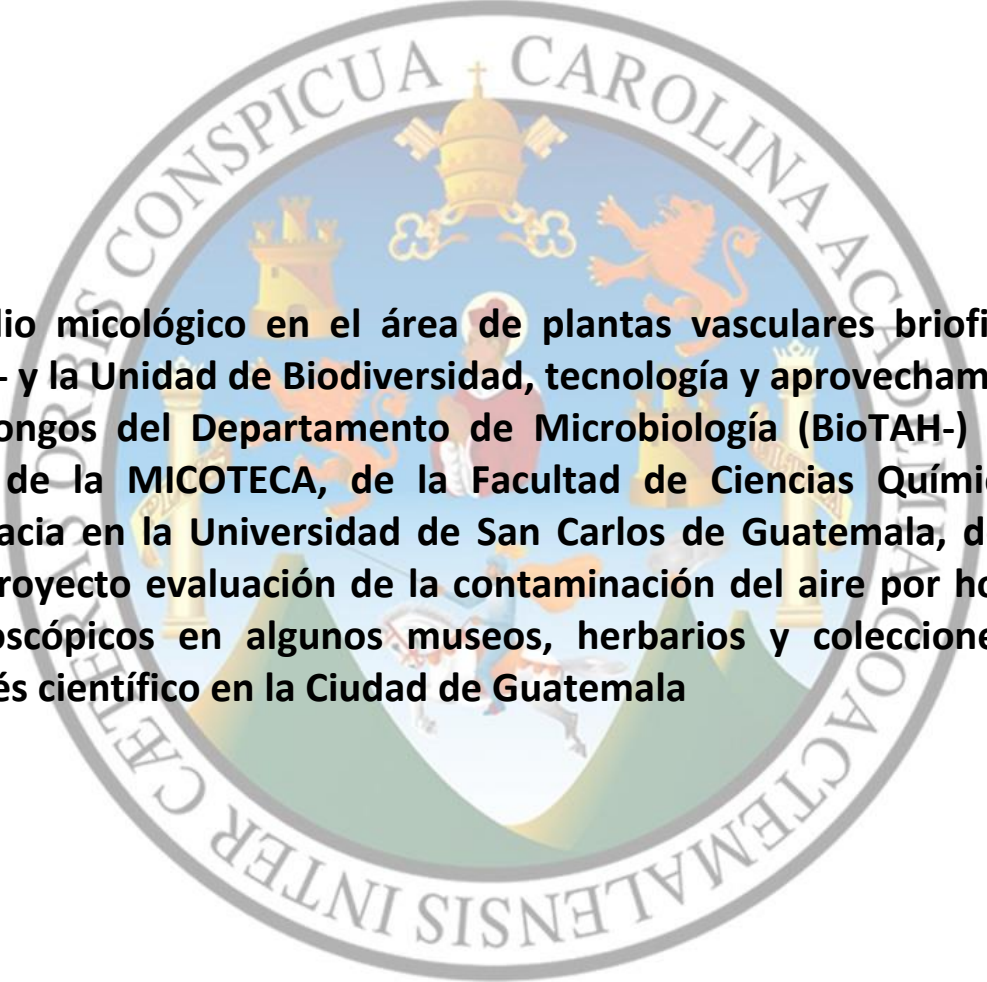


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



Estudio micológico en el área de plantas vasculares briofitas – BIGU- y la Unidad de Biodiversidad, tecnología y aprovechamiento de hongos del Departamento de Microbiología (BioTAH-) en el área de la MICOTECA, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro del proyecto evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en algunos museos, herbarios y colecciones de interés científico en la Ciudad de Guatemala

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

María Alejandra Martínez Rosales

QUÍMICA BIÓLOGA

Guatemala, Abril 2018

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

“Estudio micológico en el área de plantas vasculares briofitas –BIGU- y la Unidad de Biodiversidad, tecnología y aprovechamiento de hongos del Departamento de Microbiología (BioTAH-) en el área de la MICOTECA, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro del proyecto evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en algunos museos, herbarios y colecciones de interés científico en la Ciudad de Guatemala”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PRESENTADO POR

María Alejandra Martínez Rosales

**Para optar por el título de
QUÍMICA BIÓLOGA**

Guatemala, Abril 2018

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
M.Sc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mamá Esperanza, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, su buen actuar hacia los demás, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y seguir adelante, pero más que nada, por su amor.

A papá Chente, por su ejemplo de perseverancia, honestidad, su amor hacia el prójimo, por haber colocado siempre en mí una sonrisa, a soñar en grande pero sobre todo por haberme dado su infinito amor.

A mis profesores, por confiar y creer en mí, a la Dra. Karin Herrera por su apoyo y motivación a lo largo de la carrera, Licda. Wendy Chámales por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, a mi revisora Licenciada Alba Marina por su tiempo y dedicación, por guiarme en este proceso, muchas gracias.

No te rindas que la vida es eso,
continuar el viaje,
perseguir tus sueños,
destrabar el tiempo,
correr los escombros,
y destapar el cielo,
siempre, siempre, siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad San Carlos de Guatemala por haberme abierto las puertas, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante. Agradezco también a mi asesora de proyecto la Dra. Karin Herrera, así como a la Licda. Wendy Chámale, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico y haberme guiado en todo el desarrollo de esta investigación.

A la Licenciada María Del Carmen Bran y al Ingeniero Agrónomo Mario Veliz, por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por su apoyo por y sobretodo por su colaboración hacia mi persona.

A mis padres, Apy y Luis por creer en mi por apoyarme y darme aliento a seguirá adelante, a mis hermanos (Gaby, Gordo, José) a mi tía Lucky, por su amor y cariño, mis primos hermanos (Marbella, Chentio, Qucky) por cuidarme en cada etapa de este proyecto, animándome a seguir adelante, a las familias Barrios Morales, González López, Hernández, De León Fajardo.

A mis amigos, que han sido claves en mi vida que me han apoyado en todo momento dándome fuerzas para seguir adelante, a superar los obstáculos y lo más importante a creer en mí y que todo es posible, en especial a (Pako, Ligia, Paula, Gaby, Luis, Douglas, César).

Gracias al Sr. Fernando Málaga, por permitirme crecer y desarrollarme profesionalmente dentro de su empresa, gracias a todos en Alerta Medica.

Una especial gratitud a Marc Barrios, mi compañero, por su ayuda por estar conmigo durante todo este proceso motivándome, por confiar en mi y lograr este proceso, gracias de todo corazón.

