo, ha sido reconocido por su investigación y promotor de actividades académicas. (Reseña histórica, 2011).

IV. JUSTIFICACIÓN

Hasta el año 2007, se habían realizado escasas investigaciones sobre la calidad micológica del aire en Guatemala; como el elaborado por Herrera, K. y otros, quien realizó un estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la USAC. Así mismo, Solís, E. en el año 2011 realizó una investigación sobre el estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores en laboratorios de la USAC.

A partir de los hallazgos reportados por ambos autores, se incrementa el interés por realizar estudios aerobiológicos adicionales que brinden información sobre la calidad en centros de interés científico. Por lo anterior, se evaluará la calidad presente en ambientes interiores y exteriores de dos colecciones botánicas, como lo son el *Index Seminum* y el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USCG), ya que estos ambientes por sus características de infraestructura son cerrados, húmedos y con exposición a contaminantes provenientes del exterior.

En Guatemala, el deterioro de la calidad ambiental se está reflejando de forma progresiva, apresurada y constante en el incremento de partículas contaminantes y factores ambientales adversos que se manifiestan en el aire (Oliva, 2008, p 25). Esto ha repercutido de forma significativa, ya que una inadecuada ventilación, excesivos niveles de humedad y polvo en el ambiente interior y exterior de edificaciones incrementa el desarrollo de esporas fúngicas en ambientes cerrados (Guardino y otros, 2005, p.4). De igual forma, un factor influyente de la contaminación por hongos microscópicos conlleva a un deterioro parcial o absoluto de los especímenes de valor científico tales como los depositados en el Herbario USCG y el *Index Seminum*.

Por lo anterior, en este estudio se determinarán las concentraciones fúngicas en los puntos de muestreo así como su caracterización con el fin de disminuir el deterioro por hongos microscópicos en las colecciones contempladas para este estudio.

V. OBJETIVOS

A. General

Determinar la calidad fúngica en el aire de dos colecciones de interés científico en el Centro de Estudios Conservacionistas -CECON-, ubicado en la ciudad de Guatemala.

B. Específicos

1. Determinar los niveles (UFC/m³ de aire) de contaminación fúngica en el aire interior y exterior de los puntos de muestreo ubicados en el *Index Seminum* y en el Herbario USCG.
2. Caracterizar los géneros fúngicos aislados en el aire del *Index Seminum* y el Herbario USCG.

VI. HIPÓTESIS

El presente proyecto de investigación no deriva una hipótesis, ya que únicamente se realizará una descripción de los hallazgos encontrados en los puntos de muestreo de los ambientes interiores y exteriores, considerados en el estudio.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Selección de puntos de muestreo

Se seleccionaron tres puntos de muestreo en ambientes interiores y exteriores del *Index Seminum* y Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USCG-, (ubicados a una latitud 14°, 36', 50.87" N (Norte); longitud 90°, 30', 45.47" O (Oeste) y elevación de 1,505 msnm) con el fin de determinar los niveles de contaminación ambiental por hongos microscópicos, en dependencia de las dimensiones del local y área exterior seleccionada (Marroquín, 2011, p. 19), durante 6 meses del año, incluyendo así tres meses de época seca y tres meses de época húmeda. Además, se realizó un mapa con los puntos de muestreo de cada uno de los ambientes a analizar (Anexo 1. Diseño y distribución de puntos de muestreo del *Index Seminum* y anexo 2. Diseño y distribución de puntos de muestreo del Herbario USCG).

B. Selección de la hora de máxima contaminación

Se estableció la hora de mayor contaminación en cada uno de los ambiente de los locales, mediante un muestreo por duplicado durante periodos de una hora, abarcando para ambos sitios un total de seis horas, el Herbario USCG (9:00 - 14:00 horas) e *Index Seminum* (9:30 - 14:30 horas). Se muestrearon tres puntos en cada una de las áreas interiores y exteriores, en los cuales se llevó a cabo el análisis aerobiológico de cada local. Se determinaron las Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m³ de aire) según la Norma de Regulación Pesca 201 (NRP 201, 1987, p.100), a cada hora muestreada, lo cual permitió conocer la hora de mayor contaminación por hongos microscópicos en los ambientes locales, y exteriores.

C. Recursos

1. Recursos humanos

Dra. Karin Larissa Herrera, Asesora.

Licda. Wendy Chamalé, Co-Asesora.

Br. Jeimy Quan Lam, Auxiliar de investigación.

Br. Julio C. Maas Mó, Técnico de laboratorio.

Br. José Eduardo Abdo Retana, Seminarista.

Br. Eldin Josué Reyes Estrada, Seminarista.

2. Recursos institucionales

Jardín Botánico de la Universidad de San Carlos de Guatemala, *Index Seminum*.

Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USCG.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Laboratorio Microbiológico de Referencia, - LAMIR -.

3. Recursos físicos

3.1 Reactivos

Aceite mineral.

Agar Sabouraud.

Agua desmineralizada.

Agua estéril.

Alcohol etílico al 70%.

API 20 C AUX.

Azul de lactofenol.

Cloruro de sodio.

Colorante de tinción de Gram.

3.2 Materiales

Algodón.

Asa en "L".

Asa en argolla.

Asa en punta.

Cajas de Petri.

Cofia.

Contador.

Cubreobjetos.

Erlenmeyer (1000mL).

Gradillas.

Guantes de látex.

Mascarilla 3M.

Papel craft.

Papel mantequilla.

Papel parafilm.
Pinzas.
Pipetas (10mL).
Pipetas automáticas (100 μ L y 1000 μ L).
Pipeteador semiautomático.
Portaobjetos.
Probetas (500mL y 1000mL).
Rotuladores.
Tijeras.
Tips.
Tubos de ensayo.

3.3 Equipo

Autoclave.
Incubadora a 25°C.
Campana de flujo laminar tipo II.
Incinerador.
Cámara de Quebec.
Cámara fotográfica.
Refrigerador a 6°C.
Estufa.
Balanza analítica.
Biocolector ECO MAS 100.
Higrómetro.
Computadora.

D. Muestreo aeromicológico

Este muestreo se realizó mediante el método volumétrico por impactación. Para llevarlo a cabo se utilizó el biocolector Eco MAS-100, el cual se programó para que aspirara un volumen de 100 L/minuto de aire. Los muestreos se llevaron a cabo a las alturas establecidas de acuerdo a las instalaciones de cada uno de los locales (Solís, 2011, p. 35).

En cada muestreo se mantuvo el mismo procedimiento para el recuento de carga fúngica presente en las áreas donde se llevó a cabo el muestreo. De estas cajas se realizó el aislamiento de las cepas para su posterior caracterización.

1. Preparación de medios de cultivo

Se utilizó el medio agar Sabouraud con NaCl al 7.5 % para el crecimiento de los géneros fúngicos y su posterior aislamiento e identificación microscópica. Para la preparación de cada medio de cultivo se pesó la cantidad exacta de agar indicada por el proveedor, de acuerdo a la cantidad a emplear, calentando hasta su total disolución. Se esterilizó, en autoclave a 121°C por 15 min. Cada medio de cultivo se distribuyó en cajas de petri con área de 57 cm² de forma aséptica en una campana de flujo laminar, hasta su completa solidificación. Para detectar algún tipo de contaminación en los medios, se incubó un CONTROL a 26°C durante 24 horas evaluando posteriormente el crecimiento de algún tipo de contaminación (Solís, 2011, p. 36).

2. Medición de temperatura y humedad relativa

Para la medición de la humedad y temperatura del ambiente se utilizó un higrómetro, que cumpliera con las condiciones apropiadas para el muestreo. Para cada ambiente se seleccionó un punto representativo del área o lugar a muestrear, en donde se colocó el higrómetro, tomando en cuenta que no fuera afectado por ningún equipo, o material que alterara los datos (temperatura y humedad relativa) proporcionados. El higrómetro, antes de su lectura debió estabilizar, aproximadamente 5-10 minutos. Tras transcurrido el tiempo, se anotaron los resultados de la temperatura y de la humedad relativa obtenidos para el punto de muestreo (Solís, 2011, p. 36).

3. Muestro por impactación

Para la recolección de muestras, el método volumétrico utilizó un biocolector de ranura por impactación (MAS 100, de Merck®). El Eco MAS-100 se basó en el principio de aspiración de Andersen, que aspira aire por una placa perforada. El aire y las partículas que contuvo se dirigieron hacia la superficie de agar en una caja de petri. Después de tomada la muestra se procedió a incubar los microorganismos impactados en el medio y a su posterior recuento de colonias, cuyo resultado se presentó en unidades formadoras de colonia (UFC/L). El equipo utilizó un aspirador de alta potencia, controlando el volumen de forma continua. Este sistema mide la corriente de aire entrante y regula el aire aspirado hasta obtener un caudal constante. Si la corriente de aire no

es constante se regula automáticamente. El aeroscopio (Merck®), tiene una capacidad de aire absorbido de 0-500L/minuto. La capacidad de absorción que se utilizó, se encuentra en un rango de 100 L/min en dependencia de los niveles esperados (Marroquín, 2011, p. 25).

