


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the Universidad de San Carlos de Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure of a man in a cap and robe, surrounded by various symbols including a crown, a lion, a castle, and a horse. The Latin motto "CETERA SPERANTUR INTER CAELUM ET TERRAM" is inscribed around the perimeter.

Determinación y caracterización de la carga micológica en el aire interior y exterior del Herbario FARMAYA y en el anexo del Herbario BIGU de la escuela de Biología

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

PRESENTADO POR

Oscar David Fuentes Méndez

Cesar Augusto de León García

PARA OPTAR AL TÍTULO DE

QUÍMICOS BIÓLOGOS

Guatemala, Noviembre del 2015

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M. A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Br. Michael Javier Mó Leal	Vocal IV
Br. Blanqui Eunice Flores De León	Vocal V

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por guiar nuestros pasos, darnos sabiduría, perseverancia y permitir que lleguemos hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A NUESTROS PADRES

Por brindarnos su apoyo incondicional en cada etapa de nuestras vidas.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por ser nuestra casa de estudio e iniciarnos en el camino de la ciencia.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, EN ESPECIAL A LA ESCUELA DE QUÍMICA BIOLÓGICA

Por brindarnos los conocimientos para formarnos como profesionales.

A NUESTRA ASESORA

Dra. Karin Herrera, por el apoyo, la oportunidad y asesoría en el proyecto.

A NUESTRA CO- ASESORA

Licda. Wendy Chamalé, por sus conocimientos brindados, las sugerencias durante la asesoría del presente trabajo y por el tiempo dedicado al mismo.

A NUESTRO REVISOR

Lic. Osberth Morales, por compartir sus conocimientos y valiosa guía en la realización de la misma.

A LOS HERBARIOS BIGU y FARMAYA

Por brindarnos el espacio para la realización de la presente investigación.

Índice

I. Resumen	1
II. Ámbito de la Investigación	2
III. Antecedentes	
A. Contaminación del aire	3
1. Aire interior	3
2. Aire exterior	3
3. Principales fuentes de contaminación del aire	4
4. Contaminantes biológicos del aire	4
a. Virus	4
b. Bacterias	5
c. Hongos	5
B. Formas de dispersión de los hongos	5
C. Biodeterioro causado por hongos	6
D. Géneros fúngicos más frecuentes en el aire exterior e interior	8
E. Factores que influyen en la carga fúngica en el aire interior	14
1. Humedad relativa	14
2. Temperatura	15
3. Oxígeno	15
4. Radiación	15
F. Normativas existentes con respecto a la calidad del aire	
1. Normas de calidad del aire exterior	16
2. Normas de calidad del aire interior	17
G. Estudios realizados en países Europeos y de América	18
H. Velocidad de entrada de los contaminantes procedentes de fuentes exteriores.	20
I. Métodos para evaluar la calidad del aire interior y exterior	20
1. Equipos inerciales	21
a. Impactadores	21
b. Muestreador de rendija	21

c. Captador Andersen	22
d. Muestreadores multiorificio	22
e. Frascos borboteadores	23
2. Equipos de filtración	23
3. Otros	23
J. Técnica de sedimentación en placa	24
K. Ciudad de Guatemala	24
1. Geografía y meteorología	24
2. El aire en la ciudad de Guatemala	25
3. Legislación existente sobre la calidad del aire en Guatemala	26
4. Estudios previos de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala	27
L. Descripción de las áreas de estudio	28
1. Historia FARMAYA	29
2. Historia sección de Hongos BIGU	29
IV. Justificación	30
V. Objetivos	31
VI. V Hipótesis	32
VII. VI Material y Métodos	33
VIII. Resultados	40
IX. Discusión de Resultados	46
X. Conclusiones	51
XI. Recomendaciones	52
XII. VII Referencias	53
XIII. Anexos	61

I. RESUMEN

Se estudió el ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del anexo de herbario BIGU y la sección de farmacobotánica del laboratorio de investigación FARMAYA. La técnica empleada para el muestreo del aire interior y exterior de ambos locales fue por impactación volumétrica, utilizando el biolector Eco MAS-100, la cual consistió en exponer durante un minuto la caja petri conteniendo agar Sabouraud mas cloruro de sodio al 7.5 %.

Con el fin de determinar la hora de mayor contaminación se realizó un muestreo intradiurno de 6 horas para la sección de macrohongos del herbario BIGU y de 4 horas para la sección de farmacobotánica del laboratorio FARMAYA. La hora de mayor contaminación que se registró en el ambiente interior y exterior del BIGU fue a las 9.30 horas, mientras que la hora de mayor contaminación en el ambiente interior y exterior de FARMAYA fue a las 11.30 horas.

Posteriormente se realizaron muestreos periódicos durante seis meses en las horas mencionadas, la sección de macrohongos de herbario BIGU registró la mayor contaminación en ambos ambientes en el mes de diciembre, con un conteo de 1560 UFC/m³ en el interior, 1600 UFC/m³ en el exterior. Con respecto a la sección de farmacobotánica del laboratorio FARMAYA en el ambiente interior y exterior se registró la mayor contaminación en el mes de noviembre con una concentración de 4970 UFC/m³ y 4190 UFC/m³ respectivamente.

Las muestras fueron incubadas a una temperatura de 28 °C por 7 días, cumpliendo el período de crecimiento, se realizó la caracterización macroscópica y microscópica, logrando la identificación de cada género. El mayor aislamiento en ambos locales correspondió al género *Penicillium* sp. tanto en el ambiente interior como exterior seguido de *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y en menor frecuencia se encontró *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp. y algunas levaduras. Las cepas con mayor frecuencia de aparición, demuestran un peligro potencial para el biodeterioro de las colecciones de interés científico que se encuentran en estos locales según Herrera (2011).

II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación formó parte del proyecto FODECYT 28-2011 titulado “Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en algunos museos, herbarios y colecciones de interés científico en la ciudad de Guatemala”, el cual tuvo como objetivo principal evaluar la contaminación de ambientes interiores y exteriores en el área de macrohongos del anexo del Herbario de Biología de Guatemala BIGU, ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Escuela de Biología de la Universidad de San Carlos y en el área de Farmacobotánica del Laboratorio de Investigación FARMAYA, ubicado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala.

Lo anterior para determinar la concentración fúngica en museos, herbarios y colecciones científicas, que permitan establecer metodologías que integren de manera particular la preservación y manejo de las diferentes colecciones, ya que consisten en una diversidad de ejemplares de tal forma que se evite su deterioro.

La investigación abarcó un período de seis meses. Se realizó un muestreo mensual en los ambientes interiores y exteriores con el objetivo de cuantificar, identificar y caracterizar los hongos microscópicos aislados en el BIGU y FARMAYA en horas de mayor contaminación que se determinaron previamente y se determinó los géneros de hongos predominantes, a lo largo de los seis meses muestreados.

III. ANTECEDENTES

A. Contaminación del aire

La contaminación del aire es una de las formas principales en que puede ser degradado o afectado parte del ambiente por compuestos sólidos, líquidos, gases, polvo, polen así como esporas. Las esporas son metabólicamente menos activas y sobreviven mejor en la atmósfera porque soportan la desecación. Estas pueden ser producidas por hongos, algas, líquenes, algunos protozoos y bacterias que pueden estar suspendidos como partículas llamadas bioaerosoles, lo que origina un ambiente nocivo para la salud de humanos, animales y plantas (Martínez y Gómez, 2007).

1. Aire interior

El término aire interior suele aplicarse a ambientes internos no industriales como por ejemplo oficinas de edificios, edificios públicos (colegios, hospitales, museos, herbarios) y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, pero menores que las existentes en el medio ambiente industrial (Guardino, 2001).

2. Aire exterior

Es una mezcla de componentes naturales gaseosos, sólidos y líquidos que muchas veces va acompañado de componentes no naturales generados en las actividades industriales, como lo son los agentes contaminantes, por tal razón es importante conocer la calidad del aire exterior en un edificio (Guardino, 2001).

3. Principales fuentes de contaminación del aire

La presencia de contaminantes en el aire provienen de las fuentes naturales (polvo que contiene materias biológicas; esporas, polen y bacterias), fuentes agrícolas (insecticidas y herbicidas empleados en la agricultura), fuentes tecnológicas (procesos industriales de todo tipo, consumo industrial, doméstico de combustibles fósiles y vehículos de motor) y factores topográficos o meteorológicos (topografía del terreno, edificaciones existentes, vientos, lluvia,

presión barométrica, espacio de difusión que es el área sobre la que se mueven los contaminantes y la altura máxima a las que pueden llegar las corrientes de aire (Romero, Más, Lacasaña, Téllez, Aguilar y Romieu, 2004).

4. Contaminantes biológicos del aire

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por partículas en el aire que contienen organismos vivos o compuestos orgánicos volátiles que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar microorganismos (cultivables, contables y microorganismos muertos), toxinas y partículas como producto de los desechos de todo tipo cuyo origen es la materia viva (Hernández y Martí, 2003).

Los contaminantes biológicos como virus, bacterias y hongos dependen en gran medida de las condiciones del entorno que se encuentran para su supervivencia, reproducción y dispersión. Algunos de estos factores son la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz y las fuentes de alimento (Hernández y Martí, 2003).

a. Virus

Las diferentes enfermedades como la gripe, sarampión, meningitis y resfriados comunes están asociadas a virus y presentan síntomas bien definidos. Se desconoce el número de partículas necesarias que causan una infección en un individuo susceptible, pero la existencia de los síntomas demuestra que el virus estuvo presente. Algunas evidencias sugieren que un único virus es capaz de iniciar una infección. Por el momento no existen pruebas de que la exposición virus pueda causar intoxicaciones o sensibilizaciones (Guardino, 2001).

El hecho de que los virus sean parásitos obligados (necesitan de un ser vivo para su desarrollo) implica por lo tanto, que las personas son las que actúan como amplificadores y diseminadores. Factores tales como el aumento de la ocupación o una escasa renovación del aire pueden contribuir al aumento de la tasa de contagio (Guardino, 2001).

b. Bacterias

Por lo general, en ambientes en donde no se ha iniciado su desarrollo, las bacterias dominantes deberían ser las correspondientes a la microbiota bacteriana normal humana, es decir, bacterias gram positivo pertenecientes a los géneros *Micrococcus* y *Staphylococcus*. Las concentraciones elevadas en la piel y en las secreciones respiratorias de estas bacterias, indican que los niveles de ocupación son altos o que la renovación del aire es insuficiente (Guardino, 2001).

Si las bacterias dominantes encontradas en el ambiente son gram negativo, fermentadoras de glucosa y oxidasa negativo, indican la existencia de un foco de contaminación de origen gastrointestinal. Si las bacterias encontradas son gram negativo, oxidasa positivo y con colonias son de color amarillo, el foco de contaminación más probable son aguas estancadas y contaminadas (Guardino, 2001).

c. Hongos

Desde el punto de vista evolutivo, los hongos son organismos más desarrollados que las bacterias; son heterótrofos por lo que tienen que alimentarse de materia orgánica preformada que utilizan como fuente de energía y de carbono. Son eucariontes, es decir, presentan un núcleo diferenciado con membrana bien organizada, tienen una pared celular formada por polisacáridos, polipéptidos y quitina. La estructura fúngica consta de un complejo llamado talo o micelio que a su vez está constituido por múltiples filamentos o hifas (hifomicetos o mohos) o por estructuras unicelulares (blastomicetos) (Arenas, 2008).

B. Formas de dispersión de los hongos

Los hongos se dispersan por aire, agua, suelo, personas y animales. En su propagación por el aire, el aerosol atmosférico cumple un papel importante ya que posee un gran número de partículas de diferentes orígenes, formas y tamaños que se encuentran suspendidas en el aire (Mandrioli, 2002).

Dentro de las partículas biológicas que son transportadas por el aire y que eventualmente se asientan en el polvo se encuentran las esporas fúngicas

(Mandrioli, 2002). De hecho, pueden ser arrastrados hacia el aire interior de locales por la ventilación y por los visitantes (Nevalainen & Morawska, 2009). La colonización y el crecimiento sobre la superficie de objetos que se encuentran en el ambiente interior, también puede ser una importante fuente de contaminación del aire interior (Cappitelli, et al., 2007).

Las esporas de los hongos presentes en el polvo son elementos de daño potencial que se convierte en daño real cuando las condiciones microclimáticas y el porcentaje relativo de agua o ambos, exceden los niveles de riesgo lo que les permite germinar (Florian, 2004).

C. Biodeterioro causado por hongos

El biodeterioro es un proceso complejo y de difícil solución, ocasionado por agentes biológicos que provocan alteraciones de diversa naturaleza en objetos y colecciones de valor cultural, lo que hace necesaria la aplicación de tratamientos drásticos para su eliminación y control (Vaillant, 2013).

En las colecciones biológicas se considera como cualquier cambio indeseable en las propiedades de los materiales que afectan las características de los ejemplares. Todos los materiales que componen los objetos presentan un deterioro o envejecimiento natural; con el paso del tiempo los ejemplares y todos los materiales están sometidos a procesos de deterioro de naturaleza física, química y biológica (Vaillant, 2013).

Los hongos filamentosos pueden colonizar los materiales de naturaleza orgánica e inorgánica y desempeñan un papel muy activo en los procesos de biodeterioro. Como resultado de los productos que excretan se producen manchas de diferentes tonalidades (Michaelsen, Piñar y Pinzari, 2010). Entre los productos de excreción se reconocen enzimas como las celulasas o diferentes tipos de proteasas y ácidos orgánicos (oxálico, fumárico, acético, láctico, glucónico, glucurónico), los que se depositan sobre el soporte y modifican las propiedades químicas, lo que ocasiona deterioro (Gutarowska, Skora, Zduniak & Rembisz, 2012).