INDICE

	Página
I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	1
II. RESUMEN	2
III. ANTECEDENTES	3
A. Importancia de las colecciones	3
B. Calidad del aire	4
B.1 Calidad del aire en Guatemala	5
B.2 Principales contaminantes atmosféricos	7
B.3 Fuentes contaminantes del aire	10
B.4 Contaminantes biológicos	11
C. Valores límites de exposición para los bioaerosoles	14
C.1 Evaluación de la exposición a contaminantes biológicos	15
D. El biodeterioro de materiales orgánicos	16
D.1 Los hongos y las bacterias como contaminantes microbiológicos más frecuentes	16
D.2 Factores ambientales que influyen en la contaminación microbiológica de las colecciones	18
D.3 Tratamientos alternativos para el control de microorganismos en las colecciones	19
D.4 La prevención del deterioro	20
E. Sistemas de ventilación y climatización en la calidad del aire	20
E.1 Riesgos para la salud	25
E.2 Hongos	26
E.2.1 Especies más comunes de hongos microscópicos en el aire interior	27
E.3 Micotoxinas en ambientes laborales	28
E.4 Vías de exposición de micotoxinas	29
F. Medios para controlar las fuentes de contaminación	30
IV. JUSTIFICACIÓN	32
V. OBJETIVOS	33
VI. HIPÓTESIS	34
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	35
A. Selección de las áreas de muestreo	35
B. Métodos de recolección de muestras	36
C. Medición de temperatura y humedad relativa	36
D. Preparación de medios de cultivo	36
E. Muestreo periódico por impactación	37
F. Métodos de análisis de muestras	37

G. Análisis estadístico	38
VIII. RESULTADOS	39
A. Selección de la hora de mayor contaminación	39
B. Medición de temperatura	40
C. Determinación de carga fúngica y humedad relativa	40
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
X. CONCLUSIONES	47
XI. RECOMENDACIONES	48
XII. CRONOGRAMA	49
XIII. BIBLIOGRAFÍA	52
XIV. ANEXOS	60

I. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN

En Guatemala, El Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FODECYT), ha realizado anteriormente dos proyectos de investigación uno de ellos es el proyecto No. 40-2007 que trata sobre la calidad micológica del aire y el impacto del mismo sobre el ambiente exterior e interior de diferentes áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y el proyecto No. 02-2008 sobre la calidad micológica y bacteriológica del aire en cuatro laboratorios (LAFYM, LAMIR, EMPAGUA y AMSA), que fue dirigido al análisis de los riesgos para la salud a los que se enfrenta el personal de esos laboratorios. En ambos proyectos se obtuvo información importante que contribuyó a generar manuales sobre limpieza y desinfección y bioseguridad específicos para cada uno de los lugares muestreados.

Este proyecto que se desarrolló, en el marco 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" se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala en los establecimientos del Herbario de la Escuela de Biología –BIGU-, y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-, ubicados en los edificios T-10 y T-12 respectivamente de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. En estos establecimientos se manipulan directa e indirectamente plantas secas o herborizadas y especímenes de hongos desecados para su posterior estudio. Se analizó la calidad microbiológica del aire en los ambientes de dichos establecimientos, específicamente de esporas fúngicas, para establecer el nivel de contaminación actual y el impacto que pueden provocar en las colecciones de plantas y en los especímenes de hongos desecados así también establecer como pueden estos afectar al personal que se encuentra expuesto en estos ámbitos. Para llevar a cabo este estudio se realizó un muestreo periódico en horas establecidas como las de mayor contaminación y así lograr determinar la carga fúngica mediante los procedimientos de impactación.

II. RESUMEN

Se estudió el ambiente interior y exterior en el Herbario de la Escuela de Biología –BIGU-, y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta –MICG-, ubicado en los edificios T-10 y T-12 respectivamente de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. En estos establecimientos se manipulan directa e indirectamente plantas secas o herborizadas y especímenes de hongos desecados para su posterior estudio. Se analizó la calidad microbiológica del aire en los ambientes de dichos establecimientos, específicamente de esporas fúngicas, para establecer el nivel de contaminación. Se seleccionó un área interior y área exterior de cada establecimiento para determinar los niveles de contaminación microbiológica ambiental. Las muestras fueron colectadas una vez al mes durante seis meses que comprendieron los meses de Octubre 2011 a Marzo 2012.

La técnica empleada para el muestreo del aire interior y exterior de ambos establecimientos 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%,. Las muestras fueron incubadas a una temperatura de 28 °C por 7 días, con el fin de determinar la carga fúngica, para determinar la hora de mayor contaminación se realizó un muestreo intradiurno de 6 horas. La hora de mayor contaminación que se registró en el –BIGU-, en el ambiente interior fue a las 11:00 horas y para el ambiente exterior fue a las 14:00 horas, mientras que la hora de mayor contaminación en el ambiente interior de la MICOTECA fue a las 13:30 y en el área exterior fue a las 14:30 horas.

Posteriormente se realizaron muestreos periódicos durante seis meses en las horas mencionadas, en donde se determinó que en el área de plantas vasculares briofitas –BIGU-, la mayor concentración de carga fúngica se obtuvo en el mes de Noviembre ($1167 \text{ UFC/m}^3 \pm 30 \text{ UFC/m}^3$), mientras que en el área exterior fue en el mes de Octubre presentando una concentración fúngica de $1960 \text{ UFC/m}^3 \pm 47 \text{ UFC/m}^3$. En la Micoteca, la hora que presento mayor concentración de carga fúngica para el ambiente interior fue a las 13:30 h con una carga fúngica de 1980 UFC/m^3 (Klanova K. 2000)

III. ANTECEDENTES

A. Importancia de las colecciones

Las colecciones biológicas representan el patrimonio natural de un país o región, constituyen un archivo histórico natural de utilidad múltiple donde la preservación de especímenes y su información asociada son la base de estudios taxonómicos, sistemáticos, ecológicos, filogenéticos, biogeográficos, de genética de poblaciones y conservación formando parte fundamental en el conocimiento de la diversidad biológica y en el avance de las ciencias biológicas. Así, las colecciones biológicas son los depositarios de la biodiversidad, entendida como la riqueza, abundancia y variabilidad de todas las especies, comunidades y los procesos ecológicos y evolutivos que ocurren dentro de las mismas (Videl, 2002).

Las colecciones biológicas sirven no solo para la comunidad científica, también han sido muy beneficiosas para la sociedad desempeñando un papel vital en aspectos de salud humana (vectores de enfermedades, estudio de patógenos) y monitoreo de cambios ambientales (como bioindicadores de contaminación, seguimiento a estos contaminantes ambientales y en el análisis del cambio climático global); además, permiten que el estudio de estos aspectos sea más accesible y refutable. Actualmente las colecciones biológicas afrontan problemas de deterioro causado por agentes de diversa índole, tanto en los ejemplares como en los materiales utilizados para su preservación y montaje. El deterioro en las colecciones se presenta de manera natural pero se incrementa en gran medida por el uso de técnicas inadecuadas en el manejo de los ejemplares y el descuido en su ambiente de almacenamiento, esto reduce la vida útil de los mismos y limita la conservación de las colecciones (Videl, 2002).

B. Calidad del aire

El término aerobiología hace referencia a la disciplina que se ocupa del estudio de los organismos vivos aerotransportados, su diversidad, modos de vida, dependencia y, al mismo tiempo, repercusión en el entorno. Se ha definido la aerobiología como la ecología de la atmósfera (Perdomo, 1989).

La calidad del aire es considerada como la medida efectuada según una escala arbitraria en la que se especifica el estado global del aire contaminado en relación con el aire considerado como saludablemente normal. La calidad del aire considera dos aspectos muy importantes, el aire contaminado que es, el aire que contiene en suspensión partículas de polvo, humo, microorganismos y otros gases distintos de aquellos que la componen normalmente y el aire saludablemente normal o aire puro que es, el aire que está (relativamente) desprovisto de materiales contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos (Spieksma, 1991).

La contaminación atmosférica o contaminación del aire es el efecto producido por distintas fuentes pudiendo ser: líquidos o gases procedentes de la industria, la urbe, las explosiones nucleares, erupciones volcánicas, putrefacciones de animales o vegetales, polvo cósmico, entre otros, originando un ambiente nocivo para la salud de los hombres, animales o plantas. El deterioro de la calidad del aire es producido por la conjunción de factores de origen natural y otros antrópicos, que participan en los grandes complejos urbanos o industriales, por lo cual se hace necesario monitorear la calidad del aire (Spieksma, 1991).