E. Recuento de colonias fúngicas emergentes

Se incubaron las cajas de petri utilizadas en cada uno de los muestreos por siete días a 26°C y se procedió a realizar el conteo de las colonias fúngicas emergentes, utilizando la cámara de Quebec proporcionada por el Laboratorio de Microbiología de Referencia (LAMIR). Se realizó la cuantificación de colonias de cada punto mediante el siguiente esquema: primera lectura a las 72 horas después del muestreo, segunda lectura a las 120 horas y tercera lectura a las 168 horas. Los resultados obtenidos fueron promediados, obteniendo el total de colonias por punto. Dicho procedimiento se repitió por punto en cada uno de los ambientes de las colecciones botánicas, tanto para la selección de la hora de mayor contaminación como para los muestreos mensuales. (Solís, 2011, p. 37).

El valor obtenido del conteo realizado de las colonias emergentes, se expresó en UFC/ml. Debido a la cantidad de orificios que posee la cabeza del aeroscopio (400 en total), el valor obtenido incluyó un error estadístico, por lo que se utilizó la fórmula de Feller, proporcionada en la metodología del proveedor, siendo esta la siguiente (Merck®, s. f., p. 12):

$$Pr = N [1/N + 1/(N - 1) + 1/(N - 2) + 1/ (N - r + 1)]$$

En donde: Pr: total estadístico probable; N: número de orificios presentes en el aparato (400); r: número de unidades formadoras de colonias contadas en cajas de petri.

El valor corregido de la carga fúngica presente en el aire en cada una de las áreas se convirtió por regla de tres en unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³), utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{UFC * 1000L}{100L \quad 1m^3} = \frac{UFC}{m^3}$$

En donde 100L fue la cantidad de aire programada que se utilizó para el muestreo de cada punto.

F. Aislamiento fúngico

Posterior a la desinfección de la campana de flujo laminar, para el aislamiento de cada especie fúngica, se prepararon las asas en punta y en L, cajas de Petri con agar Sabouraud, rotulador, algodón con alcohol al 70%, cajas de cultivo madre con la cepa fúngica a aislar, incinerador y tiras de papel parafilm. El patrón de codificación utilizado para cada muestra contó con los siguientes aspectos: lugar del aislamiento, punto del aislamiento, mes y número asignado. Para el aislamiento se esterilizaron las asas en punta y L con el incinerador eléctrico y se tomó un poco de muestra de la colonia sospechosa por raspado, y se sembró en una nueva caja de Petri con agar Sabouraud. Se almacenaron las cajas sembradas en la incubadora a 26°C hasta que se observó crecimiento (aproximadamente 3-7 días según la cepa fúngica). El proceso se repitió con cada uno de los aislamientos realizados (Solís, 2011, p. 38).

G. Caracterización e identificación de géneros fúngicos aislados

Se realizó un aislamiento de los hongos presentes en los locales de mayor contaminación de ambos ambientes a fin de obtener un cultivo puro. La caracterización de los hongos aislados se hizo observando las características morfológicas de las colonias como la textura, color, forma de crecimiento. Para dicho efecto se elaboró un formato para identificación macroscópica de hongos. Posteriormente, del cultivo en lámina de las colonias aisladas, se preparó un montaje en fresco con solución de azul de lactofenol y se observó al microscopio. Se montaron al microscopio las dos preparaciones del cultivo en lámina y se confirmaron las estructuras microscópicas de los géneros fúngicos aislados, identificando los géneros, según características morfológicas con el uso de claves dicotómicas. En el caso del aislamiento presuntivo de levaduras, se procedió a realizar un gram para su confirmación, en caso de ser positivo, se procedió a realizar la caracterización por medio de un API (Barnett y Hunter, 1987, p. 190).

H. Diseño de la investigación

Es un estudio de tipo descriptivo que se realizó en las instalaciones del Herbario USCG e *Index Seminum*, donde se evaluó la contaminación fúngica del aire por medio del muestreo mensual abarcando un período total de 6 meses. Posteriormente a la selección de hora de máxima contaminación, se consideraron tres sitios de muestreo en ambientes interiores y tres sitios en ambientes exteriores. Cada uno de los hongos aislados, se caracterizó hasta género.

I. Análisis estadístico

Se realizó un análisis utilizando estadística descriptiva donde se documentaron los promedios y desviaciones estándares de la carga micológica (UFC/m³) determinada en los diferentes ambientes y meses muestreados, así como la frecuencia de los géneros fúngicos caracterizados los cuales se presentaron en:

1. Tablas.
2. Gráficas.

Para la elaboración de las tablas y gráficas se utilizó el paquete de Microsoft Office 2007.

VIII. RESULTADOS

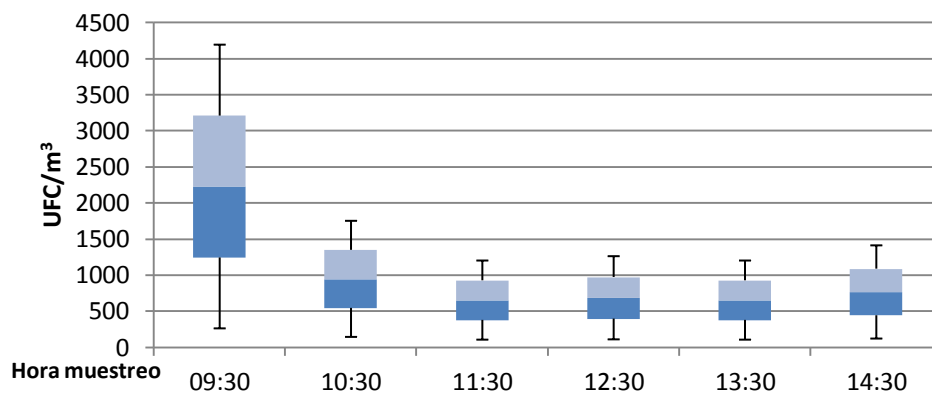
Esta sección muestra los resultados obtenidos en cuanto a la carga aeromicológica en los dos centros de interés científico del Centro de Estudios Conservacionistas -CECON-, durante los seis meses muestreados en los ambientes interiores y exteriores del *Index Seminum* y del Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG-. Los resultados reportados incluyen las variables que influyen en la determinación de la carga fúngica del aire.

A. Selección de la hora de máxima carga fúngica

Para la determinación de la hora de mayor carga fúngica en el aire de los ambientes interiores y exteriores de los sitios incluidos en el estudio, se realizó un muestreo por duplicado abarcando un total de seis horas consecutivas para cada ambiente.

La gráfica 1 muestra como hora de mayor contaminación fúngica del *Index Seminum*, las 9:30h para el ambiente interior con 4190 UFC/m³, situado en el límite superior, con una mediana de 2225 UFC/m³ representada como Q2 (cuartil 2), una distribución simétrica y con la mayor dispersión entre los datos, lo cual se evidencia en la amplitud de la caja; los valores de carga fúngica del resto de las determinaciones en el ambiente interior mantuvieron una mediana entre las 500 a 1000 UFC/m³ y una dispersión de los valores más concentrados. Ninguno de los datos presentó valores atípicos.

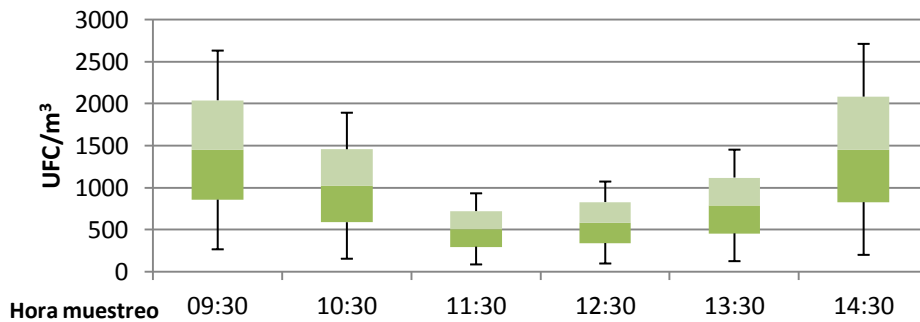
Gráfica 1. Unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) para selección de máxima contaminación en el interior del *Index Seminum* (n=12).



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

La gráfica 2 muestra como hora de mayor contaminación fúngica del *Index Seminum* las 14:30h para el ambiente exterior con 2710 UFC/m³, ubicado en el valor máximo superior, una mediana de 1454 UFC/m³ y una mayor dispersión en los valores, contrario al recuento de las 11:30h donde se evidencia una mayor concentración en los datos y una menor dispersión. No se observan datos atípicos en ninguna de las horas muestreadas y todas las distribuciones presentaron simetría.

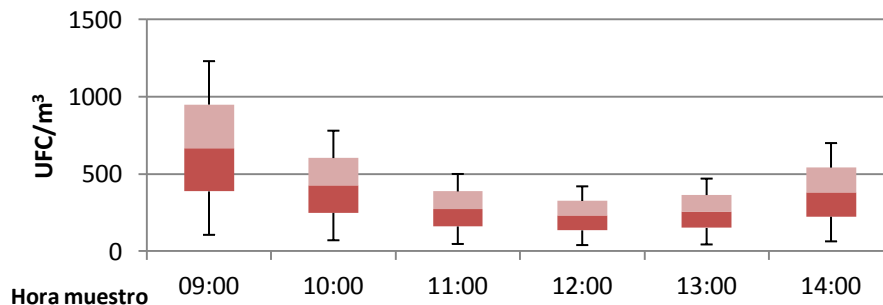
Gráfica 2. Unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) para selección de máxima contaminación en el exterior del *Index Seminum* (n=12).