La actividad de colonización de las diferentes especies de hongos filamentosos se ve favorecida por varios factores que incluyen: la humedad relativa, las fluctuaciones de la temperatura, la luz, la naturaleza de los nutrientes del soporte, el contenido de humedad del mismo, la propiedad física de la superficie del objeto, el pH, el mecanismo de absorción, la presencia de polvo, el movimiento del aire ambiental, las concentraciones de oxígeno y el dióxido de carbono en la atmósfera (Valentín, 2010). Otros factores de importancia que incrementan el deterioro de diferentes colecciones son el manejo inadecuado durante la manipulación, el mantenimiento, las actividades de almacenamiento, exhibición, embalaje y transporte (Pérez, et al., 1998).

El contenido de humedad en un material es un factor importante en la germinación de las esporas fúngicas, ya que determina la cantidad de agua presente para su crecimiento (Pinzari, Pasquariello y de Mico, 2006). Los hongos comienzan su desarrollo en función del contenido de humedad sobre la superficie de un soporte. Asimismo, ha de tenerse en cuenta que los hongos durante su desarrollo producen agua metabólica, la cual incrementa el contenido en humedad del material lo que favorece la multiplicación celular (Cappitelli, et al., 2007).

Giraldo, Torres y Díaz, (2009) realizaron un estudio para aislar los hongos presentes en los libros con signos de biodeterioro y en el ambiente de la Biblioteca Central de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Se aislaron un total de 409 unidades formadoras de colonias (UFC) en agar papa dextrosa y agar celulosa. En el ambiente se encontró una contaminación fúngica del 89.7% y en los libros 10.3%. Se aislaron 17 géneros, con predominio de *Cladosporium* (59.72%), *Fusarium* (9,31%), *Curvularia* (6,62%) y *Aspergillus* (6,37%). Con este estudio se demostró la capacidad de biodeterioro de cada uno de estos géneros.

Diversos géneros de hongos saprófitos como *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Alternaria* sp. entre otros, se han aislado en muestras de aire no filtrado, sistemas de aire acondicionado, superficies, alimentos, plantas ornamentales, celulosa de muebles, papel de paredes y en el polvo doméstico;

pudiéndose encontrar rutinariamente en el medio ambiente del interior de edificios (Jackson, 2000).

D. Géneros fúngicos más frecuentes en el aire exterior e interior

1. *Penicillium*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Ascomycota*; Subphylum: *Pezizomycotina*; Clase: *Eurotiomycetes*; Orden: *Eurotiales*; Familia: *Trichomaceae*; Género: *Penicillium* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: las especies de *Penicillium* sp. están ampliamente distribuidas en la naturaleza, suelo, vegetación caída, aire y polvo. Se considera una especie xerófila capaz de soportar condiciones de sequedad (Albright, 2001).

c. Morfología macroscópica: las colonias en Agar Czapek crecen muy lentamente, alcanzan un diámetro de 1.6 cm en 7 días en un intervalo de temperatura de 28 °C ± 2 °C y un pH de 4. El borde de las colonias es relativamente ancho de color blanco, con textura algodonosa. Son inicialmente blancas y luego se convierten en verde azuladas, gris verdosas, gris oliva, amarillentas o rosadas con el tiempo, con la zona central más levantada por la acumulación de esporas y surcada radialmente de manera profunda. El reverso de la colonia es pálido o amarillento (Arias y Piñeros, 2008).

d. Morfología microscópica: se observan conidióforos simples o ramificados, métulas, fiálides y conidios. Las métulas ensanchadas con ramificaciones secundarias que se forman sobre los conidióforos. Las fiálides tienen forma de frasco. La organización de las fiálides en la punta de los conidióforos es típica (llamadas "penicilos" o pincel). Los conidios son 2.5 – 5 µm de diámetro, redondos, unicelulares y en cadenas no ramificadas, en el extremo de las fiálides (Arias y Piñeros, 2008).

e. Significado clínico: *Penicillium* sp. sólo ocasionalmente causa infección en humanos (peniciliosis). *Penicillium* sp. ha sido aislado de pacientes con queratitis (post-traumática), endoftalmitis, otomicosis, esofagitis necrotizante, neumonía,

endocarditis, peritonitis e infecciones urinarias. La mayoría de estas infecciones ocurren en individuos inmunocomprometidos (Arias y Piñeros, 2008).

2. *Cladosporium*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Ascomycota*; Clase: *Dothideomycetes*; Orden: *Candiales*; Familia: *Davidiellaceae*; Género: *Cladosporium* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: el género *Cladosporium* sp. se considera como uno de los géneros fúngicos de mayor prevalencia en el mundo puesto que puede aislarse, tanto del aire exterior e interior y de diferentes soportes (Hurst, Crawford, Garland, Lipson, Mils & Stetzenbach, 2002). Bajo condiciones ambientales ideales de temperatura y humedad relativa, este hongo puede crecer y colonizar una amplia variedad de sustratos como papel, cartón, fotografías, madera, textil, metales, plásticos y hormigón (Mitchell & McNamara, 2010).

c. Morfología macroscópica: las colonias en agar PDA alcanzan un diámetro de 2 a 4.5 cm de diámetro en 7 días a una temperatura de 25 °C. Presentan un color café, textura aterciopelada y cubiertas por un micelio bajo y veloso. El reverso de la colonia es de color café a negro (Arias y Piñeros, 2008).

d. Morfología microscópica: las hifas son color amarillo castaño, septadas, el conidióforo de 3 – 5 µm de ancho libremente ramificado, de color café y superficie lisa. Los conidios tienen pared verrugosa de color marrón, subglobosos (Koneman, 2008).

e. Significado clínico: Es causante de lesiones en la piel, queratitis, sinusitis e infecciones pulmonares (Koneman, 2008).

3. *Aspergillus*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Ascomycota*; Clase: *Eurotiomycetes*; Orden: *Eurotiales*; Familia: *Trichomaceae*; Género: *Aspergillus* (Ortega, 2002).

b. Hábitat natural: las especies del género son omnipresentes y oportunistas que viven como saprófitos en el suelo, vegetales en descomposición, cualquier tipo de materia orgánica, como pintura fresca, alimentos enlatados abiertos, ropa vieja, recipientes con agua sin usar, reactivos químicos, paredes de refrigeradores, sistemas de ventilación, cuartos de hospital, bolsas de diálisis e incluso lentes de contacto blandas (Arenas, 2008).

c. Morfología macroscópica: las colonias en agar Czapek crecen con rapidez de tres a cuatro días a una temperatura de 25 °C. Son de color blanco, verde, amarillo, café o rojizo y puede haber difusión de pigmentos al medio de cultivo. La superficie es aterciopelada, granulosa o pulverulenta, los márgenes pueden ser bien delineados o difusos e irregulares. El reverso es crema con centro gris-verdoso. Estos hongos se identifican por el aspecto y pigmentación de la colonia (Arenas, 2008).

d. Morfología microscópica: cabeza conidial radial, Conidióforos hialinos, de paredes lisas. Vesículas globosas, 12.5 – 16 µm de diámetro. Las fiálides crecen a menudo sobre las métulas, 4 – 6 x 2 µm. Las métulas son delgadas, 4.5 – 8 x 2 - 22.5 µm, hialinas. Conidios globosos a subglobosos, de color gris verdoso, 3 – 4 µm de diámetro (Arias y Piñeros, 2008).

e. Significado clínico: causa rinitis, asma, dermatitis alérgica y puede generar enfermedades localizadas o sistémicas (Arenas, 2008).

4. *Alternaria*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Ascomycota*; Clase: *Dothideomycetes*; Orden: *Pleosporales*; Familia: *Pleosporaceae*; Género: *Alternaria* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: es un hongo cosmopolita dematiáceo comúnmente aislado de plantas, suelo, alimentos y en el medio ambiente del aire interior, se aísla de las plantas enfermas o muertas por su tendencia a habitar sustratos orgánicos en descomposición. Dentro de las viviendas puede aislarse del aire, polvo y lugares

con humedad como los marcos de las ventanas, en las que se produce condensación. Su distribución es universal y se considera que es un hongo de espacios abiertos (Pontón, Moragues, Gené, Guarro y Quindós, 2002).

c. Características macroscópicas: es un hongo de crecimiento rápido, el tamaño de la colonia alcanza un diámetro de 3 a 9 cm después de la incubación a 25 ° C durante 7 días. En agar glucosa de patata, las colonias son vellosas, de superficie rugosa y borde regular, de color gris intenso en el anverso y negro en el reverso (Universidad de buenos Aires [UBA], 2010).

d. Características microscópicas: posee hifas septadas y pigmentadas, conidióforos de color marrón pálido septados de longitud variable de 7-10 x 23-34 µm, del que emerge un conidio elipsoidal grande septado de forma transversal y longitudinal formando cadenas (UBA, 2010).

e. Significado clínico: puede provocar lesiones cutáneas y subcutáneas después de traumatismos, también es causa de endoftalmitis postquirúrgica y de onicomicosis. Se han observado infecciones invasoras sistémicas (como encefalitis) en pacientes con inmunosupresión (Schell, 2000).

5. *Fusarium*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Ascomycota*; Clase: *Sordariomycetes*; Orden: *Hipocreales*; Familia: *Nectriaceae*; Género: *Fusarium* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: hongo filamentoso ampliamente distribuido en plantas y en el suelo. Se encuentra en los productos básicos, como el arroz, frijol, soya y otros cultivos. Aunque la mayoría de las especies son más comunes en áreas tropicales y subtropicales, algunos habitan en el suelo en climas fríos. Además de ser un contaminante común y un patógeno de plantas conocidas puede causar diversas infecciones en los seres humanos, es una de las causas emergentes de las micosis oportunistas (De Hoog, Guarro, Gene & Figueras, 2000).

c. Características macroscópicas: las colonias en PDA alcanzan un diámetro de 3 a 5.5 cm en 7 días a 25 °C. El micelio es generalmente aéreo, abundante y algodonoso de coloración variable, en el anverso el color de las colonias puede ser blanco, crema, beige, salmón, amarillo, rojo, violeta, rosa o púrpura. En el reverso la coloración puede ser marrón, rojo, morado oscuro (Arias y Jerez, 2008).

d. Características microscópicas: las hifas son hialinas y septadas con conidióforos con septos o sin ellos, los microconidios pueden tener de 0 a 2 septos, estos son abundantes y variables en forma y tamaño ya que pueden ser ovals, elipsoidales o cilíndricos, los macroconidios son largos fusiformes ligeramente curvos, tienen de 27 – 46 µm de largo por 3.0 - 4.5 µm de ancho (Arias y Jerez, 2008).

e. Significado clínico: patógeno de plantas comunes y agente causal de infecciones superficiales y sistémicas en los seres humanos. Las infecciones en humanos se denominan colectivamente como fusariosis. El trauma es el principal factor predisponente para el desarrollo de las infecciones cutáneas, por otra parte se desarrollan infecciones oportunistas diseminadas en huéspedes inmunodeprimidos, especialmente en pacientes neutropénicos y con trasplante de órganos sólidos (Farina, Vailati, Manisco & Goglio, 1999).

6. *Mucor*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Zygomycota*; Clase: *Zigomycetes*; Orden: *Mucorales*; Familia: *Mucoraceae*; Género: *Mucor* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: es un hongo filamentoso que se encuentra en el suelo, las plantas, frutas y vegetales en descomposición. Además de ser ubicuo en la naturaleza y un contaminante común de laboratorios, puede causar infecciones en el hombre, anfibios, ganado y cerdos. La mayor parte son incapaces de crecer a 37 °C y las cepas aisladas de infecciones humanas suelen ser de las pocas termotolerantes (Angel, 2006).

c. Características macroscópicas: las colonias crecen rápidamente a una temperatura de 25 - 30 °C y alcanzan un diámetro de 6 a 9 cm en aproximadamente 7 días en agar PDA. El aspecto es esponjoso con un crecimiento aéreo abundante compuesto de largos y cortos esporangióforos. El anverso es de color blanco al principio, que se vuelve marrón grisáceo en el tiempo. El reverso es de color blanco (Arias y Piñeros, 2008).

d. Características microscópicas: presenta hifas aceptadas y gruesas, presenta esporangióforos y esporangios. Carece de apófisis, estolón y rizoides. Las columelas son hialinas y visibles si el esporangio se encuentra intacto. Los esporangios son esféricos o redondos de 50 a 300 µm de diámetro y son de color gris a negro y contienen esporangióforos (De Hoog, et al., 2000).

e. Significado clínico: la mucormicosis es una infección oportunista cada vez más reconocida. Afecta generalmente a pacientes con condiciones debilitantes tales como cáncer, diabetes mellitus, fallo renal y con quemaduras extensas. Las infecciones se han descrito en pacientes con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH). Las presentaciones clínicas más comunes son las cutáneas y renales (Guevara, Urcia y Casquero, 2007).

7. *Candida*

a. Clasificación taxonómica: Reino: *Fungi*; Phylum: *Deuteromycota*; Clase *Deuteromycetes*; Orden: *Moniliales*; Familia: *Cryptococcaceae*; Género: *Candida* (Arias y Piñeros, 2008).

b. Hábitat natural: es una levadura que coloniza frecuente la piel humana y las membranas mucosas, como miembro de la microbiota normal de la piel, la boca, la vagina y las heces. Se encuentra en el medio ambiente, particularmente en las hojas, flores, agua dulce y suelo. Si bien la mayor parte de especies son mitospóricas, algunas han conocido un estado teleomórfico y producen esporas sexuales (Guevara, et al., 2007).

c. Características macroscópicas: las colonias en agar Sabouraud Dextrosa pueden ser de color blanco o ligeramente beige, crecen rápidamente aproximadamente en 3 días, la textura de la colonia puede ser pastosa, suave, brillante o seca, arrugada y sin brillo, dependiendo de la especie (Tangarife, 2011).

d. Características microscópicas: todas las especies producen blastoconidios solos o en pequeños grupos, los que pueden ser redondos u ovalados. La mayoría de las especies producen pseudohifas que pueden ser largas, ramificadas o curvadas, verdaderas hifas y clamidosporas que se producen solo en algunas cepas (Tangarife, 2011).

e. Significado clínico: las especies de *Candida* son la causa más común de infecciones fúngicas invasivas en seres humanos, ya que provocan infecciones que van desde trastornos mucocutáneos que no hacen peligrar la vida, hasta enfermedades invasivas que pueden afectar a cualquier órgano o sistema del cuerpo. Las infecciones causadas se conocen en general como candidiasis estas pueden ser cutánea, mucocutánea, invasiva y alérgica. (Del Palacio, Villar y Alhambra, 2009).