Dentro de los factores naturales destacan el clima y la capacidad de ventilación que presenta la atmósfera, lo que redundaría en una mayor o menor dispersión de los contaminantes; en cambio, entre los factores antrópicos figuran las emisiones generadas en transporte y operación de procesos productivos. La posición geográfica de la ciudad de Guatemala y su entorno (de 14°30' a 14°45' de latitud Norte y de 90°15' a 90°45' de longitud Oeste), permite el predominio de vientos del Noreste en la capa de aire en contacto con la superficie terrestre, conforme se asciende en altitud la dirección del viento se va haciendo del Este hasta una altitud aproximada

de 3000msnm como nivel de transición a vientos del Oeste en la parte superior de la troposfera. Esto se presenta durante la temporada de lluvias (mayo a octubre) y domina en la temporada fría (noviembre a febrero), como parte de los sumideros naturales de la contaminación del aire. Por el contrario la temporada de olas de calor (marzo y abril especialmente) se caracteriza por el enturbiamiento de la atmósfera por hidrometeoros como la niebla, neblina, bruma y el humo; los niveles de emisión de los contaminantes se incrementan (polvo y humo especialmente) y se produce mayor concentración sobre la ciudad de Guatemala (Infoarnia, 2002).

En la época de verano (marzo – junio) se conjugan una serie de factores y elementos climáticos, observables también en un cambio del perfil dominante del viento a componente Sur, desde la capa de aire en contacto con la superficie hasta altitudes medias o superiores de la troposfera en que el viento se torna variable y débil. En la ciudad de Guatemala coexisten factores y elementos climáticos que favorecen la dispersión de los contaminantes. Sin embargo, se debe tener 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 al municipio de Guatemala, y que están convirtiendo a la ciudad en un prototipo de distrito metropolitano legal e infraestructuralmente no planificado (Infoarnia, 2002).

B.1 Calidad del aire en la ciudad de Guatemala

La ciudad de Guatemala ha experimentado en las últimas dos décadas un crecimiento rápido y desordenado, con limitaciones de infraestructura, servicios básicos y un incremento desmedido de tráfico vehicular. Este nivel de crecimiento ha traído como consecuencia un deterioro considerable en la calidad del aire que se respira, especialmente en zonas y horas pico de alto flujo vehicular, en las terminales de transporte, en la salida y el acceso de autobuses; esto ha repercutido en el estado de salud de las personas y especialmente en el incremento de enfermedades respiratorias; por lo que se hace necesario un estricto control de la fuente principal de la contaminación atmosférica: el parque vehicular que en la actualidad asciende 1,200,000 carros en todo el país (EMETRA, 2005).

Pese a que la contaminación del aire tiene manifestaciones perceptibles por los sentidos humanos, como olor, irritabilidad, entre otros; no es un método confiable para medir los niveles de contaminación del aire. Se hace necesario recurrir a métodos científicos capaces de medir con exactitud la concentración de determinados contaminantes en el aire. Las mediciones así realizadas se conocen como “monitoreo de la calidad del aire”, y son necesarias para poder determinar los posibles daños que sufrirá la salud de la población expuesta, para decidir las mejores medidas de control a adoptar, y para evaluar si las medidas adoptadas están surtiendo efecto (Herrera, 2005).

El monitoreo de la calidad del aire es una importante herramienta para las autoridades ambientales en su labor de protección de la calidad del medio ambiente, 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 siete puestos de control que han funcionado en diferentes períodos de registro en:

- 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)

Cualquier análisis sobre la calidad del aire en la ciudad de Guatemala debe considerar elementos y factores que influyen en la concentración de contaminantes, entre los que destacan: el relieve, las condiciones meteorológicas predominantes y el régimen de la precipitación pluvial, entre otros (De la Rosa; Mosso; Ullán 2002).

Asimismo, hay proyectos realizados por El Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico (FODECYT), entre ellos el proyecto (No. 40-2007) titulado “Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la

Universidad de San Carlos de Guatemala”, que estudia la calidad micológica del aire y el impacto del mismo sobre el ambiente exterior e interior de diferentes áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y determinó que los locales que presentaron mayor contaminación fúngica fueron el Laboratorio de Alimentos, LIPRONAT y el Instituto de investigaciones Químicas y Biológicas, a diferencia del CIAT que fue el que presentó la menor contaminación (Herrera, 2007).

El Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico (FODECYT), dentro del proyecto (No. 002-08) titulado “Impacto de la calidad microbiológica del aire externo en el ambiente interno en la salud del personal de cuatro laboratorios de instituciones públicas en la Ciudad de Guatemala y Barcenas Villa Nueva”, han documentado la calidad microbiológica del aire y el impacto del mismo en cuatro laboratorios (LAFYM, LAMIR, EMPAGUA y AMSA) con el objetivo de analizar los riesgos para la salud a los que se enfrenta el personal de esos laboratorios. Se estableció que los laboratorios que presentaron una mayor carga fúngica a lo largo del estudio fueron EMPAGUA (8,100 UFC/m³); y que todos los laboratorios se encontraron por debajo de la norma aplicada para bacterias (Herrera, 2007).

B.2 Principales contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos son todas aquellas sustancias sólidas líquidas o gaseosas y microorganismos susceptibles de viciar la atmósfera. El aire es una mezcla de gases y partículas suspendidas, está compuesto de componentes mayoritarios como el nitrógeno en un 78% y el oxígeno en un 21%; el restante 1% de componentes minoritarios son beneficiosos como el vapor de agua, el ozono y por sus niveles de concentración perjudiciales otros, constituyéndose en contaminantes atmosféricos. A través del monitoreo del “aire contaminado” se obtienen parámetros que identifican el tipo de sustancias y cifras comparativas para determinar su tendencia de comportamiento y en que medida están sobrepasando los límites recomendados o valores guía tanto de la Organización Mundial de la Salud (OMS) como de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (por sus siglas en inglés EPA) (EPA, 2005).

Los registros históricos de los principales contaminantes en la ciudad de Guatemala, son producto de una exposición mensual en cada estación muestral. Por lo cual deben considerarse como datos muestrales y no como valores continuos en el tiempo. En el análisis de las series de tiempo (gráficas) deberá tenerse las siguientes consideraciones: i) los valores de concentración deberán verse como un promedio aritmético simple representativo para la zona urbana con datos disponibles de las estaciones de Avenida Petapa, Centro Histórico, Trébol/INCAP, Calzada San Juan y Calzada Aguilar Batres; ii) los valores de concentración pueden contener diferencias observacionales y iii) la tendencia temporal de los contaminantes puede también estar influenciada por la representatividad del promedio. Se ha indicado la calidad del aire se resolverá conforme se instalen estaciones automáticas que brinden información sobre la variabilidad diaria y estacional de la contaminación (De la Rosa; Mosso; Ullán 2002).

- **Ozono (O₃)**
- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x)**
- **Monóxido de carbono (CO)**
- **Dióxido de carbono (CO₂)**
- **Dióxido de Azufre (SO₂)** (Freixa 1993; Seifert 1992).

a. Partículas en suspensión PM 10 y PM 2,5

Las partículas en suspensión en el aire son una mezcla compleja de sustancias de distinta composición química y de diversa naturaleza física (suspensiones de sólidos o gotas de líquido) que presentan un tamaño variable que oscila desde 0,005 a 100 µm. En conjunto, las partículas pueden presentarse como hollín, nubes de polvo o neblina; aisladamente no pueden detectarse a simple vista. Los elementos que pueden encontrarse en las partículas son sumamente heterogéneos: carbón, hidrocarburos, sílice, sulfato de amonio, nitratos, metales como el plomo, hierro, aluminio o cadmio, polen, microorganismos, dioxinas, plaguicidas, entre otros (Martínez, 2004).