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

En la gráfica 3 muestra como hora de mayor contaminación fúngica en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG-, las 9:00h para el ambiente interior con 1230 UFC/m³, representado al final del bigote superior, con una mediana de 668 UFC/m³. En las determinaciones restantes se observó un descenso gradual de la mediana posterior a la hora de máxima contaminación fúngica hasta llegar a las 12:00h, exceptuando las dos últimas lecturas en las cuales se aumenta la dispersión de los valores. No se observan valores atípicos y todas las determinaciones presentaron simetría en su distribución.

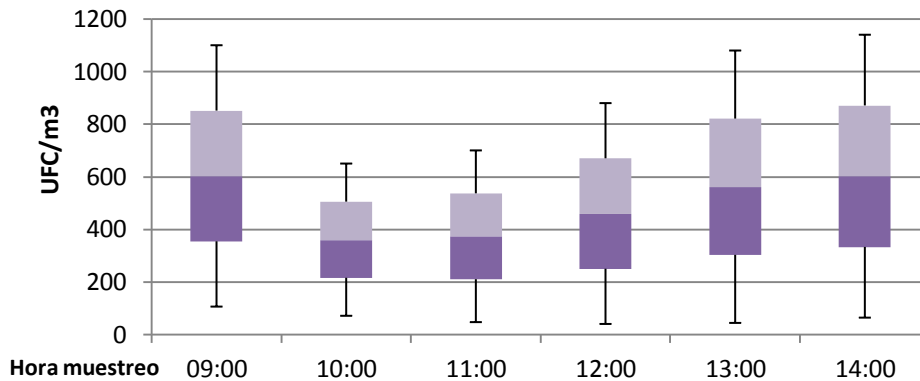
Gráfica 3. Unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) para selección de máxima contaminación en el interior del Herbario USCG (n=12).



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

La gráfica 4 muestra como hora de mayor contaminación fúngica en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG-, las 14:00h para el ambiente exterior con 1140 UFC/m³, ubicado en el límite superior, con una mediana de 602 UFC/m³. Referente a las demás determinaciones, se observó un ascenso gradual de la tendencia central a partir de las 10:00h, hasta alcanzar la hora de máxima contaminación. La mayor concentración en los valores se presenta a las 11:00 h hasta alcanzar su máxima dispersión a las 14:00 h. No se observan valores atípicos y todas las determinaciones presentaron simetría en su distribución.

Gráfica 4. Unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) para selección de máxima contaminación en el exterior del Herbario USCG (n=12).



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

B. Relación entre humedad relativa y carga fúngica

Se estableció el porcentaje de humedad relativa junto con la carga fúngica en los ambientes interiores y exteriores de ambos centros incluidos en el estudio, durante los seis meses muestreados.

El cuadro 1 muestra que en el *Index Seminum* se presentó la mayor carga fúngica promedio en el ambiente interior de febrero con 2320 UFC/m³ y una humedad relativa de 66%. De igual forma en el ambiente exterior, en febrero se presentó la mayor carga fúngica, reportando 2060 UFC/m³ y una humedad relativa de 58%. Por el contrario, la menor carga fúngica para ambos ambientes, fue en noviembre donde en el interior se reportó 630 UFC/m³ con un 51% de humedad relativa y para el exterior 480 UFC/m³ con una humedad relativa de 44%.

Cuadro 1. Promedio de carga aeromicológica y porcentaje de humedad relativa de los ambientes del *Index Seminum* durante los meses muestreados (n=12).

Mes	Interior (UFC/m ³)	SD interior	%Humedad relativa interior	Exterior (UFC/m ³)	SD exterior	%Humedad relativa exterior
Octubre	1410	5	58	700	3	49
Noviembre	630	1	51	480	1	44
Diciembre	1970	3	62	1560	7	57
Enero	1500	4	60	580	7	48
Febrero	2320	2	66	2060	4	58
Marzo	1180	3	56	560	2	52

Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

En el cuadro 2 se muestra que el Herbario USCG presentó la mayor carga fúngica en el ambiente interior en noviembre con 290 UFC/m³ y una humedad relativa de 59%. En cuanto al ambiente exterior, en febrero se presentó la mayor carga fúngica, se reportó 3530 UFC/m³ y una humedad relativa de 57%. Febrero y diciembre presentaron la menor contaminación fúngica para el ambiente interior con 220 UFC/m³ para febrero y diciembre con 46% y 47% de humedad relativa, respectivamente. En octubre, se reportó la menor contaminación fúngica para el ambiente exterior con 660 UFC/m³ y una humedad relativa de 49%.

Cuadro 2. Promedio de carga aeromicológica y porcentaje de humedad relativa de los ambientes del Herbario USCG durante los meses muestreados (n=12).

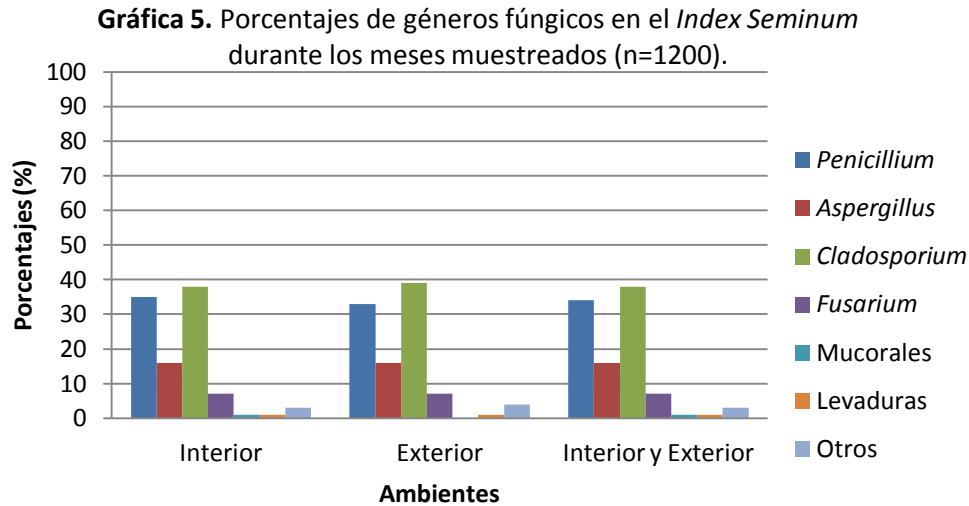
Mes	Interior (UFC/m ³)	SD interior	%Humedad relativa interior	Exterior (UFC/m ³)	SD exterior	%Humedad relativa exterior
Octubre	270	3	52	660	2	49
Noviembre	290	3	59	1890	3	53
Diciembre	220	2	47	2320	4	54
Enero	230	2	52	980	1	49
Febrero	220	2	46	3530	2	57
Marzo	270	3	59	1480	3	49

Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

C. Géneros fúngicos en los ambientes interiores y exteriores

Se estableció un porcentaje general tras los seis meses muestreados de los géneros aislados en los ambientes interiores y exteriores de los dos centros contemplados en el estudio.

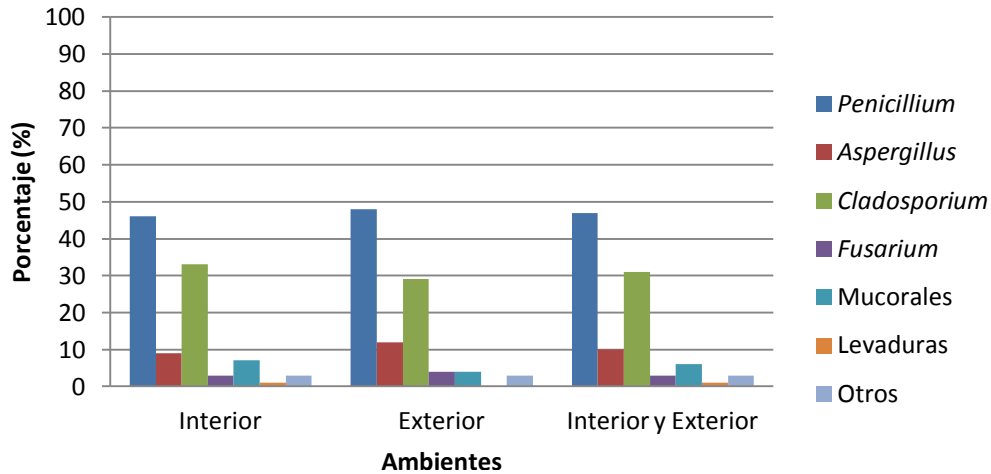
En la gráfica 5 se puede observar que el género predominante para los ambientes interior y exterior del *Index Seminum* a lo largo de los seis meses muestreados fue *Cladosporium* sp. con un 38%, seguido de *Penicillium* sp. con 34%, *Aspergillus* sp. con 16% y *Fusarium* sp. con 7%. En menor frecuencia se encontraron otros géneros como *Cladophialophora*, *Paecylomices*, *Scopulariopsis*, *Syncephalastrum* con un 3% y finalmente levaduras y mucorales con 1%, respectivamente.



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

En la gráfica 6 se aprecia que el género predominante para los ambientes interior y exterior en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG- durante los meses muestreados fue *Penicillium* sp. con 47%, seguido de *Cladosporium* sp. con 31%, *Aspergillus* sp. con 10% y mucorales con 6%. En menor frecuencia se encontraron *Fusarium* sp. y otros géneros como *Syncephalastrum* con un 3% cada uno y finalmente levaduras con 1%.