E. Factores que influyen en la carga fúngica en el aire interior

1. Humedad relativa

Es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los hongos lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos. La desecación puede causar una pérdida de viabilidad en las capas más bajas de la atmósfera especialmente durante el día. A mayores altitudes, las condiciones son más favorables por la evaporación y algunas esporas pueden germinar en las nubes. La humedad relativa de la atmósfera varía de 10 a 20 % en las regiones desérticas y el límite inferior para el crecimiento de hongos es del (Douwes, et al., 1999).

2. Temperatura

Es el valor medio de la energía cinética de las partículas en un cuerpo, es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío y caliente (Hurst, Crawford, Garland, Lipson, Mils & Stetzenbach, 2002).

La combinación entre la humedad relativa y temperatura no puede despreciarse. Generalmente, cuanto mayor es la temperatura, menor será la humedad relativa y viceversa, por lo que es difícil separar los efectos que producen ambas en los hongos. La temperatura en la tropósfera alcanza hasta 40°C en la superficie sobre el nivel del mar y a – 80 °C en las partes más altas, llegando a temperaturas de congelación, estos cambios de temperatura no destruyen a los hongos pero inhiben su crecimiento y su multiplicación. Diversos estudios demuestran que el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los mismos (Hurst, et al., 2002).

3. Oxígeno

Es el elemento químico que constituye cerca de la quinta parte del aire atmosférico terrestre en su forma molecular O₂. Se ha observado una correlación positiva entre la concentración de oxígeno y la viabilidad de los hongos. La mayor parte de los hongos son aerobios y por lo tanto necesitan oxígeno para el desarrollo de sus reacciones metabólicas. La presencia de oxígeno condiciona el crecimiento de los mismos y la ausencia puede llegar a producir la muerte de éstos (Hurst, et al., 2002).

4. Radiación

Es un agente físico que se transmite a través del espacio sin contacto entre la fuente de producción y el objeto de aplicación. Son ejemplos de radiación los rayos X, los rayos Gamma, el calor (radiación infrarroja) o la luz. La inactivación que producen estos tipos de radiación en los hongos depende de la longitud de onda e intensidad de la radiación, cuando la luz ultravioleta hace contacto con los hongos que hay en las superficies, penetra su membrana exterior y destruye el

ADN, material genético esencial para todo organismo viviente. (Nielsen, Breum, Nielsen, Wurtz, Poulsen y Midtgaard, 1997).

F. Normativas existentes con respecto a la calidad del aire

Diferentes organizaciones internacionales, como la OMS, el Consejo Internacional de Investigación de Edificios, organizaciones privadas como la Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción, países como Estados Unidos y Canadá, entre otros, están estableciendo normas y directrices de exposición. Por su parte, la Unión Europea (UE), a través del Parlamento Europeo, ha presentado una resolución sobre la calidad del aire en espacios de interior, donde se establece la necesidad de que la Comisión Europea proponga, lo antes posible, directivas específicas que incluyan:

- Una lista de sustancias que deben prohibirse o regularse, tanto en la construcción como en el mantenimiento de edificios.
- Normas de calidad aplicables a los diferentes tipos de ambientes de interior.
- Protocolos de procedimiento para la gestión y mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y ventilación.
- Normas mínimas para el mantenimiento de edificios abiertos al público.

1. Normas de calidad del aire exterior

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido límites legales para los niveles de contaminantes atmosféricos en el ambiente exterior. Estas normas contienen los límites legales establecidos para los niveles de contaminantes atmosféricos en el ambiente exterior durante un período de tiempo dado. Se basan en un conjunto de consideraciones técnicas, económicas, sociales y políticas.

Las concentraciones límites fijadas son muy diferentes, lo que hace pensar que los criterios que se usan para la adopción de las normas son más políticos que científicos. Así, por ejemplo las concentraciones límites medias de partículas varían entre $0,05 \text{ mg/m}^3$ y $0,5 \text{ mg/m}^3$ siendo:

- Las más severas para períodos cortos (menores de 1 día)

- Las más severas para períodos largos (de 2 meses al año).

2. Normas de calidad del aire interior

La definición de normas y patrones específicos para el aire interior es producto de una política en este campo por parte de los organismos responsables de su establecimiento y del mantenimiento de la calidad del aire interior a niveles aceptables. En la práctica, las tareas se dividen y comparten entre numerosas entidades responsables de controlar la contaminación, mantener la salud, garantizar la seguridad de los productos, vigilar la higiene profesional y regular la edificación y la construcción (Comité Europeo de Normalización [CEN], 1999).

El establecimiento de un reglamento está encaminado a limitar o reducir los niveles de contaminación en el aire interior. Tal objetivo puede alcanzarse controlando las fuentes de contaminación existentes, diluyendo el aire interior con aire exterior y comprobando la calidad del aire disponible. Se requiere para ello el establecimiento de límites máximos específicos para los contaminantes presentes en el aire interior (CEN, 1999).

Generalmente se observa que, en condiciones estáticas, la concentración de los contaminantes presentes dependerá en parte de la cantidad del compuesto liberado al aire por la fuente de contaminación y su concentración en el aire atmosférico y de los diferentes mecanismos por los que se elimina el contaminante. Los mecanismos de eliminación incluyen la dilución del contaminante y su “desaparición” con el tiempo. Todos los reglamentos, recomendaciones, normas y patrones que pueden establecerse para reducir la contaminación deben considerar estas posibilidades (Martínez y Gómez, 2007).

En el marco de la estrategia sobre la contaminación del aire interior, se ha publicado normas para la Unión Europea que marcan un valor límite anual en una concentración de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Así mismo, se fija un valor límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no debe superarse en más de 35 días por año. Las críticas planteadas habitualmente contra estas normas se basan en los siguientes aspectos: a) la dificultad para obtener datos comparativos, b) los problemas surgidos cuando un

espacio de interior tiene fuentes intermitentes de contaminación. Con respecto a las actividades que pueden tener lugar en un edificio, el principal foco de atención lo constituye el mantenimiento del edificio. En estas actividades, el control puede establecerse en forma de reglamentos sobre la realización de ciertas tareas, como recomendaciones relativas a la aplicación de plaguicidas o la reducción de exposición al plomo o al amianto durante la renovación o la demolición de un edificio (Guardino, 2001).

Debido a que el humo del tabaco generado por los ocupantes de un edificio es muy a menudo causa de contaminación del aire interior, merece un tratamiento especial. Muchos países tienen leyes, a escala estatal, que prohíben fumar en ciertos lugares públicos, como restaurantes o teatros, pero son muy frecuentes otras disposiciones que permiten fumar en ciertas partes especialmente diseñadas de un edificio concreto. Cuando se prohíbe el uso de ciertos productos o materiales, estas prohibiciones se basan en sus efectos nocivos sobre la salud, que están relativamente documentados para los niveles presentes en el aire interior. Otra dificultad es que a menudo no se dispone de suficiente información o conocimiento acerca de las propiedades de los productos que pudieran utilizarse en su lugar (Guardino, 2001).

G. Estudios realizados en países Europeos y de América

En Alemania, estudiaron las esporas fúngicas del aire en 130 habitaciones de 11 edificios de oficinas con daños de agua ocasionado por fallas en las tuberías, por lluvias y aire acondicionado; sugirieron que concentraciones del aire interior por encima de 100 UFC/m³ de aire es un indicador de colonización fúngica de los materiales del edificio, tomando como base las medidas de habitaciones con colonización fúngica aparente y en habitaciones sin crecimiento de hongos visibles (Reponen, Nevalainen, Jantunen, Pellikka & Kalliokostki, 1992).

En Suecia, al analizar casas en mal estado se planteó que los niveles de contaminación de especies de *Aspergillus* debían ser más bajo que 50 UFC/m³ de aire para que no constituya un problema para la salud (Holmberg, 1987).

En Minnesota, Estados Unidos, señalaron que concentraciones de esporas de hongos en el aire que exceden de 500 UFC/m³ indican una condición anormal en el aire interior (Reynolds, Streifel & Jilton, 1990).

La comisión para los bioaerosoles de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), realizó las siguientes sugerencias:

- Un valor límite de exposición general para la concentración de los bioaerosoles cultivables (hongos y bacterias totales) o contables (polen total, esporas de hongos o bacterias) no tiene justificación científica porque, Los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas.
- Las respuestas de los seres humanos a los bioaerosoles varían desde efectos inocuos hasta enfermedades graves, dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona.
- Las concentraciones medidas de los bioaerosoles cultivables y contables dependen del método de toma de muestra y análisis. No es posible recoger y evaluar todos los componentes de los bioaerosoles utilizando un único método de muestreo.
- No se han establecido valores límite de exposición para los bioaerosoles individuales cultivables o contables para prevenir la irritación o las respuestas tóxicas o alérgicas. Actualmente, la información relativa a las concentraciones de los bioaerosoles cultivables o contables que han producido irritación o respuestas tóxicas o alérgicas procede, en su mayor parte, de estudios de casos que contienen sólo datos cualitativos de la exposición. Los datos epidemiológicos que existen son insuficientes para describir las relaciones exposición-respuesta.
- Las concentraciones medidas de los bioaerosoles cultivables y contables dependen del método de toma de muestra y análisis. No es posible recoger y evaluar todos los componentes de los bioaerosoles utilizando un único método de muestreo.

H. Velocidad de entrada de los contaminantes procedentes de fuentes exteriores.

Esta velocidad depende de los flujos de aire intercambiados entre el exterior y el interior y la concentración de contaminantes del aire exterior. La impulsión del aire exterior debe garantizar la dilución de los contaminantes en la parte del espacio ocupado o ambiente interior, lo que se asegura con una adecuada eficiencia en la ventilación, pero hay que tener en cuenta que la concentración de los contaminantes existentes en el aire exterior pueden reducir la calidad del aire en el interior (Guasch, 2001).

Finalmente aparecen como fuentes exteriores los gases procedentes del ambiente; los factores que determinan la velocidad de entrada de estos gases son: La concentración de los gases en el ambiente.

- La permeabilidad del suelo y los cerramientos a esos gases.
- La diferencia de presión parcial entre el gas del ambiente y el del aire interior.
- Las características estructurales del edificio.

Es conveniente analizar la zona más adecuada para disponer la toma de aire exterior y asegurar que el caudal de aire introducido sea óptimo o no este tan contaminado con agentes químicos o biológicos (Martínez y Gómez, 2007).

I. Métodos para evaluar la calidad del aire interior y exterior

La medición de los contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos equipos que se clasifican de acuerdo a sus principios de medición. Los bioaerosoles son captados al producirse la separación de las partículas que lo forman por la acción de distintas fuerzas físicas. Según estas fuerzas, los equipos de muestreo se clasifican en:

- Inerciales: de impacto, ciclones, equipos centrífugos.
- Filtros.
- Otros: sedimentación en placa.

1. Equipos inerciales: utilizan la inercia propia de la partícula o bioaerosol para separar esta de la corriente de aire. Por diversos mecanismos se introduce una corriente de aire en el sistema de muestreo y se obliga al mismo a cambiar de dirección. Las partículas contenidas en ella, debido a su inercia, no cambian de dirección, por lo que son separadas (Crook, 1996).

a. Impactadores: este método permite la separación de partículas del torrente de aire utilizando la inercia de las mismas para forzarlas a su deposición en una superficie sólida o semisólida. La superficie de colecta es generalmente un medio de cultivo agarizado o un portaobjetos de vidrio cubierto de una sustancia adhesiva, aunque se pueden utilizar medios líquidos (Rojas & Martínez, 2000).

Se lleva a cabo a través de equipos llamados biocolectores que absorben un volumen de aire definido. El objetivo principal de utilizar un biocolector es la remoción y colección de partículas biológicas del aire de manera que no afecte la integridad biológica de los microorganismos colectados. La capacidad de colección de estos equipos depende de su forma física y de las características fisiológicas del microorganismo (Buttner & Stetzenbach, 1991).

Existe una gran variedad de muestreadores comerciales de bioaerosol, el funcionamiento de varios de estos, ha sido comparado en diferentes ensayos en laboratorios y terrenos. La selección del muestreador depende de un número de factores tales como su ejecución, la concentración de bioaerosoles esperada y el método de análisis. Antes de iniciar una investigación, el investigador debe tener conocimiento de los objetivos específicos del monitoreo aéreo así como de las limitaciones de los métodos de muestreo (Verhoeff, Van Wijnen, Boleij, Brunekreef, Van Reenen & Samson, 1990).

b. Muestreador de rendija: en estos muestreadores el aire penetra a través de una o cuatro rendijas con flujos de aire de 30 l/min y 700 l/min, según el modelo, y es impulsado sobre la superficie de impactación que consiste en: una placa con medio de cultivo, un portaobjetos o una cinta adherente. La placa de cultivo permite la incubación, recuento de colonias e identificación de las especies

microbianas; los portaobjetos y las cintas, permiten la observación directa al microscopio de las partículas captadas. Estos soportes de captación pueden estar estáticos o colocados sobre un soporte giratorio dotado de distintas velocidades. Al disponer de un único nivel de captación no se obtiene información sobre la distribución por tamaño de partícula. (Griffiths & De Coseno, 1994).

c. Captador Andersen: este es un impactador en cascada que capta las partículas en una serie de placas con medio de cultivo a un caudal de aire de 28.3 l/min. En general, este impactador tiene seis niveles de captación, cada nivel está separado del siguiente por un elemento perforado por 400 orificios, debajo de cual se coloca la placa con medio de cultivo, en cada nivel todos los orificios tienen el mismo diámetro, pero de un nivel al siguiente disminuye el tamaño del diámetro de los orificios, lo que provoca un aumento de la velocidad del aire al pasar de un nivel a otro. La captación se basa en la inercia de las partículas, en el primer nivel se separan las partículas de mayor tamaño; las de menor tamaño, cuya inercia no es lo suficientemente grande, son arrastradas por la corriente de aire que pasa al siguiente nivel, al aumentar la velocidad también aumenta la inercia de las partículas arrastradas, algunas serán captadas en el segundo nivel mientras que otras seguirán en el aire pasando al tercer nivel, y así sucesivamente (Eduard & Heederik, 1998).