Debido a que la composición de las partículas es sumamente heterogénea no puede hacerse una valoración global de su toxicidad ya que dependerá del tipo de elementos que formen

parte de su composición. En general, las partículas más pequeñas tienen en su composición elementos más tóxicos, como metales pesados o compuestos orgánicos de capacidad carcinógena, como por ejemplo el benzopireno. Por tanto, las partículas finas más pequeñas, son las que tienen efectos adversos sobre la salud de la población, ya que son las que pueden llegar a los alveolos pulmonares. Normalmente, a estas partículas se las denomina partículas totales en suspensión (TSP) y agrupa a todas las partículas con diámetro que van desde menos de 0,1 micras a 50 micras, ya que las de tamaño superior se depositan por gravedad. Las TSP se expresan como PM, materia particulada con un subíndice que hace referencia al diámetro de partícula, en peso de partículas por volumen de aire (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cuanto mayor es el tamaño de las partículas, menor es el tiempo que permanecen suspendidas en el aire y menores son las distancias capaces de recorrer (Martínez, 2004).

Las partículas mayores de 10 micras caen rápidamente cerca de la fuente que las produce; las partículas PM10 (con diámetro ≤ 10 micras) pueden permanecer suspendidas durante horas y viajar desde 100 metros a 40 kilómetros mientras que las partículas PM 2,5 (con diámetro $\leq 2,5$ micras) pueden permanecer en el aire durante semanas y son capaces de trasladarse cientos de kilómetros, desplazándose con las corrientes de aire y penetrando en el interior de los locales a través de los sistemas de ventilación. Las principales fuentes de partículas en el exterior son el tráfico rodado, especialmente los vehículos diesel, procesos industriales, incineradoras, canteras, minería, emisiones de chimeneas, calefacciones de carbón (Ballester, 2005).

Las partículas PM 10 se depositan en las vías respiratorias superiores (nariz) y en tráquea y bronquios, mientras que las PM 2,5 de menor diámetro pueden alcanzar a los bronquiolos y alveolos pulmonares. Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, sobre todo en personas asmáticas. Los efectos sobre la salud dependen del tipo de partícula y su facilidad de penetración en el organismo. Entre estos síntomas están: Irritaciones e inflamaciones de vías respiratorias y ojos, (alveolitis, bronquiolitis, fibrosis), mayor incidencia y agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, aumento de la frecuencia de cáncer pulmonar a largo plazo (Ballesteros, 2005).

B.3 Fuentes de contaminación de aire

La demanda de la sociedad por obtener una vida más placentera, llena de abundancia y de comodidad es responsable del grado de contaminación atmosférica prevaleciente. El uso de mayores cantidades de automóviles y de carreteras, de utensilios eléctricos, de recreación, de educación, las exigencias de actividades sociales, los productos de consumo y el uso indiscriminado de nuestros recursos naturales han sido los principales causantes del desequilibrio ambiental que aqueja hoy en la actualidad. Las fuentes de contaminación de aire pueden ser clasificadas en dos tipos a saber: fuentes naturales y fuentes artificiales (Martínez; Morales, 2004)

a. Fuentes naturales

- Fuegos forestales
- Actividad volcánica
- Polvo fugitivo levantado por el viento
- Descomposición biológica
- Salitre proveniente del agua salada o del mar
- Polen de las flores
- Radiación solar y cósmica
- Ozono producido por descargas eléctricas

b. Fuentes artificiales

Las fuentes artificiales de contaminación de aire son aquellas producidas por el hombre. Estas son consideradas más peligrosas que las naturales. Las artificiales pueden dividirse a su vez en fuentes móviles y fuentes estacionarias o fijas.

a. fuentes móviles – las fuentes móviles de contaminación de aire mayormente están relacionadas con la transportación, a saber:

- Vehículos de motor

- Aeroplanos
- Barcos

c. Fuentes estacionarias o fijas – las fuentes fijas o estacionarias provienen en su mayoría de actividades industriales o agrícolas. Algunos ejemplos son:

- Plantas de producción de energía eléctrica
- Industrias en general
- Calentadores, incineradores y calderas
- Quema de desperdicios a campo abierto
- Actividades de construcción de edificios y carreteras
- Actividades agrícolas
- Actividades minera (Martínez; Morales, 2004).

B.4 Contaminantes biológicos

Son organismos o restos de organismos que afectan la calidad del aire en espacios cerrados. Algunos de ellos pueden deteriorar las superficies, no sólo en interiores sino también al aire libre. Estos contaminantes se desplazan a través del aire y son a menudo invisibles. Entre los más comunes podemos mencionar las bacterias, el musgo, los mohos, la caspa de mascotas, la saliva de los gatos, los ácaros del polvo, las cucarachas y el polen. Las siguientes son algunas de las muchas fuentes de las que provienen estos contaminantes:

- Las bacterias son transportadas por el hombre, los animales, el suelo y los restos vegetales.
- Los virus se transmiten a través del hombre y los animales
- El polen proviene de las plantas
- La proteína de la orina de las ratas y ratones es un poderoso alérgeno. Una vez seca puede entrar en suspensión (De la Rosa, 2002).

Las dos condiciones que deben cumplirse para favorecer la actividad de los contaminantes biológicos son la presencia de nutrientes y humedad. Estas condiciones pueden darse en lugares tales como cuartos de baño, sótanos húmedos o inundados, humidificadores y

acondicionadores de aire y cierto tipo de alfombras y mobiliario. El musgo, los mohos y otros contaminantes biológicos se desarrollan en los sistemas de aire acondicionado central, desde los cuales se distribuyen por todo el hogar (Sánchez, 1997).

La supervivencia, reproducción y dispersión al aire de los contaminantes biológicos dependen, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentran. Los factores tales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, y la luz van a determinar el grado en que los contaminantes biológicos se encontrarán en un ambiente. En general, las temperaturas bajas inhiben el crecimiento de muchos microorganismos; no obstante, algunos de ellos (por ejemplo, mohos y levaduras) se desarrollan bien en ambientes fríos. Otras especies microbianas (por ejemplo, *Aspergillus*, *Legionella pneumophila* o *Thermoactinomyces vulgaris*), alcanzan su desarrollo óptimo a temperaturas elevadas (Feeley, 1988).

El movimiento del aire contribuye al transporte, mantenimiento y paso al aire de los contaminantes biológicos procedentes del exterior o contenidos en un reservorio del interior. El grado y tipo de luz también pueden favorecer o inhibir el desarrollo de los microorganismos. Por ejemplo, la luz ultravioleta inhibe el crecimiento y la ausencia de luz impide la formación de esporas de algunos hongos (*Altemaria sp.*) (Samson, 1988).

Los organismos vivos precisan de nutrientes para su supervivencia y desarrollo; éstos son muy variados pero, se podría decir que el agua y la materia orgánica son los dos recursos principales que sirven a estos organismos para vivir. Por lo tanto, todos aquellos materiales y estructuras en las que se reúnan esas dos condiciones pueden ser considerados como substratos colonizables por los microorganismos. Una vez que los microorganismos se han asentado en un substrato (reservorio) e iniciado su desarrollo (amplificación), su paso al aire (diseminación), estará condicionado por varios factores, como pueden ser: su arrastre provocado por el movimiento del aire, de las personas o de la maquinaria; la alteración del reservorio debida principalmente, a obras de demolición, al movimiento de tierras o a las operaciones de limpieza (Samson, 1988).

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, 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).