Gráfica 6. Porcentajes de géneros fúngicos en el USCG durante los meses muestreados (n=1200).



Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

D. Géneros fúngicos aislados

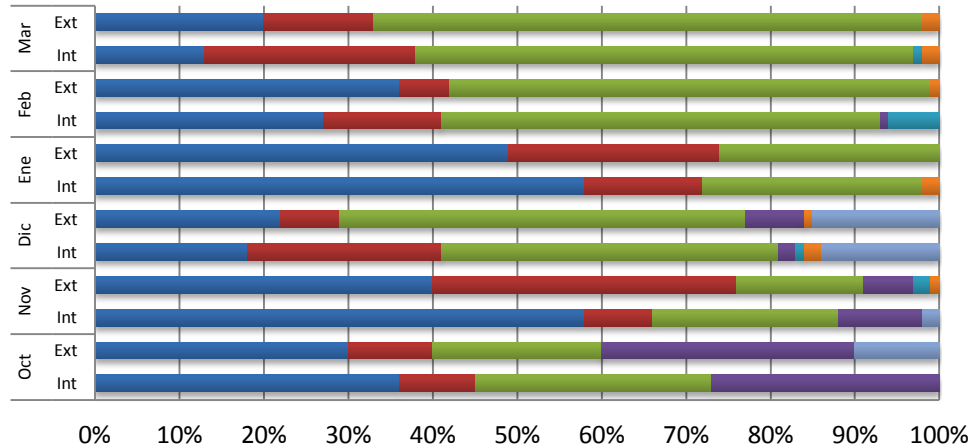
Se estableció el porcentaje de los géneros aislados en los ambientes interiores y exteriores de los dos centros seleccionados para el estudio, durante los seis meses muestreados.

En la gráfica 7 se observa que los géneros predominantes a lo largo de los meses muestreados fue *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp., en ambos ambientes del *Index Seminum*. Al analizar los resultados, se observa un patrón similar entre ambos ambientes. El patrón adoptado por los géneros caracterizados fue en diciembre, febrero y marzo con *Cladosporium* sp. En marzo presentó el mayor porcentaje con 59% y 65%, y en noviembre el menor porcentaje con 22% y 15% para los ambientes interior y exterior, respectivamente.

El segundo género de mayor frecuencia fue *Penicillium* sp. en octubre, noviembre y enero. En este último mes presentó el mayor porcentaje en el interior y exterior con 58% y 49%. Contrario a esto, en marzo presentó el menor porcentaje con 13% y 20%, respectivamente. De los géneros fúngicos restantes, los que presentaron la mayor carga fúngica en ambientes interiores y exteriores fueron: *Aspergillus* sp. (marzo con 25% y noviembre con 36%), *Fusarium* sp., (octubre con 27% y 30%).

Otros géneros como *Cladophialophora*, *Paecylomices*, *Scopulariopsis*, y *Syncephalastrum* se registraron en diciembre con 14% y 15% respectivamente para los ambientes interiores y exteriores. Finalmente, levaduras en marzo con 2% y mucorales en febrero con 6% y noviembre con 2%.

Gráfica 7. Porcentaje de los géneros fúngicos aislados en los ambientes interior y exterior del Index Seminum en los meses muestreados (n=1200).



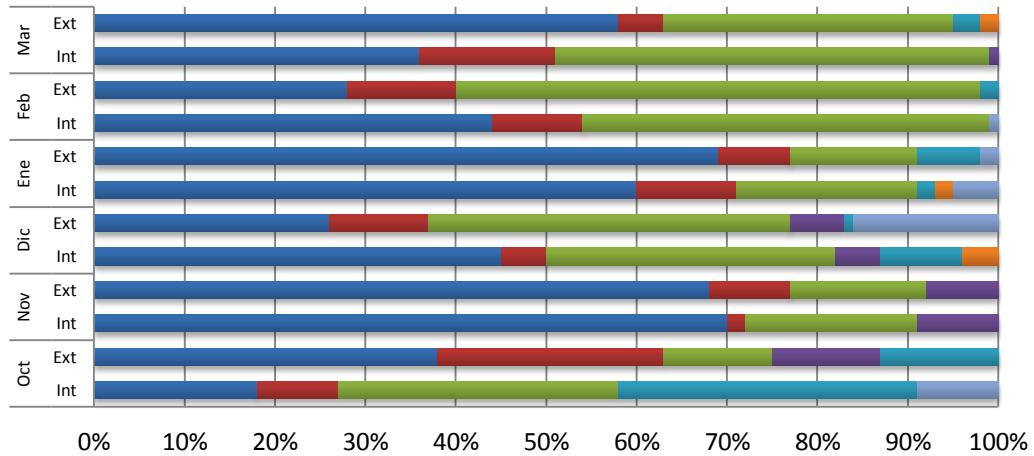
	Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar	
	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext
■ <i>Penicillium</i>	36	30	58	40	18	22	58	49	27	36	13	20
■ <i>Aspergillus</i>	9	10	8	36	23	7	14	25	14	6	25	13
■ <i>Cladosporium</i>	28	20	22	15	40	48	26	26	52	57	59	65
■ <i>Fusarium</i>	27	30	10	6	2	7	0	0	1	0	0	0
■ <i>Mucorales</i>	0	0	0	2	1	0	0	0	6	0	1	0
■ <i>Levaduras</i>	0	0	0	1	2	1	2	0	0	1	2	2
■ <i>Otros</i>	0	10	2	0	14	15	0	0	0	0	0	0

Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

En la gráfica 8, al analizar los resultados, se observa un patrón similar entre ambos ambientes que muestra que el género predominante en el Herbario de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USCG- fue *Penicillium* sp. en todos los meses muestreados a excepción diciembre y febrero, reportando el mayor porcentaje en noviembre con 70% y 68% para el interior y exterior, respectivamente. Al mismo tiempo, el menor porcentaje de este género en el interior fue en octubre con 18% y para el exterior fue en diciembre con 26%.

El segundo género de mayor frecuencia fue *Cladosporium* sp. en diciembre y febrero. Presentó en este último mes el mayor porcentaje en el interior y exterior con 45% y 58%, respectivamente. Contrario a esto, en noviembre se presentó el menor porcentaje en el interior con 19% y para el exterior en octubre con 12%. El tercer género de mayor porcentaje fue *Aspergillus* sp. con 15% en el interior en marzo y 25% en el exterior en octubre. Los mucorales presentaron una mayor frecuencia en los ambientes interior y exterior en octubre con 33% y 13%, respectivamente. En los géneros *Fusarium* sp. y otros como *Syncephalastrum* se observó la mayor frecuencia en octubre y diciembre, correspondientemente. Por último, las levaduras presentaron mayor predominancia en diciembre.

Gráfica 8. Porcentaje de los géneros fúngicos aislados en los ambientes interior y exterior del Herbario -USCG- en los meses muestreados (n=1200).



	Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar	
	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext
■ <i>Penicillium</i>	18	38	70	68	45	26	60	69	44	28	36	58
■ <i>Aspergillus</i>	9	25	2	9	5	11	11	8	10	12	15	5
■ <i>Cladosporium</i>	31	12	19	15	32	40	20	14	45	58	48	32
■ <i>Fusarium</i>	0	12	9	8	5	6	0	0	0	0	1	0
■ Mucorales	33	13	0	0	9	1	2	7	0	2	0	3
■ Levaduras	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	0	2
■ Otros	9	0	0	0	0	16	5	2	1	0	0	0

Fuente: datos experimentales durante los meses muestreados para el estudio.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Estudio intradiurno para determinar la mejor hora de muestreo

Al determinar la hora de máxima contaminación en los centros de investigación, se pudo observar en la gráfica 1 y 2 que la hora de mayor contaminación obtenida para el *Index Seminum* fueron las 9:30h en el ambiente interior y las 14:30h para el ambiente exterior. Al mismo tiempo, en las gráficas 3 y 4, para el Herbario USCG, la máxima contaminación se obtuvo en el interior a las 9:00h y en el exterior a las 14:00h.

En los resultados, se observó que en ambos lugares, los picos de máxima concentración de hongos en el interior se obtuvieron en horas de la mañana, presentando un patrón decreciente de cargas fúngicas y de la dispersión de los datos en las siguientes horas (gráfica 1 y 3), a excepción de la última medición donde hay un incremento; esta tendencia coincide con el inicio de labores en cada institución y por ende con el ingreso del personal, el cual acarrea la contaminación del aire exterior hacia el interior, promoviendo una alta concentración de esporas, lo cual se refleja en el incremento de la dispersión entre las mediciones, puesto que la suspensión de esporas inherentes a este movimiento provoca una fluctuación en los recuentos ya que a esta hora, la carga de contaminantes suspendida en el aire, es mucho más densa (Gallo, Valentín, Colaizzi, Sclocchi, Pasquariello, Scorrano, Maggi, & Persiana, 1996), lo cual se refleja con un incremento intercuartílico en la gráfica y así mismo muestra una mayor amplitud entre los límites inferior y superior de la medición, cabe mencionar que pese a este hecho no se encuentra ningún valor atípico, es decir, que ninguno de los datos de carga fúngica supera los valores entre 1.5 y 3 veces su rango intercuartílico. Además el personal de limpieza, realiza su trabajo en horas de la mañana, por lo cual, esto se adiciona a que la suspensión de esporas se incremente. Otros factores como las condiciones de microclimas, especialmente, de temperatura y humedad relativa, reducida ventilación, número de personas presentes, microbiota predominante en el aire exterior e incluso las condiciones del sitio, se adicionan a los antes mencionados (Shelton, Kirkland, Flanders & Morris, 2002), sumado a esto, las horas posteriores a la hora de mayor carga fúngica presentan valores de tendencias centrales cercanos unos con otros, lo que coincide con la disminución del ingreso del personal y la menor dispersión entre los datos de las mediciones (gráfica 1 y 3) siendo éstas las razones principales de la mayor contaminación fúngica, en horas matutinas.