El modelo con un solo nivel dispone de una placa perforada (400 orificios), su caudal de aire es de 28,3 l/min. En el modelo con dos niveles, las placas perforadas disponen de 200 orificios, un caudal de aire de 28,3 l/min. Este muestreador es uno de los designados como de referencia en las pruebas de ensayo para la validación de otros muestreadores (Eduard & Heederik, 1998).

d. Muestreadores multiorificio: son sistemas portátiles con un único nivel de captación. El muestreador SAS (Surface air system) es un equipo portátil con un único nivel de captación basada, asimismo, en la inercia de las partículas. La captación de las partículas tiene lugar en una placa RODAC con medio de cultivo. Existen dos modelos calibrados a dos caudales de aire (90 l/min y 180 l/min). El

equipo dispone de un cabezal con 219 orificios, un ventilador y un programador del tiempo de muestreo (intervalos de 20 segundos), permitiendo un mínimo de 20 segundos y un máximo de 5 minutos. Un ejemplo es: el muestreador M air T (Millipore) o el muestreador MAS-100 (Merck) (Griffiths & De Coseno, 1994).

e. Frascos borboteadores: funcionan conduciendo una corriente de aire al interior de un frasco que contiene un medio de captación líquido. Las partículas son transferidas al líquido siguiendo los principios de la impactación inercial ayudada por la dispersión de las partículas en las burbujas formadas en la zona de impactación. Como líquido de captación puede utilizarse cualquiera que sea compatible con el ensayo analítico y el agente biológico objeto de estudio. Los líquidos más frecuentemente utilizados son: agua destilada, soluciones salinas tamponadas o medios de cultivo diluidos. A estos líquidos se les añaden los aditivos que se consideren necesarios para mejorar la supervivencia de los microorganismos (Griffiths & De Coseno, 1994).

2. Equipos de filtración: se entiende por filtración la captación de partículas suspendidas en el aire al quedar retenidas en un material poroso cuando este lo atraviesa. Es un sistema que permite tomar muestras personales, lo que permite conocer la exposición de trabajadores en su ambiente de trabajo. Se utilizan cuando se pretende evaluar los componentes de los bioaerosoles más resistentes, como esporas, polen, entre otros (Crook, 1996).

El equipo de toma de muestras consiste en una bomba de aspiración de aire a la que se le une un porta filtro, que es una caja que contiene al filtro. Como en los sistemas anteriores, es importante controlar el tiempo de muestreo y el caudal que utilizamos, para determinar el volumen de muestreo (Macher & Macher, 1997).

3. Otros: las técnicas convencionales basadas en recuento en placas de agar han sido las más utilizadas para la determinación de mohos y diversos autores han señalado que éste, es el método más adecuado para llevar a cabo cualquier trabajo comparativo. Sin embargo, otros autores coinciden en que los mohos no se pueden contar y por lo tanto evaluar su número, realizando una consecuente calificación de

una muestra por superar una cifra de unidades formadoras de colonia (UFC), con los mismos criterios empleados para los recuentos bacterianos, puesto que las esporas asexuales, sexuales y el micelio pueden dar lugar a unidades formadoras de colonias, con lo que no se sabe si una colonia está formada de un conidio, un conidióforo, una hifa u otra estructura y la colonia puede por lo tanto derivarse de numerosas unidades (como por ejemplo, un grupo). Adicionalmente, se deben tener en cuenta romperse en un número indeterminado de fragmentos que son capaces de reproducirse, o que en la preparación de las diluciones se puede incluir un conidióforo o un esporangio lleno de esporas, lo que modifica considerablemente los recuentos (Valdez, 2007).

J. Técnica de sedimentación en placa

Consiste en colocar placas de Petri con agar dentro del ambiente y dejándola abierta durante un tiempo de 15 minutos generalmente; las partículas y microorganismos en suspensión se depositarán en ellas por sedimentación (Macher & Macher, 1997).

El procedimiento no permite conocer el volumen de aire tratado, así como una estimación incorrecta del grado de contaminación del aire de una habitación. Además, permite obtener cultivos de los diferentes tipos de microorganismos presentes en el polvo (Macher & Macher, 1997).

K. Ciudad de Guatemala

1. Geografía y meteorología

El departamento de Guatemala se encuentra en el centro del país (14°30' a 14°45' de latitud norte y de 90°15' a 90°45' de longitud oeste), limita al norte del departamento de Quiché y Baja Verapaz, al noroeste con el departamento del Progreso, al este con el departamento de Jalapa, al sureste con Santa Rosa, al occidente con los departamentos de Sacatepéquez y Escuintla y al noroccidente con Chimaltenango (Gall, 1983).

La Ciudad de Guatemala se localiza en lo que geológicamente constituye una zona de hundimiento, a una elevación media de 1500 msnm. En las paredes laterales de este hundimiento se encuentra al este las montañas de Palencia y San José Pinula con una elevación máxima de 2200 msnm, al oeste las montañas del cerro Alux con una elevación máxima de 2276 msnm. Las cabeceras de este hundimiento sirven como bocatomas al flujo del viento: al norte ningún accidente geográfico importante, lo cual favorece la canalización de los vientos del norte y noreste sobre la superficie, al sur lo conforman la depresión de la cuenca del lago de Amatitlán a una elevación de 1200 msnm (Gall, 1983).

El clima es templado y húmedo, aunque con variaciones de temperatura que van desde los 15 °C hasta los 20 °C, según la altitud. Las precipitaciones que se producen entre mayo y octubre registran una media anual de 1000 mm. En la temporada de calor especialmente en marzo y abril; se caracteriza por el enturbiamiento de la atmósfera por partículas acuosas como la neblina, la niebla y la bruma y también por partículas sólidas como la calima y el humo. El polvo y el humo son los principales contaminantes que incrementan sus niveles de emisión y se produce mayor concentración sobre la ciudad de Guatemala (Herrera, 2003).

Las condiciones geológicas contribuyen a la coexistencia de factores y elementos climáticos que favorecen la dispersión de los contaminantes. Sin embargo, debe tomarse en cuenta el crecimiento de la ciudad y su impacto en los niveles de emisión de contaminantes, al expandirse las concentraciones urbanas y residenciales hacia los municipios circunvecinos del municipio de Guatemala (Herrera, 2003).

2. El aire en la ciudad de Guatemala

En las últimas décadas, la ciudad de Guatemala ha experimentado un inesperado crecimiento de la población en la totalidad de sus municipios, agregándose a esto limitaciones de infraestructura, servicios básicos y un incremento desmedido de tráfico vehicular. Este último se distingue por dos categorías: centros urbanos y zonas residenciales. El nivel de crecimiento

vehicular tiene como consecuencia un deterioro considerable en la calidad del aire que se respira en determinadas zonas, lo que repercute en la salud de las personas y en un incremento de enfermedades respiratorias, por lo que es necesario un estricto control del flujo vehicular, que es la fuente principal de la contaminación atmosférica (Herrera, 2003).

3. Legislación existente sobre la calidad del aire en Guatemala

La regulación de la contaminación del aire se inició con la aprobación de la Constitución Política de la República de Guatemala, decretada el 31 de mayo de 1985. Antes de lo legislado por la constitución, solamente existieron esfuerzos aislados de ciertos grupos de la sociedad civil, que pronosticaron un futuro poco prometedor para el país, ya que la producción industrial y la utilización de vehículos automotores se desarrollaban sin ningún control. Afortunadamente para la población de la ciudad de Guatemala, su posición geográfica ha favorecido en forma continua un sistema de limpieza de la atmósfera inferior que es el aire que todos respiramos, lo cual ha evitado episodios serios de contaminación del aire (Centro de Acción Legal-Ambiental y Social de Guatemala [CALAS], 2004).

La Constitución Política de la República de Guatemala, establece en su Artículo 91 que: “El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente evitando su depredación” (CALAS, 2004).

La primera instancia específica en materia de protección del medio ambiente, fue la Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Quien impulsó y preparó, en cumplimiento a lo estipulado por la Constitución Política de la República de Guatemala, la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, según decreto legislativo número 68-86 del Congreso de la República, la cual fue aprobada y posteriormente publicada en el diario oficial el 19 de diciembre de

1986, asimismo sus reformas publicadas en los años 1991, 1993 y 2000 (Instituto de Derecho ambiental y Desarrollo sustentable [IDEADS], 2001). La aplicación de esta ley y sus reglamentos compete al Organismo Ejecutivo, a través del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Título I, Capítulo I, Artículos 1 y 2). Derivado de esta instrucción, se hizo necesario la creación de dicho ministerio y dejó de existir CONAMA. Dicha ley tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país (Título II, Capítulo único, Artículo 11) (IDEADS, 2001).

El código de salud, en el decreto legislativo 90-97, indica en su Artículo 69 que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social establecerá los límites permisibles de exposición y calidad ambiental para los diferentes contaminantes. Asimismo en el Artículo 70 se indica que el Ministerio de Salud establecerá un sistema de vigilancia de la calidad ambiental, sustentado en los límites permisibles. Posteriormente se establece en el Artículo 71 que se deberá informar al público sobre aquellos contaminantes que sobrepasan los límites de calidad ambiental. Hasta el momento hace falta la creación de normativos o reglamentos nacionales que amplíen los criterios para la evaluación de este tipo de contaminación y lo que es más grave, es que no se cuenta con una política nacional del medio ambiente sancionada por la más alta instancia del ejecutivo, como se establece en el decreto 68-86 de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (CALAS, 2004).

4. Estudios previos de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala

El monitoreo de la calidad del aire es una importante herramienta para las autoridades ambientales, en su labor de protección del medio ambiente (Oliva, 2007).

La red de monitoreo ha estado a cargo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con 7 puestos de control que han funcionado en diferentes períodos de registro: Avenida Petapa, zona 12 (alto flujo vehicular), Museo de la Universidad de San Carlos, zona 1 (bajo flujo

vehicular), Trébol/INCAP, zona 7 (alto flujo vehicular), Calzada San Juan, zona 7 (alto flujo vehicular), Calzada Aguilar Batres, zona 12 (alto flujo vehicular), Universidad de San Carlos, zona 12 (bajo flujo vehicular), INSIVUMEH, zona 13 (bajo flujo vehicular) (Oliva, 2007).

En la ciudad de Guatemala se ha realizado pocos estudios microbiológicos del aire que están a cargo de la Universidad de San Carlos de Guatemala siendo ellos; el estudio sobre la contaminación micológica del aire, en ambientes interiores y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Proyecto FODECYT, 2007), de este estudio se obtuvo que el 44 % de los puntos muestreados presentaron mayor concentración de colonias emergentes en el aire por la mañana y el 56 % restante, presentó la mayor concentración fúngica por la tarde. De igual manera se demostró el impacto de como la calidad microbiológica del aire externo, influye en la calidad del aire interno ocasionando problemas de salud del personal de trabajo de cuatro laboratorios de instituciones públicas en la ciudad de Guatemala y Bárcenas de Villa Nueva (Proyecto FODECYT, 2008), encontrando que en todos los laboratorios el recuento de colonias de bacterias y hongos sobrepasan la norma aplicada y presenta un riesgo para la salud ocupacional del personal.

L. Descripción de las áreas de estudio

1. FARMAYA

FARMAYA es una empresa multidisciplinaria de base tecnológica, enfoque ecológico y un compromiso social que lleva a cabo procesos de desarrollo y producción de productos a base de plantas medicinales. Realiza estudios etnobotánicos con diferentes grupos culturales del país y desde 1980 participa en la Red TRAMIL (Investigación aplicada de las plantas medicinales en la región del Caribe) cuyos objetivos son la detección de las enfermedades más comunes en esta región, la Tecnología fitofarmacéutica, control de calidad, diseño y desarrollo de productos naturales medicinales y cosméticos a través de BPM con lo cual se asegura que los productos cumplan con las especificaciones de calidad, seguridad y eficacia.

Cuenta con un banco de datos especializado en el tema de plantas medicinales con más de 10,000 documentos sobre etnobotánica, agrotecnología, tecnología fitofarmacéutica.

2. Sección de Hongos BIGU

La sección de hongos del herbario BIGU, se inició como una colección en octubre del año 2004, con la colecta y almacenamiento de ejemplares de la ecorregión Lachua. Está ubicada en la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos, en la ciudad de Guatemala. Se trabajó en varios proyectos que contribuyeron a enriquecer la colección con 3,500 ejemplares; reportando durante los años 2004-2006, 40 nuevos registros de especies y 26 géneros nuevos para el país.

Las sección de hongos tiene como prioridad el conocimiento de la diversidad fúngica del país, la formación de profesionales, y la educación de la población en general a través de medios escritos; cumpliendo así con los ejes universitarios servicio-docencia-investigación.