La evaluación de la exposición a cualquier tipo de contaminante se inicia con la recogida de la máxima información posible relativa a las características del trabajo y de su entorno y a las alteraciones de la salud existente o sospechada. A menudo, proporcionan las guías por donde deberá transcurrir la investigación. Lamentablemente, en algunas ocasiones las tareas de detección e identificación clara de los contaminantes, el establecimiento de las relaciones causa-efecto y la eliminación y prevención de los focos de contaminación no son sencillas. En particular, la evaluación de las exposiciones a contaminantes biológicos patógenos supone, además, una serie de retos (Samson, 1988).

En primer lugar, se debe conocer cómo, dónde y qué se ha de muestrear. En ocasiones, la concentración ambiental de este tipo de contaminantes no está siempre ligada a un proceso de trabajo, sino a las diversas fases del desarrollo microbiológico (por ejemplo, liberación del

polen, formación de esporas, producción de toxinas o de compuestos orgánicos volátiles), y a los factores que favorecen su diseminación. En segundo lugar, se debe conocer cómo interpretar los resultados de una forma correcta, ya que la presencia de microorganismos o proteínas, incluso en concentraciones ambientales elevadas, no son prueba definitiva de que hayan causado una enfermedad. El hecho de que hoy en día se desconozcan las relaciones dosis-respuesta entre muchos contaminantes biológicos y enfermedades en los seres humanos es, quizás, el mayor obstáculo a la hora de establecer unos criterios de valoración que faciliten la evaluación de la exposición a dichos contaminantes (Samson, 1988).

c. Valores límite de exposición para los bioaerosoles

Aún no se han establecido valores límite de exposición para los bioaerosoles 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 proceden de estudios de casos que contienen sólo datos cualitativos de la exposición (Morey, 1990).

Los datos epidemiológicos que existen son insuficientes para describir las relaciones exposición-respuesta. Las razones de la ausencia de unos datos epidemiológicos de calidad para establecer esa relación son: La mayor parte de los datos de las concentraciones de los bioaerosoles específicos proceden más de medidas indicadoras que de la determinación de los agentes causantes reales. Por ejemplo, la determinación de hongos cultivables se utiliza para representar la exposición a los alérgenos. Además, la mayor parte de las determinaciones proceden de los puntos de acumulación de estos agentes (reservorios) o de las muestras del aire ambiental, es poco probable que estas aproximaciones representen exactamente la exposición humana a los agentes causantes reales (Morey, 1990).

Los componentes y las concentraciones de los bioaerosoles varían ampliamente, los muestreadores de aire más comúnmente utilizados sólo toman muestras "puntuales" en períodos cortos de tiempo y estas muestras aisladas pueden no representar la exposición humana. Estas muestras puntuales en períodos cortos de tiempo pueden contener una

cantidad de un bioaerosol en concreto en órdenes de magnitud superiores o inferiores a la concentración media ambiental (Seltzer, 1995).

Algunos organismos liberan aerosoles como "concentraciones de irrupción", que raramente pueden detectarse utilizando muestras puntuales, estos episodios de los bioaerosoles pueden producir efectos significativos para la salud, para algunos bioaerosoles infecciosos hay datos de dosis-respuesta. Actualmente, los protocolos del muestreo ambiental para los agentes infecciosos son limitados y adecuados solamente como tentativa científica (Seltzer, 1995).

Los contaminantes de procedencia biológica que son analizables son sustancias producidas por la materia viva, que se pueden detectar utilizando ensayos químicos, inmunológicos o biológicos y comprenden a las endotoxinas, micotoxinas, alérgenos y compuestos orgánicos volátiles. Los hechos todavía no respaldan el establecimiento de valores límite de exposición para ninguna de estas sustancias analizables. Los métodos de ensayo para ciertos aeroalergenos comunes y endotoxinas están avanzando constantemente. También, las técnicas moleculares innovadoras están permitiendo analizar la concentración de organismos específicos, detectados normalmente sólo por cultivo o recuento. En estudios experimentales y ocasionalmente en estudios epidemiológicos se han observado relaciones dosis-respuesta para algunos bioaerosoles analizables. Asimismo, está progresando la validación de estos ensayos en el puesto de trabajo (Seltzer, 1995).

C.1 Evaluación de la exposición a contaminantes biológicos

El Consejo de las Comunidades Europeas en el artículo tres de su Directiva 90/679/CEE, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, da las siguientes pautas para poder realizar la evaluación de la exposición a contaminantes biológicos: en toda actividad que pueda suponer un riesgo de exposición a agentes biológicos, se determinará la índole, el grado y la duración de la exposición, para poder evaluar los riesgos que corren la seguridad o la salud de los trabajadores y poder determinar las medidas que proceda adoptar.

Cuando se trate de trabajos que impliquen la exposición a varias categorías de agentes biológicos, los riesgos se evaluarán basándose en el peligro presentado por todos los agentes biológicos peligrosos presentes. La evaluación deberá repetirse regularmente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que puedan afectar a la exposición de los trabajadores. Esta evaluación se efectuará teniendo en cuenta la totalidad de la información disponible, comprendidos: la clasificación de los agentes biológicos en los grupos de riesgo, en función de su diferente índice de riesgo de infección, que puedan constituir un peligro para la salud humana (Calleja, 2006).

D. El biodeterioro de materiales orgánicos

El biodeterioro de un soporte histórico es un fenómeno complejo que implica alteraciones de las propiedades físico-químicas y mecánicas del material por acción de organismos biológicos. A ello hay que añadir las modificaciones del aspecto estético que se producen en los objetos afectados. La intensidad de las alteraciones, se produce en función de los componentes de los soportes y de las condiciones ambientales. Gran parte de las colecciones que se exhiben en los museos son de naturaleza orgánica, caracterizándose por su alta higroscopicidad. Esto implica un significativo incremento del contenido de humedad del soporte, especialmente, cuando los objetos son expuestos a una insuficiente ventilación y a una humedad relativa superior al 65%. Bajo estas condiciones, numerosos materiales quedan expuestos al desarrollo de especies de microorganismos. A esta problemática, se une frecuentemente la presencia de hongos y bacterias que pueden contribuir a la pérdida irreparable de piezas históricas en un breve periodo de tiempo (Videla, 2002).

D.1 Los hongos y las bacterias como contaminantes microbiológicos más frecuentes

Desde el punto de vista evolutivo, los hongos son organismos más desarrollados que las bacterias. Son estructuras normalmente pluricelulares con un metabolismo complejo. Poseen filamentos llamados hifas que forman el micelio o cuerpo vegetativo. Se desarrollan fácilmente a un pH entre 4-6, humedades relativas superiores a 70 % y temperaturas entre 25-30°C. Las

oscilaciones de los parámetros microclimáticos pueden favorecer el desarrollo de las esporas fúngicas. Los hongos al igual que muchas especies bacterianas producen manchas de diferentes tonalidades, como resultado de los productos que excretan. Entre ellos, se reconocen enzimas tales como la celulasa o diferentes tipos de proteasas y ácidos orgánicos (oxálico, fumárico, acético, láctico, glucónico, glucurónico, entre otros), los cuales se depositan sobre el soporte modificando sus propiedades químicas y como consecuencia, deteriorándolo (Valentin, 1999).

Las bacterias son organismos unicelulares, generalmente se desarrollan a pH de 7-8 y temperaturas entre 25 y 38°C, aunque muchas especies toleran temperaturas inferiores a 0°C, otras, como las termófilas, resisten más de 45°C. También las bacterias producen enzimas y ácidos orgánicos e inorgánicos que están implicados en los mecanismos de degradación de los soportes históricos (Valentin, 1999).