Referente a las horas de máxima contaminación en el exterior, éstas ocurrieron en horas de la

tarde, específicamente a las 14:30h para el *Index Seminum* (gráfica 2) y las 14:00h para el Herbario USCG (gráfica 4). Tales resultados coinciden con el hecho de que el personal regresa a laborar luego del almuerzo, con lo cual nuevamente la contaminación es acarreada (Gallo y otros, 1996), tal como se observa, la mayor dispersión entre los datos se presentaron en estas horas, concordando de nuevo con el movimiento realizado por el personal, hecho que se sustenta con la tendencia de las medias al presentar una curva de campana invertida (gráfica 2 y 4). Dado que en ambos centros se manejan especímenes vegetales y a estos se encuentra adheridos hongos saprófitos, la suspensión de esporas nuevamente se ve favorecida a causa de la manipulación por el almacenamiento de los ejemplares (Rojas y otros, 2002).

B. Carga fúngica y humedad relativa

Como se presenta en el cuadro 1 para el *Index Seminum*, se observa que la contaminación fúngica, incrementa a medida que el porcentaje de humedad relativa (HR) se eleva y de la misma manera, ésta disminuye cuando la HR desciende, lo cual concuerda con lo expuesto por Michalsky en el 2009, quien demostró que los niveles de crecimiento fúngico presentaban una relación directamente proporcional al incremento de la humedad relativa. Los valores observados en febrero para ambos ambientes, representan los niveles máximos de contaminación fúngica, los cuales pueden relacionarse con las condiciones climáticas presentadas en este mes, ya que según Maynard y otros en 2004, la concentración fúngica en los ambientes se encuentra afectada por las condiciones meteorológicas y dado que según el reporte mensual del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, febrero inició con alta humedad y lluvias, además de una baja temperatura. Se deduce que estas condiciones promovieron la suspensión de esporas en el ambiente.

En el año 2009, Sánchez, L. y Gómez, M., evaluaron los distintos parámetros físicos que podrían afectar la carga micológica, donde correlacionaron las UFC/m³ promedio con los parámetros como la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, se encontró que ésta última, fue la que ejerció una mayor influencia en el crecimiento de las esporas fúngicas. Con base a lo publicado por ambas autoras, en el cuadro 1 y 2 se presentan los valores de carga fúngica (UFC/m³) relacionados con el porcentaje de humedad relativa obtenida en los ambientes interiores y exteriores, a lo largo de los seis meses muestreados para los centros de interés en el estudio.

Para ambos ambientes, la menor carga fúngica fue en noviembre, donde se registró poca nubosidad, la cual impidió un descenso en la temperatura, y por ende se mantuvo una baja HR, además de presentar un aumento en la velocidad del viento, el cual impidió la deposición de esporas fúngicas (INSIVUMEH, 2012).

En el cuadro 2 para el Herbario USCG, la mayor carga fúngica, cursó en paralelo con la mayor humedad relativa registrada durante los seis meses de muestreo. Contrario a esto, los menores niveles de esporas fúngicas, concuerdan con el porcentaje de menor humedad relativa registrada. Además, se puede observar que en noviembre se presentó el mayor nivel de carga fúngica para el ambiente interior, coincidiendo con la mayor HR registrada en los muestreos mensuales. Esto podría justificar a que durante este mes, se llevó a cabo una limpieza general y exhaustiva, previo al cierre por el fin de año, con lo cual el polvo generado incrementó la dispersión de esporas pues según Chew, Douwes y Doekes en el 2001, éstas constituyen el elemento mayoritario del polvo.

Al mismo tiempo, diciembre y febrero reflejaron los menores niveles de contaminación fúngica. El primero en mención podría atribuirse al cese de actividades laborales y en caso de febrero, debido a que los equipos de aire acondicionado y deshumidificadores, mantuvieron una temperatura y humedad a niveles constantes. Esto se adiciona a la favorable infraestructura que ofrece el lugar, ya que el ambiente cerrado que presenta, la circulación del aire puede ser fácilmente controlada y es por esta razón, que de forma general, los niveles de UFC/m³ reportados en el interior se mantuvieron relativamente bajos.

En cuanto al ambiente exterior, en febrero se observaron los niveles más altos de carga fúngica, esto debido a que como se ha mencionado, las condiciones meteorológicas fueron las ideales para el desarrollo y propagación de las esporas en el ambiente. A esto puede sumarse, que el movimiento vehicular ha incrementado desde el mes de enero a causa de que las actividades laborales y estudiantiles han iniciado en escuelas, colegios y universidades. En octubre se reportó el nivel más bajo en el recuento aeromicológico, esto pudo justificarse debido a que el flujo vehicular disminuyó a favor del cese de actividades académicas en la mayoría de los centros educativos y del alza al combustible presentado a mediados de este mes (Siglo XXI, 2011), lo cual permitió un menor emisión y dispersión de contaminantes ambientales.

Finalmente, la concentración local de los contaminantes fúngicos en el aire, depende de factores como humedad relativa, temperatura, factores de limpieza y magnitud de las fuentes de dispersión para las esporas fúngicas. Con base a lo expuesto, se puede observar en el cuadro 1 y 2 los niveles de carga fúngica observados en el interior del *Index Seminum* presentan una mayor concentración en comparación a su ambiente exterior durante los seis meses muestreados (cuadro 1), contrario a lo sucedido en el Herbario USCG, donde durante todos los meses de muestreo, los niveles de carga aeromicológica son mayores en el ambiente exterior que en el interior (cuadro 2). Estos resultados pueden estar sujetos a los procesos que se llevan a cabo en dichos ambientes, pues tanto en el interior del *Index Seminum*, como en el exterior del Herbario USCG se llevan a cabo procesos de herborización, clasificación y manipulación de especímenes, lo cual según lo reportado por Zubiria en el 2004, muchos hongos crecen en hojas, semillas y suelo, lo que incrementa las concentraciones fúngicas cuando se manipulan este tipo de ejemplares.

En este mismo contexto, puede hacerse énfasis en que para países de clima tropical, como lo es Guatemala, los niveles de esporas en los ambientes interiores se encuentran comúnmente en concentraciones de 1000 UFC/m³ (Rojas, Martínez, Gómez y Alvarado, 2002). Tomando en cuenta dicho parámetro, el *Index Seminum* presentó niveles que sobrepasaron tal concentración a lo largo de los seis meses, a excepción de noviembre (630 UFC/ m³). Contrario a esto, en el interior del Herbario USCG, la concentración de esporas, fue mucho menor a este parámetro a lo largo del muestreo (cuadro 2).

C. Géneros fúngicas de los ambientes interiores y exteriores

En el *Index Seminum* (gráfica 5), los géneros que predominaron en los sitios muestreados coinciden con los hongos de interior más comúnmente encontrados por otros autores (Herrero y otros, 1996; Icenhour y Levetin, 1997; Levetin y Shaughnessy, 1997; Garret, Hooper, Cole, & Hooper, 1997; Rosas, McCartney, Payne, Calderón, Lacey & Chapela, 1997; Infante, Castro, Domínguez, Guardia, Méndez, Sabariego,... Vega, 1999; Calderón y otros, 2002; Griffin, 2004 y Awad, 2005).

Sin embargo, este estudio demuestra que el ambiente exterior, mantiene la misma tendencia en el orden de los géneros reportados en el interior, respaldándose con lo publicado por Sanfeliu y

Jodán en el 2005, quienes describen que el ambiente interior se ve fuertemente influenciado por las condiciones externas, ya que éstas ofrecen un aporte continuo de sustrato, sumado a la ubicación (rodeado por el Jardín Botánico) y condiciones de infraestructura (puertas y ventanas continuas al Jardín Botánico) encontradas en este lugar (Anexo 1), donde existe un entorno con vegetación arbustiva y arbórea que contribuyen con el aumento de polvo y humedad en el interior.

Por el contrario, como se muestra en la gráfica 6, el Herbario USCG, muestra que el género predominante es *Penicillium* sp., seguido por *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., mucorales, *Fusarium* sp., *Syncephalastrum* y finalmente levaduras. Tal orden pudo verse influenciado directamente por las condiciones de infraestructura y ubicación de este sitio, ya que como se muestra en el Anexo 2, los ambientes exteriores no se encuentran completamente expuestos a la vegetación del Jardín Botánico. Sin embargo, dado que en este centro se manejan especímenes vegetales, existe la posibilidad de que el género *Penicillium* sp. estuviera adherido a las hojas de las plantas, tal como lo publicado por Rojas y otros en el 2010. Además, cabe resaltar que existe información donde se reporta que dado el estilo de vida saprófito de este hongo, se ve asociado a la descomposición de plantas y materia orgánica (del Olmo, 2006).