IV. JUSTIFICACIÓN

Las colecciones biológicas representan el patrimonio natural de un país o región y constituyen un archivo histórico de utilidad múltiple donde la preservación de especímenes y su información asociada son la base de estudios taxonómicos, ecológicos, filogenéticos, biogeográficos, genética de poblaciones y conservación formando parte fundamental en el conocimiento de la diversidad biológica y en el avance de las ciencias biológicas (Tobar, 2002).

Actualmente, algunas colecciones presentan problemas de biodeterioro causados en parte por la presencia de hongos microscopios, los cuales se ven favorecidos por la insuficiente ventilación y la alta humedad que se encuentra en el ambiente, representando un peligro para las mismas ya que exponen la integridad de los especímenes que ahí se albergan.

Por tal motivo, es importante estudiar la calidad del aire en colecciones de interés científico que puedan estar afectadas por contaminantes biológicos y que estos puedan ocasionar su deterioro.

El estudio se realizó en la sección de macrohongos del anexo BIGU y el área de farmacobotánica del laboratorio de investigación FARMAYA, son dos herbarios importantes de Guatemala, ya que en ambos se almacenan especímenes de importancia científica.

Este estudio aeromicológico permitió observar la contaminación fúngica de dichos locales, tanto en las áreas interiores como exteriores ya que se encontraron hongos microscópicos deteriorantes, esto ayudó a conservar la integridad y la prevención del deterioro de los especímenes. Al mismo tiempo se caracterizó los diferentes tipos de géneros de hongos aislados en dichos herbarios.

V. OBJETIVOS

A. General

Determinar la contaminación aerobiológica por hongos microscópicos en ambientes interiores y exteriores en el Herbario FARMAYA y en el anexo del Herbario BIGU de la escuela de Biología

B. Específicos

1. Determinar la carga fúngica (UFC/m³) del ambiente interior y exterior de los puntos de muestreo ubicados en el Herbario FARMAYA y el anexo del Herbario BIGU de la escuela de Biología.
2. Caracterizar los géneros fúngicos aislados en el ambiente de FARMAYA y el Herbario BIGU.

VI. HIPÓTESIS

En este estudio no es necesario el planteamiento de una hipótesis ya que es de tipo descriptivo.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

1. Universo

El ambiente interior y exterior del área de macrohongos del anexo del BIGU ubicado en el edificio T10, segundo nivel, Ciudad Universitaria zona 12, latitud 14°35' y 6.05" n (norte); longitud 90°33' y 16.27" o (oeste) y el área de farmacobotánica ubicado en el segundo nivel del laboratorio de investigación FARMAYA, zona 1 Guatemala, latitud 14°37' y 52.02" n (norte); longitud 90°31' y 16.77" o (oeste).

2. Muestra

Microorganismos aislados en el ambiente interior y exterior del área de macrohongos del anexo BIGU, y el área de farmacobotánica del laboratorio de investigación FARMAYA.

3. Lugar y Período

La parte práctica de la investigación incluyó el conteo, aislamiento e identificación macroscópica y microscópica se realizó en el laboratorio microbiológico de referencia -LAMIR- en el área de Microbiología, ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El período de muestreo será de seis meses.

B. Recursos

1. Recursos humanos

a. Estudiantes

- Br. Oscar David Fuentes Méndez
- Br. Cesar Augusto de León García

b. Asesores

- Dra. Karin Larissa Herrera Aguilar
- Licda. Wendy Alejandra Chámale

- c. Auxiliares en la investigación
 - Br. Jeimy Quan
 - Téc. Julio Cesar Maas Mo
- 2. Recursos institucionales
 - a. Universidad de San Carlos de Guatemala
 - b. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
 - c. Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-
- 3. Recursos instrumentales
 - a. Computadora y accesorios
 - b. Materiales fiscos
 - Medio de cultivo
 - Agar Sabouraud con cloruro de sodio al 7.5%
 - Guantes de látex
 - Mascarillas
 - Cofias
 - Contador manual
 - Calculadora
 - Cajas de Petri
 - Cubreobjetos
 - Portaobjetos
 - Asa en L
 - Asa en punta
 - Asa en espátula
 - Algodón
 - Hilo de cáñamo
 - Hielera
 - Cinta testigo
 - Pinzas
 - Papel mayordomo
 - Papel aluminio
 - Papel de craft

- Papel filtro
- Papel encerado
- Papel parafilm
- Pipetas de 10 ml estériles
- Frascos estériles para almacenamiento
- 1 Erlenmeyer de 1,000 ml
- 1 Erlenmeyer de 500 ml
- Marcadores indelebles diferentes colores
- Alcohol al 70%
- Boletas de caracterización macroscópica para hongos

c. Equipo

- Campana de flujo laminar con luz UV, tipo BLS2, Marca DALTON
- Incubadora, Marca SANYO
- Estufa simple
- Incinerador
- Pipetas semiautomáticas de volumen variable
- Autoclave, Marca SIBATA
- Microscopio, Marca NIKON
- Balanza semianalítica, Marca ACCULAB
- Refrigeradora, Marca AMERICAN
- Aeroscopio Eco MAS-100
- Higrómetro digital
- Horno esterilizador
- Cámara Quebec, Marca REICHERT

d. Reactivos

- Agua destilada estéril
- Azul de lacto fenol

C. Metodología

1. Elaboración de medios de cultivo

a. Elaboración de medio agar Sabouraud con cloruro de sodio al 7.5%

- Medir 1000 ml de agua destilada con una probeta.
- Pesar 65 gramos de agar Sabouraud en balanza analítica
- Pesar 75 gramos de cloruro de sodio en balanza analítica
- Disolver y en una estufa eléctrica llevar hasta ebullición
- Autoclavear el medio a 15 libras de presión por 15 minutos a 121 °C
- Enfriar hasta temperatura aproximadamente de 37 °C dentro de la cabina de seguridad biológica.
- Al alcanzar la temperatura deseada, proceder a llenar las cajas de Petri.
- Mezclar suavemente para homogenizar.
- Almacenar a 4 °C.

2. Plan de muestreo

Los muestreos fueron realizados en el anexo del Herbario BIGU de la escuela de Biología, localizada en la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en el laboratorio de investigación FARMAYA, localizado en la zona 1 de la ciudad de Guatemala. Las muestras se recolectaron por seis meses, siendo el primer mes la selección de la hora de muestreo que se realizó por un período de seis horas, los siguientes seis meses que fueron tres en época de invierno y tres en época de verano se efectuó en la hora de mayor contaminación seleccionada.

3. Métodos de recolección de muestras

Se utilizó la técnica por impactación volumétrica para el muestreo del aire, por medio de un biolector Eco MAS-100, la exposición fue por un minuto con cada una de las cajas de Petri abiertas, conteniendo agar Sabouraud mas cloruro de sodio al 7.5%, ya que el aeroscopio tiene una capacidad de aire absorbido de 0-100 L/minuto. Las cajas fueron situadas en seis puntos, tres puntos internos y tres externos, siguiendo un diseño diagonal, siendo estos los puntos donde se

consideró de mayor contaminación para los especímenes de interés científico y para el personal que ahí labora.

Se realizó la medición de la temperatura y porcentaje de humedad con un higrómetro digital esto con el fin de determinar las condiciones de crecimiento de hongos considerados biodeteriorantes.

4. Métodos de análisis de muestras

Las placas de Petri expuestas fueron incubadas de 25 a 28°C durante siete días. Llevando un conteo de las colonias emergentes utilizando la cámara de Quebec que permitió observar mejor las colonias para su cuantificación, a cada 72 horas, 120 horas y 168 horas, el valor obtenido fue en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), el cual incluye el error estadístico del aeroscopio por lo que se corrigió utilizando la fórmula de Feller. Con esto se eliminó el sesgo provocado por los múltiples orificios que posee el equipo de captación de aire, siendo esta la siguiente:

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

En donde: Pr: total estadístico probable; N: número de orificios presentes en el aprato (400); r: número de unidades formadoras de colonias contadas en cajas de petri de 90mm.

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:

$$UFC/100L * 1000L / 1m^3 = UFC/ m^3$$

100L: es la cantidad de aire que se utilizó en cada punto para el muestreo.

Se visualizó individualmente cada una de las placas, para evaluar macroscópicamente el número de cepas que aparentemente son diferentes para su aislamiento y su posterior caracterización.

a. Aislamiento

Se procedió al aislamiento de las diferentes cepas resemebrando directamente en placas de agar Sabouraud. Las placas se incubaron a 25°C, durante un período máximo de siete días con el fin de obtener un cultivo puro.

b. Identificación macroscópica

Para la caracterización de los hongos aislados se observaron las características morfológicas de las colonias como la textura, borde, aspecto, superficie, tipo de crecimiento, exudado, color, pigmentación. Para dicho efecto se elaboró un formato (Anexo 3) para identificación macroscópica de hongos.

c. Identificación microscópica

Se realizó cultivo en lámina en la evaluación de las características de las hifas, órganos de fructificación maduros y esporas (tipo, forma, tamaño y tabicación), por medio de un montaje en fresco con azul de lactofenol para la observación microscópica. En el caso de 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[®].

d. Conservación

La cepa identificada se resemebró en un tubo con medio de cultivo fresco de agar Sabouraud, al alcanzar el crecimiento adecuado se recubrió con una capa de aceite mineral estéril.

D. Diseño de investigación

Es un estudio de tipo descriptivo que se llevó a cabo en el área de macrohongos del anexo del herbario BIGU y en el área de farmacobotánica del laboratorio de investigación FARMAYA, donde se evaluó la contaminación fúngica en un período de seis meses. Posterior a la hora de mayor contaminación se realizó un muestreo mensual en tres sitios de ambientes interiores y tres sitios de ambientes exteriores.

E. Análisis estadístico

Se realizó un análisis utilizando estadística descriptiva de los promedios y desviación estándar de la carga micológica (UFC/m³) de los seis meses muestreados y la frecuencia de los diferentes géneros fúngicos caracterizados. Se presenta en gráficas y tablas utilizando el paquete de Microsoft Office 2007.

VIII. RESULTADOS

A. Selección de hora de mayor contaminación

El cuadro 1 indica que la hora de mayor carga fúngica en la sección de macrohongos del herbario BIGU fue a las 9:30 horas en el interior y en el exterior. La menor carga se registró a las 11:30 horas en el interior y exterior.

Cuadro 1. Carga fúngica en ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU, expresada en UFC/m³

Área	Hora					
	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30
Muestreada						
Interior	2480	2910	1380	840	1100	1220
Exterior	1500	1510	1380	880	930	1470

*Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011.

En el área de farmacobotánica del herbario FARMAYA, la hora de mayor carga fúngica fue a las 11:30 horas en el ambiente interior y exterior, como se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Carga fúngica en ambiente interior y exterior de la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA.

Área	Hora			
	8:30	9:30	10:30	11:30
Muestreada				
Interior	4760	3000	1770	8850
Exterior	2430	1320	3530	5310

*Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011.

B. Resultados de muestreos periódicos

Esta sección muestra los resultados obtenidos en relación a la carga aeromicológica durante los muestreos realizados en un período de seis meses, en los ambientes interiores y exteriores de los dos centros de interés científico. Los resultados reportados incluyen las variables que influyen en la determinación de la carga fúngica del aire, como la temperatura y porcentaje de humedad relativa.

1. Temperatura

El cuadro 3 indica que en la sección de macrohongos del herbario BIGU en el interior y exterior, la temperatura máxima registrada fue en el mes de octubre. En la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA, la máxima temperatura en el interior y en el exterior se registró en el mes de marzo.

Cuadro 3. Temperatura (°C) registrada en el ambiente interior y exterior de los dos herbarios muestreados, en el período de octubre de 2011 a marzo 2012.

Mes	Anexo BIGU		FARMAYA	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Octubre	24	24	25	26
Noviembre	22	21	25	26
Diciembre	23	23	26	25
Enero	21	20	25	27
Febrero	22	22	24	24
Marzo	23	23	26	27

*Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011.

2. Conteos de muestreos periódicos y su relación con el porcentaje de humedad relativa

A continuación se presenta la carga fúngica en UFC/m³ de los muestreos periódicos realizados, durante seis meses y su relación con el porcentaje de humedad relativa registrada, en el ambiente interior y exterior de ambos centros incluidos en el estudio.

En el cuadro 4 se observa que en el interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU, la mayor carga fúngica se encontró en diciembre (1560 UFC/m³ ± 9 y 1600 UFC/m³ ± 6), así como el mayor porcentaje de humedad relativa que fue del 67% y 63%, respectivamente. La menor carga fúngica registrada en el interior fue de 450 UFC/m³ y en el exterior fue de 400 UFC/m³ en octubre.

Cuadro 4. Carga fúngica y porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU.

Mes	Interior			Exterior		
	^a UFC/m ³	^b DS	^c %HR	UFC/m ³	DS	%HR
Octubre	450	7	55	400	17	57
Noviembre	520	6	57	430	9	52
Diciembre	1560	9	67	1600	6	63
Enero	450	10	52	1420	79	62
Febrero	890	8	53	1180	18	56
Marzo	1240	9	65	1150	21	56

*Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011.

a: Promedio de carga fúngica expresada en unidades formadoras de colonia por metro cúbico (n=6); b: desviación estándar c: porcentaje de humedad relativa.

En el cuadro 5 se observa el comportamiento de la carga fúngica y el porcentaje de humedad relativa. En los meses muestreados de la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA, la mayor carga fúngica se presentó en el mes de noviembre en el interior ($4970 \text{ UFC/m}^3 \pm 42$) y en el exterior ($4190 \text{ UFC/m}^3 \pm 111$). La menor carga fúngica se registró en el mes de enero en el interior (300 UFC/m^3) y para el exterior (180 UFC/m^3).

Cuadro 5. Carga fúngica en el aire y porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior de la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA.