La actividad de las diferentes especies de hongos y bacterias se ve favorecida por multitud de 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, las propiedades físicas de la superficie del objeto, el mecanismo de adsorción-emisión de la humedad del material, el pH, la presencia de polvo, el movimiento del aire ambiental y su grado de penetración en el objeto, y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera. El contenido de humedad en un material es uno de los factores más importantes en el crecimiento microbiano que determina la cantidad de agua presente para la germinación de las esporas microbianas (Valentin, 1999).

Muchas especies de hongos y bacterias comienzan su desarrollo en función del contenido de humedad sobre la superficie de un objeto. Asimismo, ha de tenerse en cuenta que los microorganismos, durante su desarrollo, producen agua metabólica, la cual incrementa el contenido en humedad de un material, favoreciendo a su vez la multiplicación celular. Para prevenir el biodeterioro, no es conveniente reducir excesivamente el grado de humedad relativa del medio ambiente.

A modo de ejemplo, puede citarse que Erhardt (1994), estudió el efecto de la HR (humedad relativa) ambiental sobre el deterioro químico de un material celulósico como el papel, y demostró que el grado de hidrólisis de este soporte, se minimiza al reducir la HR. Sin embargo, a baja HR, puede dar comienzo la reticulación o entrecruzamiento de las cadenas de celulosa, fenómeno éste que se produce al eliminarse el agua interfibrilar para evitar este fenómeno, Erhardt recomendó una HR entre el 25 - 50 % como rango óptimo para la conservación del papel (Snow, 1994).

D.2 Factores ambientales que influyen en la contaminación microbiológica de las colecciones

Existen muchos edificios históricos destinados a museos y herbarios con graves problemas de deterioro que se encuentran en regiones con climas húmedos, en donde el término medio de humedad relativa anual supera ampliamente el 80%. Para subsanar este problema, los arquitectos de esas zonas han incorporado al diseño de los edificios características y necesidades de mantenimiento específicas para hacer frente a la humedad ambiental. Los usuarios de estos edificios también han elaborado normas elementales para mantener adecuadamente el ambiente en los mismos. Sin embargo, con el paso del tiempo, muchos de estos edificios y sus zonas adyacentes se han ido modificando para ir adaptándose a las necesidades cambiantes de sus ocupantes. Alguna de esas estructuras se adecuaron para albergar archivos, bibliotecas o colecciones de museos (Sly, 1994).

Algunos aspectos, tales como la seguridad frente a robos, el seguimiento de la normativa de seguridad contra incendios y los controles de plagas, han alterado muy negativamente las previsiones originales para modificar el clima en su interior. De este modo en muchos museos y archivos se fueron incorporando instalaciones de aire acondicionado y se aplicaron fumigaciones ambientales con objeto de conseguir microclimas con temperatura y humedad controlada, libre de agentes biodeteriorantes. No obstante, es conocido que los sistemas de climatización son difícilmente sostenibles, económica y técnicamente a nivel local. Por otra

parte, el uso de productos químicos tóxicos, como fumigantes conllevan riesgos que afectan tanto a los materiales históricos como a los profesionales que trabajan con los mismos. Recientemente, se han adoptado nuevos sistemas alternativos para soslayar estos problemas de conservación (Sly, 1994).

D.3 Tratamientos alternativos para el control de microorganismos en las colecciones

Los microorganismos no crecen cuando el aire que los rodea está en movimiento y hay una humedad relativa baja. Los análisis de laboratorio han indicado que este fenómeno depende de la temperatura, el grado de ventilación y de las propiedades físico-químicas de los materiales. Recientemente se ha demostrado la eficacia de la ventilación sobre el crecimiento microbiano como un método específico de control del biodeterioro en los materiales históricos, con esto al aplicar un determinado número de renovaciones de aire por hora en un espacio cerrado, se logra inhibir el crecimiento de hongos y bacterias y se consigue decrecer su actividad tanto en ambientes contaminados como en los materiales históricos (Herraéz, 1999).

El uso de sistemas de ventilación pasiva, como alternativa al aire acondicionado y como tratamiento de control del biodeterioro, se está aplicando con resultados satisfactorios en museos y archivos ubicados principalmente en países de climas húmedos y cálidos que precisan un método seguro y de bajo coste para conservar sus fondos y colecciones (Herraéz, 1999).

Existen alternativas a los tratamientos con productos tóxicos entre las que se incluyen los métodos térmicos, las feromonas, microondas y atmósferas transformadas entre otros. La utilización de métodos térmicos para la desinsectación de los objetos históricos, data de fechas anteriores a los años cuarenta. Pero el desarrollo y el espectacular resultado de los tratamientos químicos, desplazó estos métodos hasta que actualmente, y siguiendo la actual tendencia a utilizar lo menos posible los insecticidas químicos, esas técnicas, han sufrido un nuevo avance. Consisten básicamente en someter las piezas a temperaturas extremas para los hongos y bacterias. Normalmente suelen ser del orden de los 60°C en el caso de utilizar altas temperaturas y entorno a los -20° y -25°C para tratamientos por congelación. El someter a un

objeto a temperaturas de unos 55°- 60°C es suficiente para acabar con todos los estadios de desarrollo de la mayoría en un tiempo corto (Herraéz, 1999).

D.4 La prevención del biodeterioro

Este plan integral debe abarcar asimismo el diseño de un plan de conservación preventiva que incluya:

- Análisis del medio ambiente del edificio en general, del entorno y de las salas de exposición en particular.
- Identificación y diagnóstico de los deterioros de las colecciones.
- Determinación y evaluación de las causas que amenazan la integridad de las obras.
- Cuantificación del riesgo.
- Establecimiento de los medios eficaces para detener los riesgos y deterioros de los objetos en función del coste, disponibilidad de medios y de profesionales (Kraemer, 1973).

Conocidas las causas, deberán establecerse las medidas preventivas para reducir o eliminar el riesgo de nuevas contaminaciones. El mantenimiento y esencialmente la limpieza de los edificios es uno de los trabajos prioritarios dentro de la prevención. Es imprescindible garantizar los parámetros adecuados de temperatura, humedad y ventilación, a pesar de las nuevas metodologías que nos brinda la ciencia aplicada, hay que tener en cuenta que la conservación de nuestro patrimonio es un compromiso de todos, donde debe existir un enfoque multidisciplinar, imprescindible para conseguir un auténtico avance en la preservación de las colecciones históricas (Kramer, 1973).

E. Sistemas de ventilación y climatización en la calidad del aire

Los sistemas de ventilación y climatización pueden introducir contaminantes del exterior, por si mismos pueden resultar ser fuente generadora de contaminantes, a través de sus conductos provocan que los contaminantes circulen de una zona del edificio a otra, y por último pueden ser ineficaces a la hora de eliminar o diluir los contaminantes de un edificio (Ashare, 1995).

La suma de todos estos factores es una de las razones principales que existan problemas de calidad del aire interior: El inadecuado diseño, instalación, funcionamiento o mantenimiento de los sistemas de ventilación. Los contaminantes más comunes procedentes del exterior: SMOG (niebla tóxica), esporas de hongos y polen (dependiendo de la época del año), gases producto de la combustión de vehículos y de la incorrecta colocación de las tomas de aire, *legionella*, bacterias o biocidas provenientes de torres de refrigeración adyacentes (Ashare, 1995).

Los contaminantes más comunes generados por los sistemas de ventilación y climatización son las esporas de hongos y bacterias, debido al agua utilizada por algunos de estos sistemas. También se genera fibra de vidrio producto de la erosión de los aislantes de los conductos por el flujo de aire además de suciedad acumulada en los conductos debido a la falta de mantenimiento o filtración. Una mala disposición de las presiones del aire interior puede hacer que se transmitan los contaminantes entre las distintas zonas de un edificio (Lewis, 1993).