D. Caracterización de géneros fúngicos

En el *Index Seminum* (gráfica 7), se encontró una distribución de taxa similar en ambos ambientes. Entre los géneros que predominaron a lo largo de los meses muestreados, se encuentran *Cladosporium* sp. y *Aspergillus*, sp., quienes son comunes en ambientes secos, donde sus esporas, al aumentar la temperatura, sufren desecación y con esto pueden ser dispersadas con facilidad y dado que el mes con mayor porcentaje de aislamientos para estos géneros fue marzo, coincide con el inicio de la temporada de verano (Icenhour y Leventin, 1997).

Aspergillus sp., se encontró en marzo y noviembre, este género presentó una alta frecuencia en el aire exterior, concordando con lo expuesto por Calderón, Ward, Freeman & McCartney en 2002, quienes reportaron que la presencia de este hongo, forma parte común de la carga micológica en época seca y fría. En cuanto a *Penicillium* sp., a diferencia de los géneros anteriores, este mostró el más alto porcentaje en enero, en ambos ambientes. Las esporas de este hongo mitospórico (hongos del que no se conoce su ciclo de reproducción sexual), son más abundantes en época fría

(Calderón y otros, 2002), y debido a su saprofitismo, ha sido reportado como contaminante común en la mayoría de sustratos (Arenas, 2003, p.322).

Entre los géneros de menor frecuencia, figura el género *Fusarium* sp. Según Lacey en 1997, este género no compite bien con las especies de *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. que fueron dominantes a lo largo de todo el estudio y por ese motivo fue la baja frecuencia en los aislamientos. Tal como lo describe Dopazo, Hervés y Aira en el 2001, la distribución de *Fusarium* sp. es mucho más dispersa en comparación con otros géneros, encontrando picos de importancia de agosto hasta octubre. Este último, coincide como el mes de mayor porcentaje reportado para este género.

Otros hongos de menor frecuencia aislados como *Cladophialophora*, *Paecylomices*, *Scopulariopsis*, y *Syncephalastrum*, han sido reportados por otros autores como Esquivel, Mangiaterra, Giusiano, & Sosa, en el 2003, donde se determinó que estos formaban parte común de las esporas fúngicas presentes en el ambiente.

Finalmente, en lo que respecta a las levaduras caracterizadas en este estudio, a pesar de su baja frecuencia, no fueron menos importantes que el resto de géneros, ya que son consideradas contaminantes ambientales de fácil propagación aérea principalmente en verano (Hoheisel, Lange, Winkler, Rodloff, Liebert, Niederwier,... Engelmenn, 2003; Álvarez, Quirce, Calleja, Cuevas & Lozada, 1998), lo cual coincide con el mes con el máximo pico (marzo).

Entre las especies identificadas se encuentran *Prototheca wickerhamii*, *Candida famata* y *Cryptococcus humicola*, su presencia puede estar relacionada con la alta concentración de hongos microscópicos que se encontraron suspendidos en el aire de ambos ambientes, además de la extensa vegetación que rodea al *Index Seminum* (Flanninga, 1992). En cuanto a los mucorales, el género aislado fue *Rhizopus* sp. Este tiene importancia debido a que presenta gran cantidad de representantes saprófitos, además se encuentran con frecuencia en suelos con arena, polvo, pulpa de madera, nidos, plumas de aves, diferentes frutos y semillas (Pontón y Cabañes, 2002). Este último sustrato es la materia prima con la que trabaja el *Index Seminum*. Cabe resaltar que las esporas de estos hongos no son abundantes en el aire libre. Esto concuerda ya que es el género de menor frecuencia en este estudio.

En contraparte, la gráfica 8 muestra los aislamientos obtenidos a lo largo de los meses muestreados en ambos ambientes del Herbario USCG. El más frecuente fue el género *Penicillium* sp., que como se mencionó anteriormente, es un género mitospórico, el cual maneja sus mayores niveles en temporada fría, encajando para este estudio con el inicio de la temporada de lluvias de noviembre.

Seguidamente, se reporta al género *Cladosporium* sp., este género se ve favorecido por las condiciones secas del ambiente, sin embargo, los conidios de este hongo mitospórico, también han sido reportado en época fría, según lo publicado por Calderón y otros en 2002, lo que concuerda con los recuentos máximos obtenidos en diciembre y febrero.

Respecto al género *Aspergillus* sp., se puede mencionar que únicamente mantuvo sus picos máximos en los meses con un registro de temperatura mayor como fue en octubre y marzo, con lo que nuevamente se puede resaltar la preferencia de este género, a los climas considerados como cálidos.

A diferencia del *Index Seminum*, en el Herbario USCG, entre los géneros de menor frecuencia se citan a los mucorales, que presentaron un mayor porcentaje de aislamientos, de estos *Mucor* sp. fue dominante, esto pudo deberse a que es un hongo saprófito el cual coloniza gran cantidad de sustratos, principalmente en los ambientes interiores, ya que posee gran adaptación ecológica gracias a factores como aire acondicionado y ausencia de limpieza. El Herbario USCG, dadas sus condiciones estructurales, ofrece un espacio idóneo para este género.

Al mismo tiempo, *Fusarium* sp. y otros géneros como *Syncephalastrum racemosum*, se aislaron en una misma proporción, donde el primero presentó un óptimo desarrollo a bajas temperatura por pertenecer al grupo de hongos psicrófilos, se considera que esta es la principal razón de su desarrollo en los meses de octubre y diciembre (Herrero, Blanco, González & Barrera, 1996). En cuanto a las levaduras aisladas, se pueden mencionar las especies de *Rhodotorula minuta* y *R. mucilaginosa*, las cuales se destacan en la microbiota de aire y también de superficies afectadas por mohos (Flanninga, 1992).

Por otro lado, ante los hallazgos expuestos en esta investigación, se puede mencionar que también existieron considerables limitaciones, principalmente en cuanto al proceso de

caracterización de las distintas especies fúngicas, pues dentro de un mismo género existe una amplia diversidad de especies, por lo cual su caracterización se encuentra sujeta muchas veces a técnicas bioquímicas o moleculares de las cuales por falta de recursos no se pudo contar. Otro factor limitante fue la variabilidad climática presentada a lo largo de los meses de investigación, lo cual repercutió considerablemente en los parámetros de humedad y temperatura de los ambientes muestreados, lo que dificultó clara definición de estaciones húmedas y secas.

Por lo anterior, esta investigación deja las bases cimentadas para la planeación y desarrollo de estudios e investigaciones donde se relacione la carga fúngica en espacios ocupacionales y su efecto en la salud del personal expuesto; ya que de esta forma se puede dar inicio a la creación de una normativa específica para Guatemala en cuanto a la salud en ambientes ocupacionales.

X. CONCLUSIONES

1. Existe contaminación del aire en los puntos muestreados del interior y exterior del Herbario USCG debido a la detección de hongos microscópicos, obteniendo resultados que sobrepasan las 200 UFC/m³, lo que puede conllevar al deterioro gradual de los especímenes.
2. Se determinó contaminación fúngica en interior y exterior del *Index Seminum* con valores que sobrepasan las 200 UFC/m³, lo que puede generar el deterioro gradual de los especímenes.
3. Los géneros contaminantes de mayor presencia con fines de investigación, determinados durante el periodo de muestreo son: *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., los cuales coinciden con los principales géneros documentados como responsables del deterioro de especímenes biológicos.
4. El género contaminante de mayor presencia en ambos ambientes de los puntos de muestreo en el *Index Seminum* fue *Cladosporium* sp., el cual puede ser el causante de daños a los especímenes almacenados.
5. El contaminante con mayor presencia en los ambientes de los sitios de muestreo del Herbario USCG corresponde a *Penicillium* sp., el cual es un agente biodeteriorante que puede contribuir al daño de las colecciones.

XI. RECOMENDACIONES

- 1.** Realizar un esfuerzo multidisciplinario entre directivos y el personal que labora en dichos locales para minimizar la contaminación por hongos microscópicos en el aire, con el fin de prevenir el biodeterioro de los especímenes que se resguardan en las colecciones de interés científico y cultural.
- 2.** Implementar monitoreos periódicos de la calidad del aire, a fin de asegurar la conservación y prolongación de la vida útil de los especímenes, en los centros de interés científico.
- 3.** Realizar otros estudios aeromicológicos en los diferentes sitios de interés científico, a fin de establecer los parámetros de carga fúngica en estos centros.
- 4.** Gestionar en todas las instituciones que se dediquen a la preservación de especímenes botánicos y que cuenten con ambientes cerrados, un sistema de aire acondicionado con deshumidificadores, a fin de prevenir y disminuir el desarrollo de esporas fúngica en el interior.
- 5.** Incorporar estándares de limpieza y controles de temperatura y humedad en el interior de los lugares que alberguen colecciones botánicas de importancia científica.

XII. REFERENCIAS

Almaguer, M., Rojas, T. I. y Hernández, A. (2008). Perspectivas de los estudios aeromicológicos para la protección del cultivo del arroz. La Habana, Cuba. Revista de Protección Vegetal. 23(3). pp. 137-143.