Mes	Interior			Exterior		
	^a UFC/m ³	^b DS	^c %HR	UFC/m ³	DS	%HR
Octubre	1110	13	70	970	37	66
Noviembre	4970	42	66	4190	111	52
Diciembre	2020	67	52	850	11	43
Enero	300	8	59	180	6	51
Febrero	400	9	53	410	2	52
Marzo	1040	6	52	1070	12	48

*Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011.

a: Promedio de carga fúngica expresada en unidades formadoras de colonia por metro cúbico (n=6); b: desviación estándar c: porcentaje de humedad relativa.

C. Géneros fúngicos aislados e identificados

1. Sección de macrohongos del Herbario BIGU

Como se muestra en el cuadro 6 los géneros *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp, fueron aislados durante los seis meses de la investigación. El que presento un mayor porcentaje fue *Penicillium* sp., tanto en el interior como en el exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU.

Cuadro 6. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU.

Géneros Aislados	%											
	Interior						Exterior					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
<i>Penicillium</i> sp.	57	73	52	89	38	63	67	73	62	87	34	39
<i>Aspergillus</i> sp.	24	10	15	2	37	7	18	13	7	3	24	11
<i>Cladosporium</i> sp.	0	0	22	1	22	11	0	8	19	4	38	37
<i>Fusarium</i> sp.	10	8	7	1	0	0	6	5	7	1	1	0
<i>Rhizopus</i> sp.	0	0	0	0	1	16	0	0	2	0	0	9
Levaduras	0	2	2	0	1	3	0	1	3	0	2	4
Otros	9	7	2	7	1	0	9	0	0	5	1	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

Penicillium sp., presentó su mayor porcentaje en enero con un 89% en el interior y 87% en el exterior. El género *Aspergillus* sp., registró el segundo lugar con el pico máximo de 37% en el interior y 24% en el exterior en el mes de febrero. *Cladosporium* sp., presentó el tercer lugar en el porcentaje de aparición, registró el pico máximo en diciembre con el 22% y en el exterior en febrero con el 38%. *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp. y las levaduras predominaron durante los seis meses de muestreo pero en menor porcentaje (<5%). Las morfoespecies en un porcentaje igual al 5%.

2. Herbario FARMAYA

En el cuadro 7 se muestra los géneros fúngicos encontrados en el interior y exterior de la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA. En cada uno de los meses muestreados, se observa que el género *Penicillium* sp., fue aislado a lo largo de todos los meses de investigación.

Cuadro 7. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior de la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA.

Géneros Aislados	%											
	Interior						Exterior					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
<i>Penicillium</i> sp.	40	34	23	42	29	30	40	29	23	35	24	24
<i>Aspergillus</i> sp.	20	19	18	32	18	7	20	12	7	19	12	4
<i>Cladosporium</i> sp.	0	30	27	20	52	52	0	37	26	39	58	60
<i>Fusarium</i> sp.	7	5	10	0	0	8	7	7	17	0	1	9
<i>Rhizopus</i> sp.	6	2	2	0	0	3	6	3	0	0	2	3
Levaduras	0	1	1	3	1	0	0	2	0	4	3	0
Otros	20	9	19	3	0	0	20	10	27	3	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Datos experimentales obtenidos por los autores de este trabajo como parte del proyecto FODECYT 28-2011.

Penicillium sp. alcanzó el pico máximo en enero con valores de 42% en el interior, mientras que en el exterior fue en el mes de octubre con el 40%. *Cladosporium* sp. ocupó el segundo lugar en el porcentaje de aparición, alcanzó el pico más elevado en febrero con 52% en el interior y con el 58% en el exterior. Se reportó en tercer lugar al género *Aspergillus* sp. con el pico máximo de aparición en enero con 32% en el interior y en octubre con el 20% en el exterior.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados la hora en la que se encontró mayor carga fúngica fue a las 9:30 h en ambos ambientes, esto debido a que en este horario se presentó un mayor flujo de personal que ingresó y egresó del local. La mayor carga se encontró a las 11:30 h en los ambientes esta variación se obtuvo principalmente por el denso tráfico vehicular que se forma a medio día que contribuye a un alto índice de contaminación que ingresa del exterior al interior de dicho local.

Al comparar las concentraciones obtenidas en cada uno de los locales muestreados se apreció una marcada diferencia, evidenciándose una elevada contaminación por hongos microscópicos en el herbario del anexo del BIGU, con un valor en el interior de 2910 UFC/m³ y 1510 UFC/m³ en el exterior, mientras que en relación al herbario FARMAYA las concentraciones obtenidas fueron mayores, 8850 UFC/m³ en el interior y 5310 UFC/m³ en el exterior. Estas concentraciones pueden deberse a que el herbario FARMAYA se encuentra ubicado en una zona de alta afluencia vehicular y contaminación.

En ambos locales se pudo observar una variación en la concentración de hongos microscópicos con respecto a las horas consecutivas de muestreo, tanto en el interior como exterior. Esta variación fue influenciada principalmente por la temperatura y humedad relativa sumándose factores como la lluvia, la velocidad del viento, las actividades propias del lugar incluyendo horario de limpieza, entrada y salida del personal, ya que este último 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 realizadas (Guerrero, 1996).

Respecto a la carga fúngica y porcentaje de humedad relativa del ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU, se observó que en ambos ambientes se registró una máxima concentración fúngica de 1560 ± 9 UFC/m³ y 1600 ± 6 UFC/m³, durante el mes de diciembre, lo cual representó un

valor elevado según lo mencionado por Reynolds, Streifel & Jilton, (1990), que concentraciones de esporas de hongos en el aire que excedan de 500 UFC/m³ indican una condición anormal en el aire interior y exterior. Estos resultados concordaron con lo señalado por Douwes, et al., (1999), quienes indicaron que cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los hongos lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos.

El resto de los meses muestreados presentaron concentraciones dispersas por debajo de 1300 UFC/m³, lo cual puede estar influenciado por la disminución del porcentaje de humedad relativa, puesto que en octubre el ambiente interior y exterior registró la menor concentración fúngica 450 ± 7 UFC/m³, 400 ± 17 UFC/m³ y el menor porcentaje de humedad relativa 55% y 52% respectivamente. Hurst, Crawford, Garland, Lipson, Mils & Stetzenbach, (2002), indicaron que cuando mayor es la temperatura, menor será la humedad relativa y viceversa por lo que la combinación entre la humedad relativa y temperatura no puede despreciarse ya que es difícil separar los efectos que producen ambas en los hongos. Lo anterior demostró con los resultados obtenidos en el ambiente interior y exterior en el mes de octubre, ya que se registró el menor porcentaje de humedad relativa y la mayor temperatura. Con esto se comprobó que el crecimiento fúngico es directamente proporcional al porcentaje de humedad relativa e inversamente proporcional a la temperatura, es decir que a medida que la humedad relativa aumenta también incrementa el crecimiento fúngico y a mayor temperatura disminuye el crecimiento fúngico.

La relación entre la carga micológica en el ambiente interior y exterior de la sección de farmacobotánica de FARMAYA, con respecto a la temperatura y porcentaje de humedad relativa, mostró que en el ambiente interior de este local se registró una concentración fúngica de 4970 ± 42 UFC/m³ y en el exterior de 4190 ± 111 UFC/m³ en el mes de noviembre. Este fue el mes que mayor carga fúngica presentó, seguido de diciembre y octubre. Esta variación en la carga micológica en cada uno de estos meses, se debió a que son los últimos del año y

la frecuencia con que se hace la limpieza disminuye. Además que en estos meses se presentaron los porcentajes de humedad relativa más altas favoreciendo la proliferación fúngica.

Otro aspecto muy importante observado durante el muestreo, fue que uno de los puntos muestreados poseía humedad en el techo por una fuga de agua (anexo 4), sumado a que en el mismo punto se encuentra una ventana de paletas, que representa un foco de contaminación, ya que permite el ingreso de esporas fúngicas desde el exterior, aumentando la concentración de contaminantes en el aire. Gots, Layton & Pirajes, (2003), demostraron que las esporas fúngicas están muy bien adaptadas para poder ser diseminadas por el aire, como por ejemplo: aire no filtrado, sistemas de ventilación, aire acondicionado, polvo de las construcciones, alfombras, plantas ornamentales e incluso estanterías de almacenamiento, que en el caso del local muestreado en las estanterías se almacenan las especies de interés científico.

En los meses de enero, febrero y marzo se presentaron concentraciones menores con respecto a octubre, noviembre y diciembre, debido a que en estos meses reportaron los porcentajes de humedad relativa más bajos. Un dato de importancia es que al inicio de las actividades anuales en este local se realiza una limpieza profunda, lo que disminuye la carga fúngica del mismo.

Los niveles de concentración fúngica obtenidos en la sección de macrohongos del herbario del BIGU y la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA a lo largo de los 6 meses muestreados superaron ampliamente los valores límites establecidos por Reynolds, Streifel & Jilton, (1990). Por este motivo, pueden clasificarse los ambientes interior y exterior como contaminados.

Luego de realizar los recuentos, se procedió a la identificar los géneros fúngicos durante el período de 6 meses y se evidenció la presencia de hongos en estos ambientes. *Penicillium* sp. fue predominante en el interior y exterior en ambos locales, en comparación con *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp.. La alta frecuencia de *Penicillium* sp. en el ambiente interior y exterior, puede deberse al

hecho reportado por Jackson (2000), que demostró que este género junto con *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y *Alternaria* sp. entre otros, se han aislado de muestras de aire no filtrado, sistemas de aire acondicionado, superficies, alimentos, plantas ornamentales, celulosas de muebles, papel de paredes y polvo doméstico. Se considera que la ubicación de la sección de macrohongos del herbario BIGU, que se encuentra rodeada de árboles y el herbario FARMAYA que se ubica en un lugar de alta afluencia vehicular, favoreció la mayor aparición de este hongo.

Adicionalmente, otros géneros que se encontraron con mayor frecuencia fueron *Aspergillus* sp. y *Cladosporium* sp., en el ambiente interior y exterior de ambos locales. Estos géneros mostraron su mayor porcentaje de aparición en los meses de enero a marzo. La razón de su frecuencia en estos meses se ve respaldada principalmente por las condiciones climáticas registradas en estas fechas, ya que las esporas de *Aspergillus* sp., son clasificadas como mitospóricas, lo que conlleva a que su crecimiento y propagación se vea favorecida por la desecación y altas temperaturas (Arenas, 2008). La variación de la temperatura y humedad en estos meses son factores importantes para el crecimiento de estos hongos, por lo que es fácil deducir que al carecer de este sistema, el factor temperatura influya en el desarrollo de los mismos.

El género que mostró un porcentaje bajo de aparición fue *Fusarium* sp. en los meses de octubre a enero. Este es un hongo de distribución universal que usualmente se encuentra como saprofito de suelo, según lo indica De Hoog, et al., (2000). La mayoría de las especies de este género son más comunes en áreas tropicales, subtropicales y climas fríos, por lo que se explica la presencia de este género en estos meses fríos y que Guatemala es considerado como un país subtropical.

Otros géneros menos frecuentes fueron *Rhizopus* sp. y *Mucor* sp.. Estos se encuentran distribuidos en un amplio rango de materiales, plantas, frutas y vegetales en descomposición (Angel, 2006). En los cuadros 6 y 7 se observa que se aislaron levaduras en ambos locales, durante los meses de noviembre,

diciembre, febrero y marzo, a excepción de octubre y enero, estas se encuentran distribuidas ampliamente en la naturaleza por ejemplo frutas, flores, corteza de árboles, ya que la principal fuente de crecimiento de las levaduras son los azúcares (Madigan y Martinko, 2004). La temperatura de crecimiento de la mayoría de las levaduras está comprendida entre 5 y 37 °C. El valor óptimo se sitúa hasta los 28 °C (Hiriano, 2000). Al tomar en cuenta lo anterior, ambos locales como se observa en el cuadro 3 presentaron el rango óptimo de temperatura para su crecimiento.

X. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del herbario BIGU y la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA está contaminado por hongos microscópicos.
2. Se determinó la carga máxima por hongos microscópicos en la sección de macrohongos del herbario BIGU y la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA, las que fueron $1560 \text{ UFC/m}^3 - 4970 \text{ UFC/m}^3$ en el ambiente interior y $1600 \text{ UFC/m}^3 - 4190 \text{ UFC/m}^3$ en el ambiente exterior.
3. Los géneros fúngicos que se encontraron con mayor frecuencia representan un riesgo de biodeterioro para las colecciones de interés científico de ambos laboratorios, fueron, en orden predominante *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp.

XI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios aerobiológicos con el fin de poder medir el potencial de biodeterioro que poseen los hongos microscópicos.
2. Implementar normativas que contribuyan al mejoramiento en la calidad aerobiológica en ambientes interiores y exteriores en edificios que poseen artículos de interés cultural y científico.
3. Implementar registros diarios de limpieza, temperatura y porcentaje de humedad relativa para poder llevar un control de las mismas y así realizar acciones correctivas
4. Incorporar deshumificadores en los ambientes que estén cerrados con el fin de disminuir el porcentaje de humedad relativa y con esto también disminuir la concentración de hongos microscópicos.

XII. REFERENCIAS

- Albright, D. (2001). Human health effects of airborne mycotoxins exposure in fungi contaminated indoor environment, profesional safety. *American Society of Safety Engineers*, 46(11), 26-28.
- Angel, D. (2006). Evaluación de técnicas de conservación para hongos filamentosos y levaduriformes en el cepario de la Pontificia Universidad Javeriana. (Tesis de graduación: Microbiología Industrial). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Colombia.
- Arenas, R. (2008). *Micología Medica Ilustrada*. (3^{ra} Ed). México D. F: Mc Graw Hill Interamericana.
- Arias, E. y Piñeros, P. (2008). Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de suelo de los Paramos de Guasca y Cruz Verde. (Tesis de graduación: Microbiología Industrial). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Colombia.
- Arias, J. y Jerez, A. (2008). Elaboración de un atlas para la descripción Macroscópica y microscópica de hongos fitopatógenos de interés en especies de flores de corte cultivadas en la sabana Bogotá. (Tesis de graduación: Microbiología Industrial). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Colombia.
- Buttner, P. & Stetzenbach, I. (1991). Evaluation of four aerobiological sampling methods for the retrieval of aerolized *Pseudomonas syringae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(4), 1268-1270.
- CALAS. (2003). Programa de Información Estratégica. Legislación para la Modernización del Estado (Legislación Casual Ambiental Guatemalteca). (2^{da} Ed.). Guatemala: Centro de acción legal-ambiental y social de Guatemala.