Los conductos con pérdidas de flujo de aire situado en el falso techo pueden hacer fluir el aire desde el falso techo a zonas ocupadas. Los "edificios herméticos" construidos para ahorrar costes energéticos, dependen del aire exterior para diluir los contaminantes originados o presentes en el interior del edificio. Cuando el aire exterior proporcionado es insuficiente, los contaminantes se pueden acumular hasta el punto de convertirse en un grave problema para los ocupantes del edificio (Lewis, 1993).

Las causas más comunes de aporte de aire exterior insuficiente son, de acuerdo con su frecuencia:

- Ventiladores de termostato en posición "auto" que solo funcionan cuando lo hace la calefacción o el aire acondicionado.
- Unidades apagadas o con relojes programados incorrectamente que hacen que el sistema no funcione durante las horas de ocupación del edificio.
- Ausencia de tomas de aire exterior o tomas de aire exterior completamente cerradas.
- Edificios construidos según patrones anticuados que tienen un aporte de aire exterior insuficiente).

- Utilización de economizadores para reducir el gasto energético en los sistemas (Lewis, 1993).

El medio ambiente interior de cualquier edificio es el resultado de las interacciones entre el sitio donde se emplaza el edificio, el clima, la estructura del edificio, los sistemas mecánicos (originales y modificaciones posteriores), las técnicas de construcción, las fuentes de contaminación internas, las personas ocupantes y las fuentes exteriores de contaminación (aguas, parques, autos, entre otros). Las fuentes de contaminación se agrupan en fuentes, sistemas de calefacción o refrigeración, vías o sendas de tránsito y ocupantes

Los contaminantes presentes en el aire de los edificios se pueden originar dentro del edificio mismo o también ser traídos desde el exterior por las corrientes de aires naturales. Los contaminantes del aire consisten de numerosas partículas, fibras, bioaerosoles y gases. En general, los patrones de circulación del flujo del aire en el interior de los edificios surgen de la acción combinada de los sistemas mecánicos de ventilación, la actividad humana, las aberturas y las corrientes de aire. Este patrón de flujo de aire resultante determina que la concentración de los contaminantes presentes en el aire varíe entre las distintas zonas dentro del edificio. Las diferencias de presión creadas por esta combinación de factores mueven los contaminantes presentes en el aire, desde las áreas de relativa alta presión a áreas de relativa baja presión a través de cualquier abertura disponible (Morey, 1984).

Las actividades cotidianas (educativas, laborales, sanitarias, ocio, entre otros.) obligan a diario a la permanencia prolongada de la población en todo tipo de edificios e instalaciones urbanas. Según la OMS, la población de las ciudades pasa entre el 80 y el 90% de su tiempo en ambientes cerrados, cuyo aire esta contaminado en mayor o menor grado, lo que puede ocasionar graves problemas para la salud. En la actualidad existen suficientes indicios de que en escuelas, hospitales, museos, centros históricos, áreas de oficinas, centros comerciales, residencias de ancianos, entre otros, coexisten bacterias, virus, ácaros, partículas, humo ambiental de tabaco, entre otros, capaces de alterar la calidad del aire interior y originar efectos nocivos en la salud de las personas (Morey, 1984).

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 límites 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.

Según estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA) los niveles de contaminación en ambientes cerrados pueden llegar a ser de 10 a 100 veces más elevados que las concentraciones exteriores, lo cual aunado a las condiciones operativas no adecuadas de

sistemas de ventilación y recirculación de aire, refrigeración o calefacción, hacen prever un problema potencial de la calidad del aire dentro de dichos espacios (Flannigan, 1992).

La contaminación de los ambientes interiores de los edificios es la causa de múltiples problemas de salud de variada naturaleza, que pueden abarcar desde una simple fatiga o molestia, hasta síntomas compatibles con alergias, infecciones y cáncer, entre otras. Los contaminantes presentes en el aire interior de los edificios, ya sean químicos, físicos o biológicos, varían en función de las actividades que se desarrollan en dichos espacios, el estado sanitario de los ocupantes, la infraestructura física del edificio y sus bienes materiales y la calidad del aire del entorno. En la actualidad contaminantes ambientales como: humo ambiental de tabaco, formaldehído, radón, fibras minerales, isocianatos, biocontaminantes y resinas epoxídicas, han sido identificados como algunos de los principales riesgos emergentes que pueden aumentar el riesgo de enfermedades como: alergias, asma, trastornos de la fertilidad y el cáncer. Los factores físicos que influyen en el confort están relacionados principalmente con la humedad relativa, la velocidad media del aire, la temperatura y el ruido (Flannigan, 1992).

Además existen contaminantes químicos entre los que están el dióxido de carbono (indicativo de insuficiente aire de renovación en el interior), monóxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión, ozono, radón, entre otros y diversos agentes patógenos. En definitiva, un "coctel" de sustancias contaminantes a los que la población se enfrenta a diario no solo en los edificios, también están presentes en el aire exterior, el agua, los alimentos, los productos de consumo, entre otros y de los cuales resulta bastante complejo conocer su composición, la dosis de exposición diaria, y la interacción de las mismas con el cuerpo humano y el medio ambiente. Por todo ello, resulta difícil valorar los riesgos para la salud (medición, nivel de tolerancia, tiempo de exposición, entre otros.) en el ambiente interior, siendo relevante la labor preventiva y de control (Flannigan, 1992).

La exposición a agentes biológicos en los ambientes interiores es un problema emergente, debido a su frecuente implicación como uno de los cofactores que pueden explicar el aumento constante de las enfermedades respiratorias, asma y alergias, en grupos de población especialmente vulnerables. Por esta razón, en las políticas de investigación de Organismos Sanitarios de prestigio como la OMS, una de las líneas prioritarias son los estudios centrados en la relación entre la exposición a contaminantes biológicos y el desarrollo o la aparición de alergias o problemas respiratorios (Flannigan, 1992).

La presencia y multiplicación de agentes patógenos en el medio ambiente son atribuibles en la mayoría de los casos, al exceso de humedad y la falta de ventilación, por lo que el control de estos parámetros se estima ha de ser prioritario, siendo recomendable en principio investigar agentes específicos: hongos, bacterias, virus y parásitos principalmente, salvo que se presente una patología concreta en los usuarios y sea necesario su investigación y control. Según las premisas anteriores, la OMS en sus directrices para la calidad del aire interior: humedad y moho, publicadas en 2009, recomienda la vigilancia de los siguientes parámetros y agentes, con objeto de abordar medidas eficaces para el control de los riesgos para la salud causadas por agentes biológicos como humedad y ventilación, alérgenos (ácaros, animales domésticos), hongos y levaduras (Flannigan, 1992).

E.1 Riesgos para la salud

La humedad es uno de los mejores indicadores de riesgo para patologías asociadas al ambiente interior. Se trata de un parámetro relevante en el desarrollo y multiplicación de hongos y levaduras, además de potenciar el inicio de procesos químicos o de degradación biológica de los materiales, lo que a su vez agrava el problema. Una ventilación adecuada es un importante factor para el control de la humedad y prevención de la condensación. El hacinamiento y la falta de aportación de aire fresco, son factores que favorecen la transmisión de agentes infecciosos (Ashrae, 1995).

El tipo de sistema de ventilación o climatización juega un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiana, en su dispersión en el ambiente y en su transmisión a las personas expuestas. La mayoría de edificios comerciales y oficinas, disponen de sistemas mecánicos de suministro de aire fresco el cual puede ser filtrado, calentado o enfriado y en ocasiones humidificado. En estos equipos se pueden dar las condiciones idóneas para el crecimiento y dispersión de los microorganismos, si disponen de elementos nutritivos, si el pH y la temperatura son óptimos (Ashrae, 1995).