Álvarez, E. (2002). Diversidad filogenética del hongo mucoral emergente Apophysomyces: propuesta de tres nuevas especies. España. Revista Iberoamericana de Micología. 18(1). p. 34.

Álvarez, J., Quirce, S., Calleja, J., Cuevas, M. & Lozada, E. (1998). Hypersensitivity pneumonitis due to an ultrasonic humidifier Allergy, Journal medical. 53(4). 210-212.

Arenas, R. (2008). Micología médica ilustrada. México. Editorial Mc-Graw Hill.

Awad, A. (2005). Vegetation: A source of air fungal bio-contaminant. Aerobiología 21(2), 53-61.

Barnett, H. y Hunter, B. (1987). Illustrated genera of imperfect fungi. Estados Unidos. Editorial Burgess Publishing.

Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). Operación de alimentos por bajas temperaturas. Venezuela. Editorial Equinoccio.

Berenguer, M. J. (1991). Síndrome del edificio enfermo: Factores de riesgo. Madrid. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Calderón, C., Ward, E., Freeman, J. & McCartney, A. (2002). Detection of airborne fungal spores sampled by rotating-arm and hirst-type spore traps using polymerase chain reaction assay. Aerosol Sci. 33, 283-296.

Carrillo, L. (2003). Microbiología Agrícola: Los hongos de los alimentos y forrajes. Argentina. Editorial (n. s.).

Chew G., Douwes, J. y Doekes, G. (2001). Fungal extracellular polysaccharides, beta 1,3-glucans and culturable fungi in repeated sampling of house dust. Estados Unidos. Revista Indoor air. 22(11). p. 171.

Del Olmo, M. (2006). Diversidad de hongos endófitos en *Brosimum alicastrum* Swartz (Moraceae) y *Hampea trilobata* Stanley (Malvaceae) en la reserva de la biosfera de Kalakmul, Campeche. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Dopazo, A., Hervés, M. y Aira J. (2001). Concentración de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium* y *Fusarium*, en el ambiente de Santiago de Compostela (1996). Botánica Complutensis. 25(2). 83-91.

Esquivel, P., Mangiaterra, M., Giusiano, G. & Sosa, M. (2003). Anemophilous microfungi in outdoor environments of two cities in Argentinian Northeastern. Boletín Micológico, 18(4). 25-27.

Flannigan, B. (1992). Chemical, microbiological, health and comfort aspects of indoor. Estados Unidos. Editorial SBS.

Gallo, F., Valentín, P., Colaizzi, P., Sclocchi, M.C., Pasquariello, G., Scorrano, M., Maggi, O. & Persiana, A.M. (1996). Research on the viability of fungal spores in relation to different microclimates and materials. Roma, Italia. Internation Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials.

Garrett, H., Hooper, M., Cole, M. & Hooper, A. (1997). Airborne fungal spores in 80 homes in the Latrobe Valley, Australia; level seasonality and indoor-outdoor relationship. Aerobiología 13(4), 121-126.

Gini, G., Cano, F., García, M., Bran, M. y Herrera, K. (2009). Manual de prácticas microbiología general. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

González, A., Mateo, P. y González, D. (2003). Manual para la prevención de riesgos laborales en las oficinas. España. Editorial FC.

Griffin, W. (2004). Terrestrial microorganisms at an altitude of 20000 m in Earth's atmosphere. *Aerobiología* 20(8), 135-140.

Guardino, X., Berenguer, M. J. y Hernández, A. (1994). Centro nacional de condiciones de trabajo instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, guía para su evaluación. Madrid. Editorial OIT.

Herrera, J. L. (2007). Informe Ambiental de Guatemala y Bases para la Evaluación Sistemática del Estado del Ambiente 2002-2005. Guatemala. Editorial TUV.

Herrera, K., Cobar, O., De León, J., Jiménez, E., Rodas, A., Gudiel, H., Boburg, S. (2008). Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. CONCYT. Guatemala.

Herrero, B., Blanco, M., González, D. & Barrera, R. (1996). Aerobiological study of fungal spores from Palencia. España. *Aerobiología*. 12(1), 27-35.

Hoheisel, G., Lange, S., Winkler, J., Rodloff, A., Liebert, U., Niederwier, D,... Engelmenn, L. (2003). Nosocomial pneumonias in hematological malignancies in the medical intensive care unit. *Jornal medical*. 57(5). 73-77.

Icenhour, C. & Levetin, E. (1997). *Pinicillium* and *Aspergillus* species in the habitats of allergy patients in the Tulsa. Oklahoma area. *Aerobología* 13, 161-166.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-. (2012). Boletín Meteorológico Mensual. Recuperado de http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos_mensuales3.html

Infante, F., Castro, A., Domínguez, E., Guardia, A., Méndez, J., Sabariego, S.,... Vega, A. (1999). A comparative study of the incidence of *Cladosporium* conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Aerobología* 10 (3), 17-25.

Lacey, J. (1981). Biology of conidial fungi. *Journal of Applied Bacteriology*. 1(37), 22-24.

Levetin, E. y Shaughnessy, R. (1997). *Myrothecium*: a new indoor contaminant? *Aerobiología* 13, 227-234.

Madigan, M. T., Martinko, J. M. y Parker, J. (2004). *Brock, Biología de los microorganismos*. Madrid, España. Editorial Pearson Prentice Hall.

Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. España. Editorial Reverté.

Marroquín, M. A. (2011). Determinación de la carga fúngica suspendida en aire, y su relación con el padecimiento de alergias en el personal de 3 Laboratorios Microbiológicos: -LAMIR- Laboratorio Microbiológico de referencia, -LAFYM- Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico y – AMSA - autoridad en el manejo sustentable del lago de Amatitlán. USAC. Guatemala.

Maynard, R., Lippman, M., Seifert, B., Murray, F., Ackermann, U., Aggarwal, A.,... Younes, M. (2004). *Guías para la Calidad del Aire*, OMS. Lima, Perú. Editorial Los Pinos.

Merck®, (s. f.). *Manual operativo MAS - 100 Eco*. Brussels.

Michalski, S. (2009). *Temperatura Incorrecta*. *Revista Canadian Conservation Institute*. 23 (3). 4

NRP 201. (1987). *Análisis higiénico sanitario y ambiental. Método de ensayos microbiológicos*. La Habana, Cuba. p. 100.

Oliva, P. (2008). *Calidad del Aire en Guatemala. Compilación de la Información Existente*. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Peña, C., Shamun, V., Lucana, C., Miranda, M. y Giménez A. (1998). *Aislamiento, identificación y perfil biológico de especies fúngicas*. Bolivia. Volumen 6.

Pontón, J. y Cabañes F. (2000). *Aspergillus* y aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de micología*, 17(3). 77,78.

Pöschl, U. (2009). El cielo está lleno de hongos. Recuperado de http://www.mpg.de/571443/pressemitteilung200907101?filter_order=L

Programa de las naciones unidas para el medio ambiente. (1999) Manual de legislación ambiental de Guatemala. Con la colaboración del instituto de derecho ambiental y Desarrollo sustentable (IDEADS). Recuperado de <http://www.pnuma.org/deramb/bases/guatem1.pdf>

Reponen, T., Nevalainen A., Jantunen, N., Pellikka M. y Kalliokoski, P. (1992). Normal range criteria for indoor air bacterial and fungal spores in a subarctic climate. Estados Unidos. Revista Indoor air 22(3). pp. 26-31.

Reseña Histórica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.usac.edu.gt/catalogo/quimicayfarmacia.pdf>

Rey, J. y Velasco. E. (2007). Calidad de ambientes interiores. España. Editorial Thomson.

Rojas, T., Martínez, E., Gómez, Y. y Alvarado, Y. (2002). Airborne spores of *Aspergillus* species in cultural institutions. Revista Habana University. 41(4). 190-193

Rosas, I., McCartney, A., Payne, R., Calderón, C., Lacey, J. & Chapela, R. (1998). Analysis of the relationships between environmental factors (aeroallergens, air pollution, and weather) and asthma emergency admissions to hospital in México City. Revista Allergy 53(6), 394-401.

Sabariego, S., Díaz, C. y Alba F. (2004). Estudio aerobiológico de los conidios de *Alternaria* y *Cladosporium* en la atmósfera de la ciudad de Almería. España. Revista Iberoamericana de Micología. 21(1). pp. 121-127.

Sánchez, L. y Gómez, M. (2009). Estudio descriptivo para la identificación de Hongos aerotransportados y su relación con variables ambientales en el sector de San Cristóbal Norte. Revista El Astrolabio, 20(5). 7,8.

Sanfeliu, M., Jordán, A. (2005). Contaminación y Medio ambiente. Santiago de Chile. Editorial Publicacions de la Universitat Jaume.

Shelton, B., Kirkland, H., Flanders, W. & Morris, G. (2002). Profiles of Airborne Fungi in Buildings and Outdoor Environments in the United States, *Revista Environmental Microbiology*. 68(4). 1743, 1753.

Siglo XXI. (2011). Alza en gasolina disminuye el tráfico. Guatemala. Recuperado de <http://www.s21.com.gt/node/32152>

Solís, E. (2011). Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores del laboratorio de investigación en productos naturales ubicado en el edificio T-10 en la ciudad universitaria en zona 12 y el laboratorio ubicado en zona 1 del centro de información y asesoría toxicológica del departamento de toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. USAC. Guatemala.