- Cappitelli, F., Nosanchuk, J., Casadevall, A., Toniolo, L., Brusetti, L., Florio S. Principi, P. & Sorlini, C. (2007). Synthetic consolidants attacked by melanin producing fungi: case study of the biodeterioration of Milan Cathedral (Italy) marble treated with acrylics. *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 271-277.
- Comité europeo de normalización (CEN). (1999). Normas sobre los parámetros de ventilación y diseño de ambientes interiores concentrations of fungi in residential and office en vironments. *American Industrial Association Journal*, 51, 601-604.
- Crook, B. (1996). Methods of monitoring for process microorganisms in biotechnology. *Annals of Occupational Hygiene*, 40(3), 245-260.
- De Hoog, G., Guarro, J., Gené, M. & Figueras, J. (2000). Atlas of clinical fungi. (2nd Ed.). Netherlands: Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht.
- Del Palacio, A., Villar, J. y Alhambra, A. (2009). Epidemiología de las candidiasis invasoras en población pediátrica y adulta. *Revista Iberoamericana de Micología*, 26(1), 2-7.
- Douwes, J., Van Der Sluis, B., Doekes, G., Van Leusden, F., Wijnands, L., Van Strien, R., Verhoeff, A. ... Brunekreef, B. (1999). Fungal extracellular polysaccharides in house dust as a marker for exposure to fungi: relation with culturable fungi, reported home dampness, and respiratory symptoms. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 103, 494–500.
- Eduard, W. & Heederik, D. (1998). Methods for cuantitative assessment of airborne levels of noninfectious microorganisms instalación highly contaminated work environments. *American Industrial Hygiene Association*, 59(2), 113-127.

- Farina, C., Vailati, F., Manisco, A. & Goglio, A. (1999). Fungaemia survey: a 10 year experience in Bergamo, Italy. *Mycoses*, 42, 543-548.
- Florian, E. (2004). Fungal facts: Solving fungal problems in heritage collections. London: Archetype Publications Ltd.
- Gall, F. (1983) Diccionario Geográfico de Guatemala. (2^{da} Ed.). Guatemala: Instituto Geográfico Nacional.
- Giraldo, M., Torres, C. y Díaz, J. (2009). Aislamiento de hongos celulíticos causantes del biodeterioro de la Biblioteca Central de la Universidad del Valle (Cali-Colombia). *Revista Mexicana de Micología*, 29,9-14.
- Gots, R., Layton, N. & Pirajes, S. (2003). Indoor health: Background levels of fungi. *American Industrial Hygiene Associations Journal*, 64, 427-478.
- Griffiths, W. & De Coseno, G. (1994). The assessment of bioaerosols: a critical review. *Journal of Aerosol Science*, 25(8), 1425–1458.
- Guardino, X. (2001). Medición de contaminantes biológicos en el aire. España: Universidad Oberta de Cataluña.
- Guasch, J. (2001). Control ambiental en interiores. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Guerrero, R. y Arias, L. (2006). Determinación de la eficacia de dos especies de hongos del genero *Trichoderma*, para el control de enfermedades de la mazorca de cacao. (Tesis de graduación: Ingeniero Agrónomo). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Agronomía, Ecuador.
- Guevara, M., Urcia, F. y Casquero, J. (2007). Manual de procedimientos y técnicas de laboratorio para la identificación de los principales hongos oportunistas causantes de micosis humanas. Lima: Instituto Nacional de Salud.

- Gutarowska, B., Skora, J., Zduniak, K. & Rembisz, D. (2012). Analysis of the sensitivity of microorganisms contaminating museums and archives to silver nanoparticles. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 68, 7-17.
- Hernández, A. y Martí, M. (2003). Contaminantes biológicos, criterios de valoración. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Herrera, J. (2003). Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala. Instituto de Incidencia Ambiental. (Tesis de graduación: Ingeniero Agrónomo). Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Guatemala.
- Hiriano, S. & Upper, C. (2000). Bacterial in the leaf ecosystem with emphasis on *Pseudomonas syringae* a pathogen, ice nucleus, and epiphyte. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(3), 624 - 653.
- Hurst, C., Crawford, R., Garland, J., Lipson, D., Mils, A. & Stetzenbach, L. (2002). Fate and transport of microorganisms in air. (Pp. 961-971). In Mohr, A. *Manual of Environmental Microbiology*. Washington: ASM Press.
- Hurst, C., Crawford, R., Garland, J., Lipson, D., Mils, A. & Stetzenbach, L. (2002). Aerobiology of agricultural pathogens. (Pp. 1031-1047). In Levetin, E. *Manual of Environmental Microbiology*. Washington: ASM Press.
- Holmberg, K. (1987). Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. *International Journal of Indoor of Environment Health*, 2, 26-35.
- IDEADS. (2001). Manual de Legislación Ambiental de Guatemala. Guatemala: Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable.
- Jackson, S. (2000). Indicators of Mold Growth in indoor environments. (Thesis Master of Science), Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Washington.

- Koneman, E. (2008). *Diagnostico Microbiológico*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Macher, J. & Macher, M. (1997). Evaluation of bioaerosol sampler performance. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 12(11), 730-736.
- Madigan, M. y Martinko, J. (2004). *Biología de los Microorganismos*. (10^a Ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Mandrioli, P. (2002). *Bioaerosol and biodeterioration*. London: UCL Center for Sustainable Heritage.
- Martínez, J. y Gómez, E. (2007). *Calidad de ambientes interiores*. Madrid: Top Printer Plus.
- Michaelsen, A., Piñar, G. & Pinzari, F. (2010). Molecular and microscopically investigation of the microflora inhabiting a deteriorated Italian manuscript dated from the Thirteenth Century. *Microbial Ecology*, 60, 69-80.
- Mitchell, R. & McNamara, C. (2010). Cultural heritage Microbiology. (Pp. 97-110). In Garside, P. *Textiles*. Washington: ASM Press.
- Nevalainen, A. & Morawska, L. (2009). *Biological agents in indoor environments. Assessment of health risks*. Organización Mundial de la Salud.
- Nielsen, E., Breum, N., Nielsen, B., Wurtz, H., Poulsen, O. & Midtgaard, U. (1997). Bioaerosol exposure in waste collection: a comparative study on the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Annals of Occupational Hygiene*, 41(3), 325-344.
- Oliva, P. (2007). Informe anual 2007. Monitoreo del Aire en la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Ortega, L. (2002). Determinación de hongos filamentosos asociados a cráneos de Colección del Instituto Alexander Von Humboldt y evaluación en *in vitro* de sustancias biosidas para su control. (Tesis de graduación: Microbiología Industrial). Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Colombia.
- Pérez, E., Castillo, E., Serpa, E., Rodríguez, F., Anaya, F., Espinel, Y., Gálvez, M. y Gómez, E. (1998). Manual para el cuidado de objetos culturales. Bogotá: Ministerio de Cultura.
- Pinzari, F., Pasquariello, G. & De Mico, A. (2006). Biodeterioration of paper: A SEM study of fungal spoilage reproduced under controlled conditions. *Macromolecular Symposia*, 238, 57–66.
- Pontón, J., Moragues, M., Gené, J., Guarro, J. y Quindós, G. (2002). Hongos y actinomicetos alergénicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 38, 19-21.
- Proyecto FODECYT, 40 - 2007. Contaminación micología del aire en ambientes interiores y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Proyecto FODECYT, 2-2008. Impacto de la contaminación del aire en ambientes exteriores e interiores sobre la salud del personal que labora en cuatro laboratorios de instituciones en Bárcenas. Villa Nueva y en la Ciudad de Guatemala.
- Reponen, T., Nevalainen, A., Jantunen, M., Pellikka, M. & Kalliokostki, P. (1992). Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in a subarctic climate. *International Journal of Indoor of Enviroment Health*, 2, 26-31.
- Reynolds, S., Streifel, A. & Jilton, C. (1990). Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environments. *American Industrial Association Journal*, 51, 601-604.

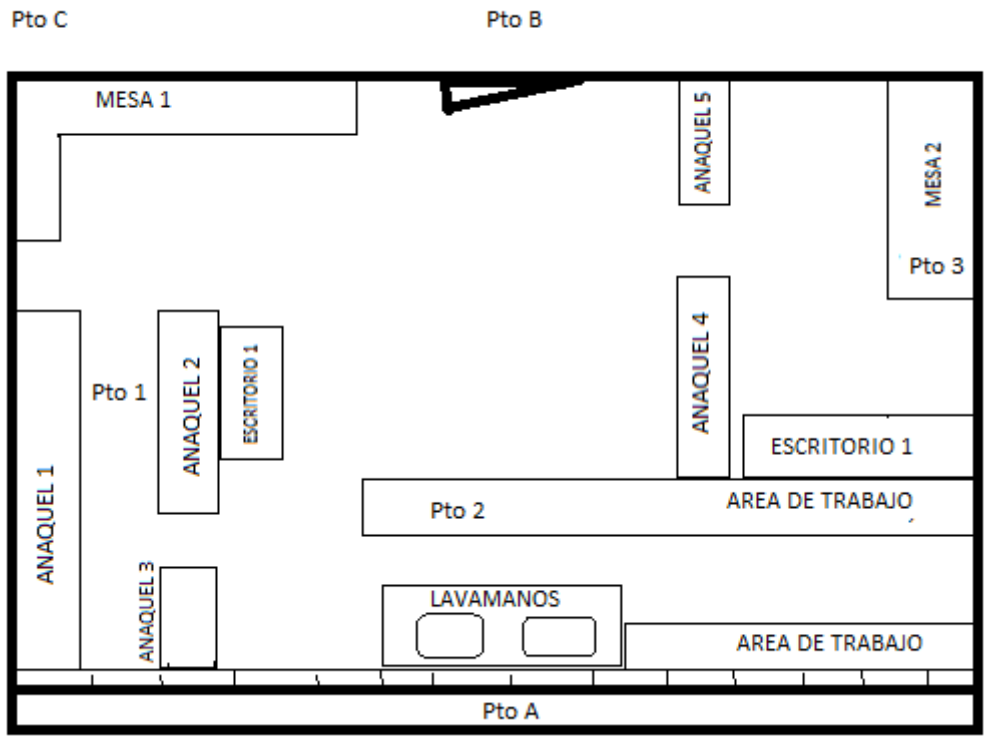
- Rojas, T. y Martínez. E. (2000). Monitoreo microbiano del aire: Criterios metodológicos. Contribución a la educación y protección ambiental. *VI Taller de la Cátedra de Medio Ambiente, 1*, 110-115.
- Romero, M., Más, P., Lacasaña, M., Téllez, M., Aguilar, J. y Romieu, I. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad de La Habana. *Salud Publica de México, 46(3)*, 222-223.
- Schell, W. (2000). Unusual fungal pathogens in fungal rhinosinusitis. *Otolaryngologic Clinics of North America, 33(2)*, 367-373
- Tangarife, V. (2011). *Candida* spp. Escuela de Microbiología Universidad de Antioquia. Recuperado de: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=100778>
- Tobar, D., (2002). Informe de la curaduría de la colección de mariposas. Bogotá: Wolfgang Schmidt Mumm.
- Universidad de Buenos Aires, (UBA). (2010). Guía de Trabajos Prácticos, Área de Microbiología e Inmunología. Departamento de Química Biológica, Facultad de Medicina, Argentina.
- Vaillant, M. (2013). Biodeterioro del patrimonio histórico: Alternativas para su erradicación y control. Madrid: Ministerio de la Educación y Cultura.
- Valdez, B., Hernández, M. y Rodríguez, J. (2007). Aplicación de diferentes técnicas analíticas para evaluar la contaminación fúngica de alimentos y superficies, (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Veterinaria, España.

Valentín, N. (2010). Microorganisms in museum collections. *Coalition*, 19, 2-5.

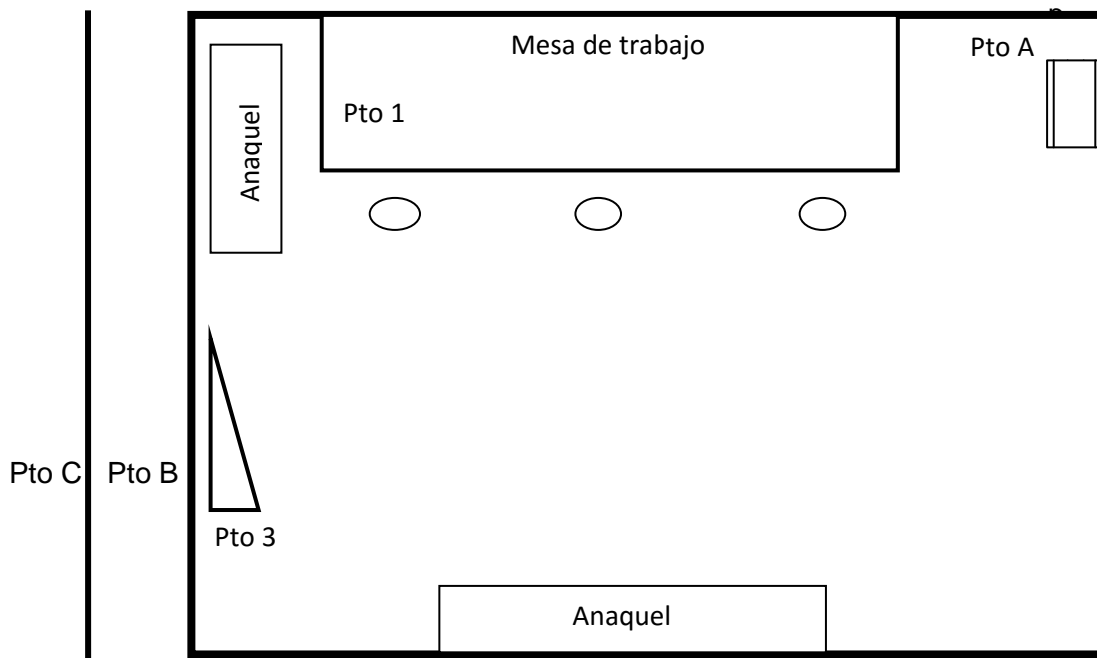
Verhoeff, A., Van Wijnen, J., Boleij, J., Brunekreef, B., Van Reenen, E. & Samson, R. (1990). Enumeration and identification of airborne viable mould propagules in houses, *European Journal Of Allergy And Clinical Immunology*, 45(4), 275-284.

XIII. ANEXOS

1. Sección de macrohongos anexo herbario BIGU



2. Sección de farmacobotánica herbario FARMAYA



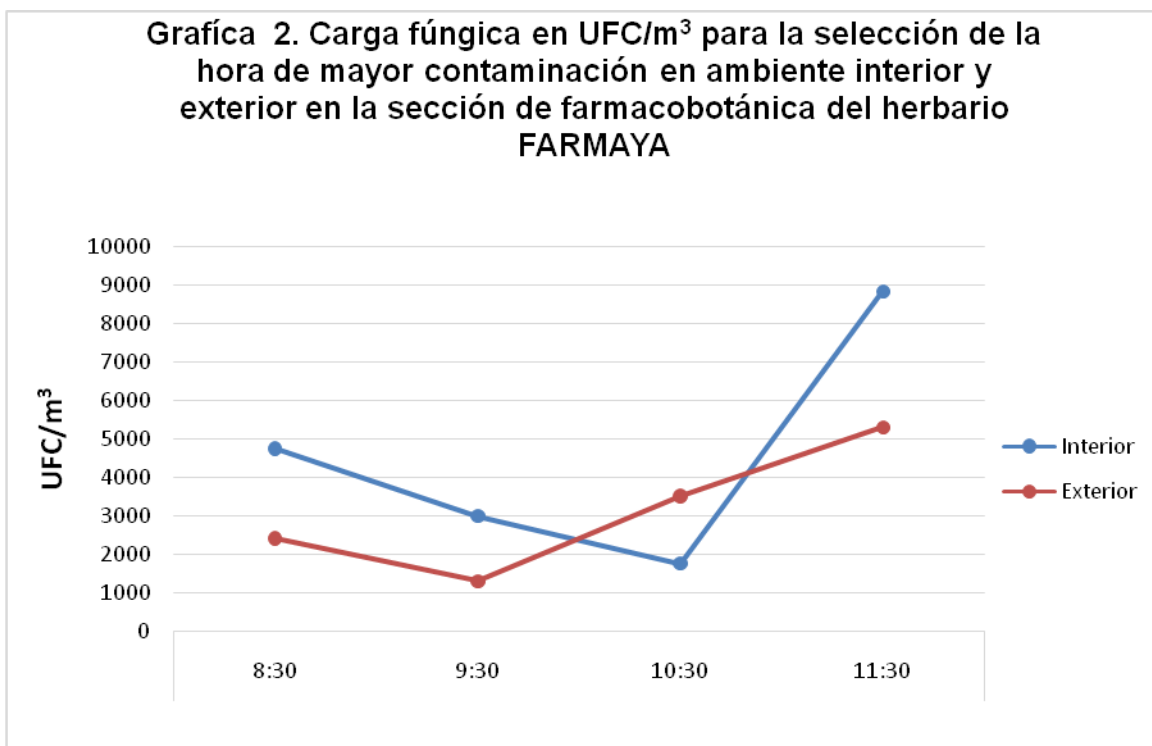
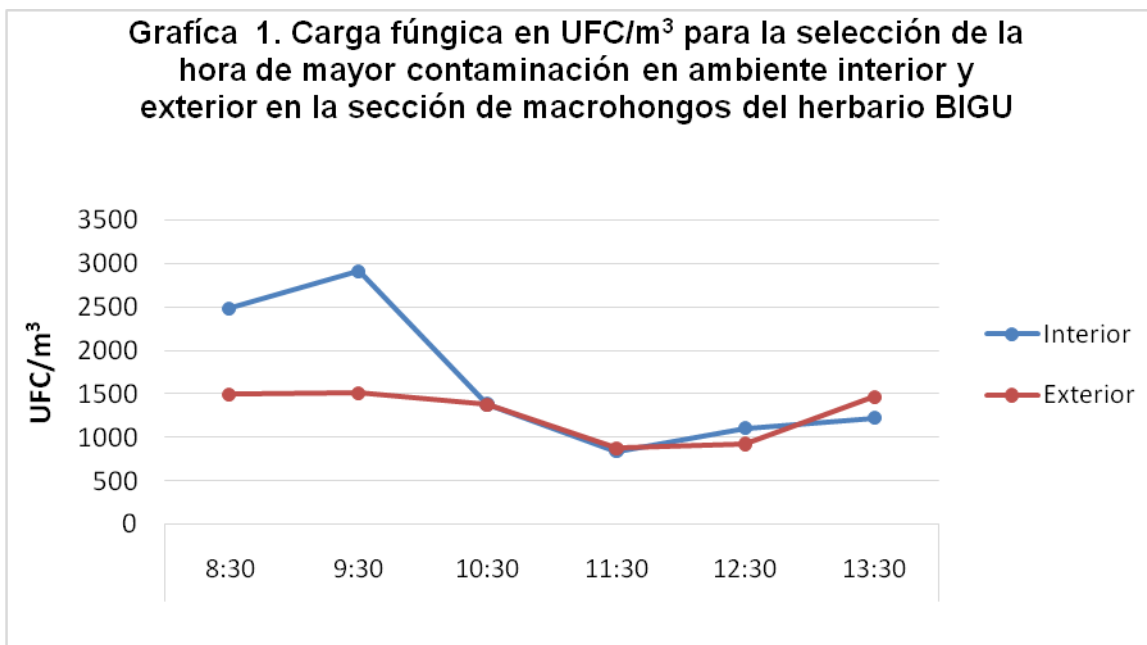
3. Muestreo de ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos anexo herbario BIGU



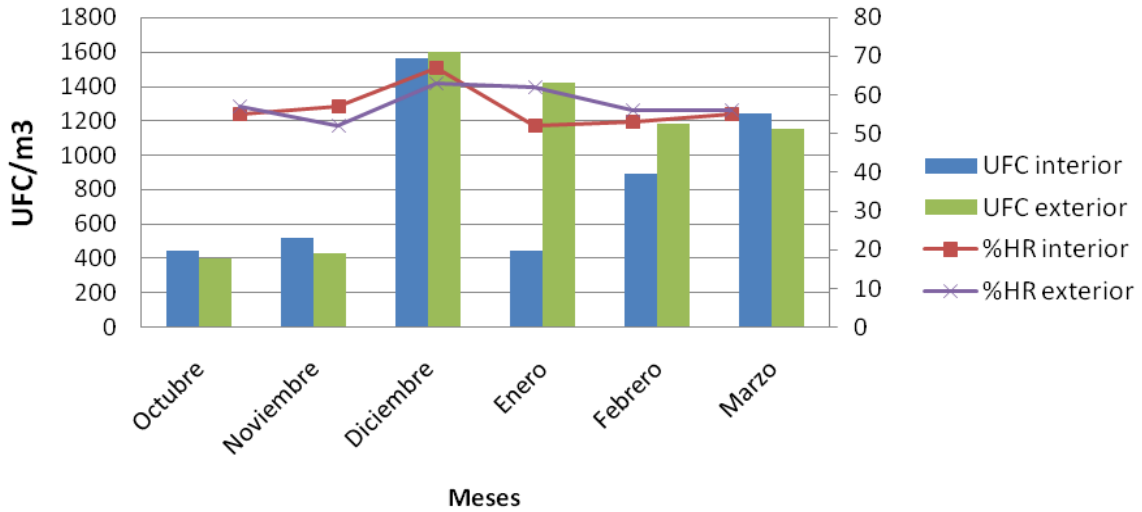
4. Muestreo ambiente interior y exterior de la sección de farmacobotánica herbario FARMAYA



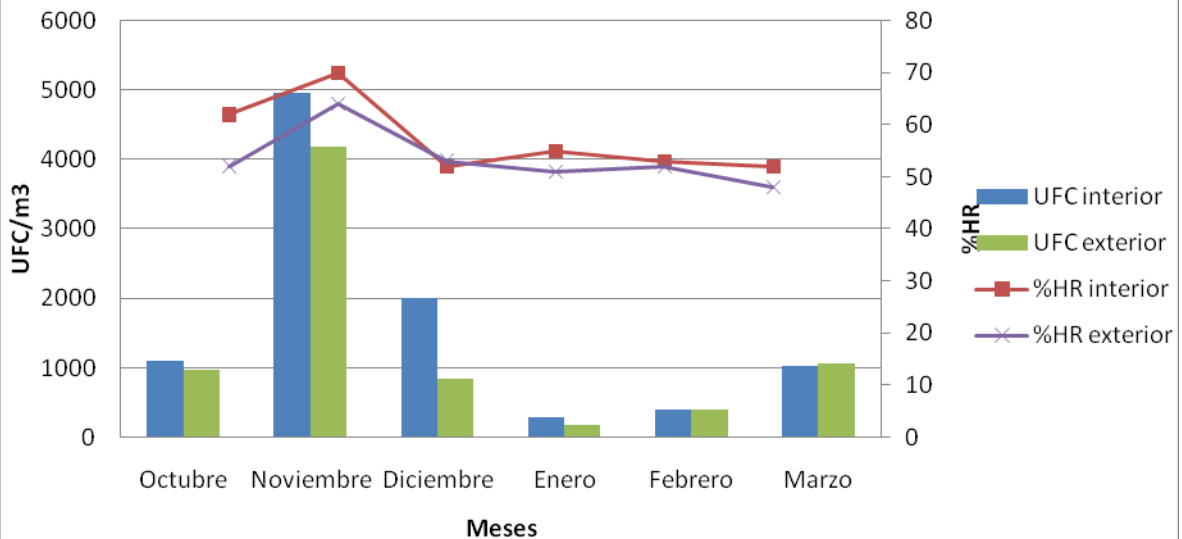
5. Graficas de Resultados



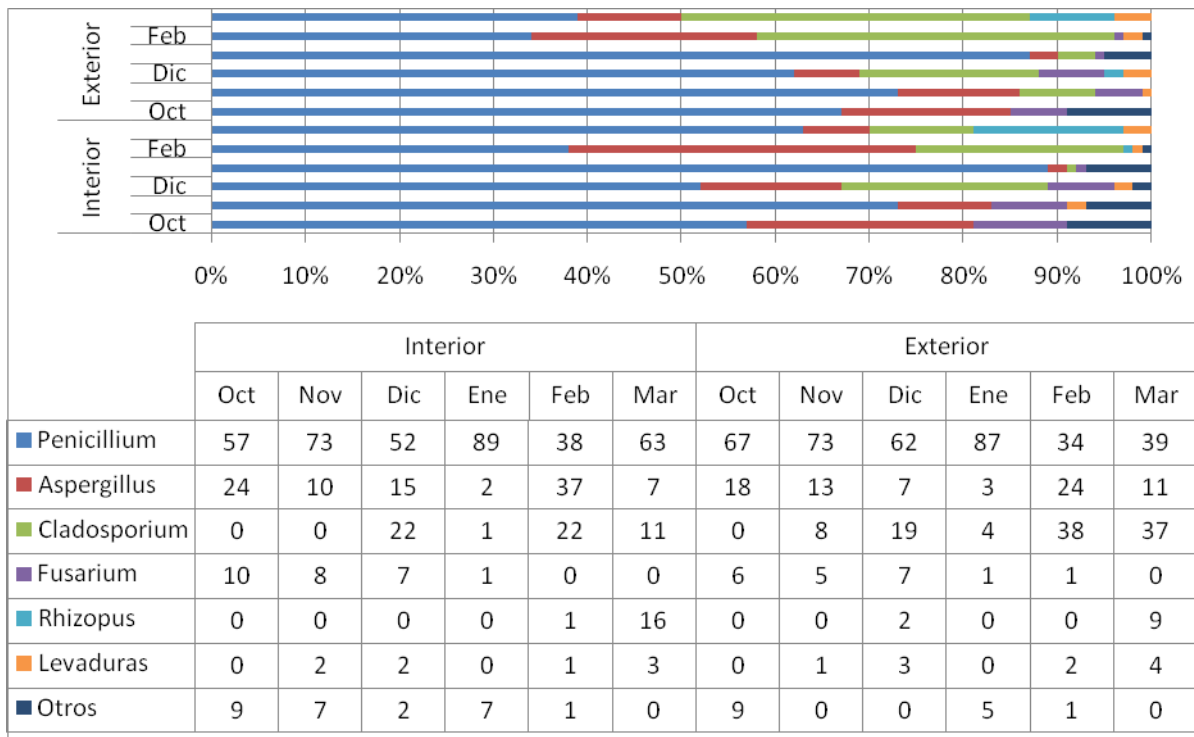
Gráfica 3. Carga fúngica y porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del Herbario BIGU



Gráfica 4. Carga fúngica Vrs porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior de la sección de farmacobotanica del herbario FARMAYA.



Gráfica 5. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior en la sección de macrohongos del herbario BIGU.



Gráfica 6. Porcentaje de géneros fúngicos aislados en el interior y exterior en la sección de farmacobotánica del herbario FARMAYA.