Szczupak, M. (2011). ¿Qué es *Mucor*? Recuperado de <http://lular.es/a/ciencia/2011/09/Que-es-Mucor.html>

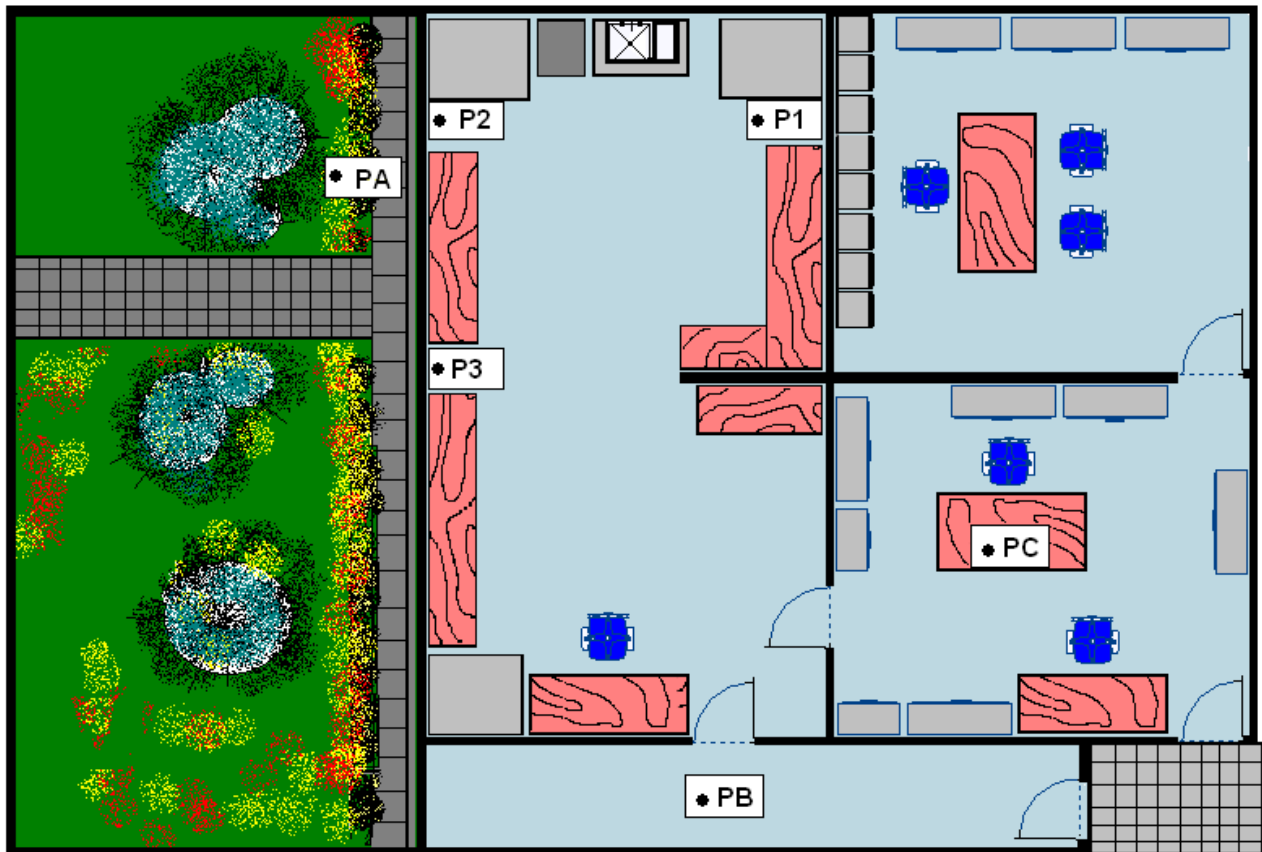
Universidad Nacional de Córdoba. (2008). Cuestiones ambientales en la ciudad de Córdoba. Argentina.

Yang, C. y Heinsohn, P. (2007). Sampling and analysis of airborne microorganisms. Estados Unidos. Wiley-Interscience.

Zubiría, E., Zubiría, E. y Zubiría, A. (2004). Asma Bronquial. Bogotá, Colombia. Editorial Panamericana.

XIII. ANEXOS

1. Diseño y distribución de puntos de muestreo del *Index Seminum*



PA, PB y PC = Puntos exteriores; P1, P2 Y P3 = Puntos interiores.

1.1 Descripción estructural

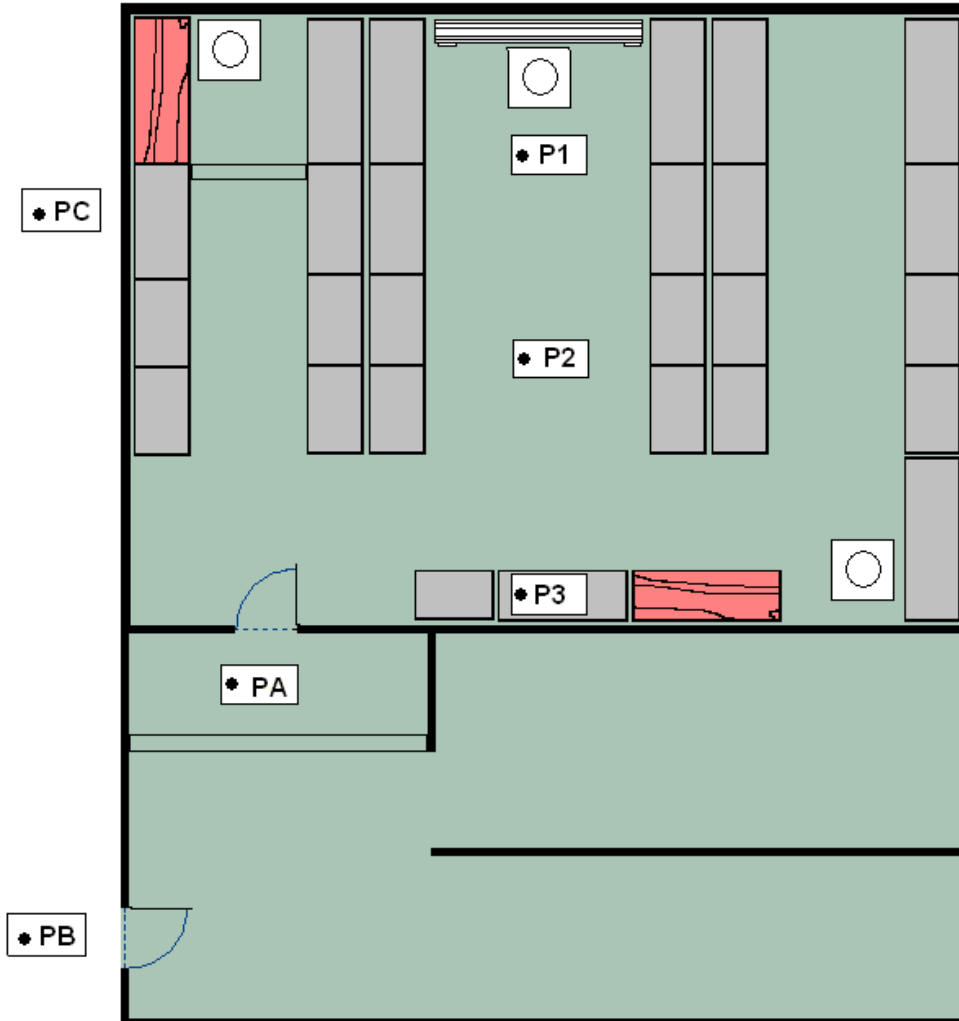
Las instalaciones del local encuentran rodeadas por dos caminos rústicos pavimentados que anexan con el Jardín Botánico. Al ingresar al local la superficie del suelo es de cemento liso, cuenta con cinco paredes de concreto con ventanas de apertura en bisagra, el techo del interior del recinto es de cielo falso, constituido por paneles de tablayeso, además de contar dos divisiones parciales con tabiques de madera, en cuanto a la accesibilidad del local, este posee dos entradas principales con puertas de metal.

1.2 Mobiliario y equipo

El área laboral cuenta con tres mesas de madera donde las semillas son limpiadas y clasificadas, en el fondo de esta área se encuentran dos estantes de madera donde se desecan las semillas, a su vez cuenta con un lavadero, un escritorio de madera, un

archivero de metal y una refrigeradora; el área administrativa se encuentra distribuida en dos oficinas en las cuales existen un total de diez archiveros de metal, tres escritorios de madera y dos estantes de biblioteca.

2. Diseño y distribución de puntos de muestreo del Herbario USCG



PA, PB y PC = Puntos exteriores; P1, P2 Y P3 = Puntos interiores.

2.1 Descripción estructural

El local cuenta con un piso de madera, cuatro paredes de concreto, no posee ventanas ni ninguna clase de entrada de luz natural, al fondo del recinto se encuentra ubicado un aire acondicionado de pared, el techo del interior se encuentra conformado por tablas de madera, la entrada principal es a través de una puertas de madera.

2.2 Mobiliario y equipo

En su interior se encuentran un total de veinticuatro armarios de metal distribuidos de manera longitudinal abarcando todo el inmueble, en los cuales se conservan los especímenes de interés, consta a su vez con un armario de madera en el cual se conservan reactivos químicos, una mesas de madera, y tres deshumidificadores repartidos en distintos puntos del local.