Las principales fuentes de contaminación biológica relacionados con los sistemas de ventilación o climatización son: el aire exterior (granos de polen, bacterias, esporas fúngicas, entre otros), los sistemas de filtración, el sistema de refrigeración, los humidificadores, los materiales porosos (conductos, aislantes acústicos, entre otros) y el aire del interior (principalmente aerosoles generados por las personas ocupantes). La inadecuada ventilación esta fuertemente asociada con efectos adversos para la salud (Ashrae, 1995).

E.2 Hongos

Los hongos pueden ser unicelulares o pluricelulares. Las levaduras son hongos unicelulares con forma oval (5-30 μm), inmóviles y que se dividen por mecanismos diversos, especialmente por gemación. Deben considerarse como hongos que han perdido su forma filamentosa y se han convertido en organismos unicelulares. La mayoría de los hongos, sin embargo, son pluricelulares o filamentosos y se caracterizan por estar constituidos por filamentos ramificados o hifas que se desarrollan y entrelazan formando el micelio. Existe un micelio vegetativo adosado a la superficie del sustrato (suelo, plantas, alimentos) y un micelio aéreo o reproductor, donde se forman las esporas (asexuales y sexuales) (Samson, 1992).

Los hongos filamentosos y levaduras son en su mayoría saprófitos, hallándose libres en la naturaleza, especialmente en la materia orgánica en descomposición. Algunas especies son parásitas, formando parte de la flora normal del hombre, como por ejemplo *Candida albicans*, que es una levadura y puede comportarse como oportunista y resultar patógena cuando se produce una disminución en los mecanismos de resistencia del individuo (Inegold, 1989).

Otras especies de hongos pueden producir durante su desarrollo sustancias tóxicas o micotoxinas como por ejemplo, las aflatoxinas producidas por *Aspergillus flavus*, que es un hongo filamentoso. Por otra parte, algunos hongos son difásicos, es decir, unas veces se comportan como hongos filamentosos y otras pueden comportarse como levaduras (Inegold, 1989).

Las condiciones necesarias para que un hongo crezca en una superficie son: existencia de esporas, base nutriente, humedad y temperatura entre 4 y 38 °C. Los hongos filamentosos y las levaduras también se diferencian en dos grupos según el aspecto macroscópico de sus colonias: las levaduras forman colonias húmedas, cremosas, opacas o pastosas y los hongos filamentosos producen colonias algodonosas, lanosas o pulverulentas (Inegold, 1989).

E.2.1 Especies más comunes de hongos microscópicos en aire interior

En el ambiente exterior predominan las esporas de hongos. Los hongos de exteriores como *Cladosporium* y *Alternaria* están presentes en la atmósfera. Los principales hongos productores de alergias en el medio ambiente son *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*.

Las especies más comunes que se encuentran en el aire interior son:

- *Alternaria alternata*
- *Aspergillus* sp. (*A. fumigatus*, *A. niger*, *A. ochroaceus*, *A. oryzae*, *A. versicolor*, y *A. glaucus*)
- *Aureobasidium pullulans*
- *Botrytis cinérea*
- *Cladosporium* sp. (*C. cladosporoides*, *C. herbarum*, y *C. sphaerospermum*)
- *Epicoccum purpurascens*
- *Geotrichum candidum*
- Levaduras rosas y blancas
- *Mucor* sp.
- *Paecilomyces variotii*

- *Penicillium* sp.
- *Phoma* sp
- *Sistrotrema brinkmannii*
- *Stachybotrys atra*
- *Trichoderma harzianum*
- *Trichoderma viride*
- *Ulocladium* sp. (*U. chartarum* y *U. consortiale*)

Los hongos más comunes en el polvo son de origen doméstico que pueden fácilmente pasar al aire; y si se dan las condiciones adecuadas para su desarrollo en cuanto a temperatura y humedad relativa, también pueden encontrarse en cualquier tipo de material (como alfombras, moquetas, empapelado de una pared, entre otros) y crecer desmesuradamente, proyectando al ambiente un número elevado de esporas con el consiguiente riesgo para la salud (Morey, 1984).

E.3 Micotoxinas en ambientes laborales

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos que representan un riesgo potencial para la salud de los hombres y de los animales. Se trata de compuestos de bajo peso molecular y que no son volátiles a temperatura ambiente, son secretados por los hongos durante el proceso de degradación de la materia orgánica como mecanismo de defensa frente a otros microorganismos. Desde el punto de vista laboral, las micotoxinas que suscitan un mayor interés debido a su toxicidad son las aflatoxinas, la ocratoxina, las fumonisinas, la patulina, la zearalenona y los tricotecenos. La mayoría de estas micotoxinas son producidas por hongos de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Albright, 2001).

Entre las propiedades tóxicas de las micotoxinas se pueden hallar efectos cancerígenos, mutágenos, tóxicos para la reproducción, hepatotóxicos, inmunotóxicos, neurotóxicos, hematotóxicos, necróticos y desórdenes de tipo hormonal. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica las aflatoxinas (mezclas naturales) como grupo 1

(carcinogénicas para el hombre) las aflatoxina M1 y la fumonisina B1 grupo 2B (posiblemente carcinogénicas para el hombre), la ocratoxina A y la patulina grupo 3 (no pueden ser clasificadas respecto a su carcinogenicidad en el hombre) (Albright, 2001).

Los trabajadores de los siguientes sectores pueden estar expuestos a micotoxinas:

- Sector agrícola y ganadero: silos, granjas, molinos, cría de animales.
- Fabricación de alimentos para animales.
- Transformación de productos alimenticios: café verde, especias, cereales.
- Compostaje de residuos.
- Intervención de edificios dañados por el agua.
- Laboratorios de análisis y de investigación, control de calidad, entre otros (Callejas, 2006).

E.4 Vías de exposición de micotoxinas

Aunque las micotoxinas no son volátiles a temperatura ambiente, la exposición por vía respiratoria se puede producir debido a la inhalación de partículas contaminadas: esporas, fragmentos de micelios, polvo de sustratos contaminados. No todos los hongos producen micotoxinas. Además, una misma especie fúngica puede producir distintas micotoxinas y por el contrario, una micotoxina puede ser producida por distintas especies. La presencia de hongos no está directamente asociada a la presencia de micotoxinas. Asimismo, una vez producidas, las micotoxinas pueden persistir por largo tiempo y estar presentes incluso en ausencia ya de crecimiento fúngico. El riesgo para la salud derivado de la exposición laboral a micotoxinas es poco conocido y basado principalmente en extrapolaciones a partir de estudios *in vitro* e *in vivo* realizados en animales. La concentración de micotoxinas en aire parece estar ligada a la cantidad de polvo generado. La disminución en la generación de polvo y por lo tanto, de la exposición a los bioaerosoles es una medida preventiva muy eficaz para controlar la exposición laboral a estas sustancias (Campbell, 1996).

Los géneros fúngicos asociados a la producción de efectos alérgicos por inhalación de esporas, en los humanos son: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *alternaria*, sin embargo se sabe que más géneros fúngicos están asociados a procesos alérgicos en humanos y que el desencadenante de dichas reacciones es la inhalación de esporas fúngicas (Campbell, 1996).

F. Medios para controlar las fuentes de contaminación

F.1 Higiene

La higienización tiene como objetivo eliminar la suciedad y los contaminantes presentes mediante la limpieza de los mismos, pudiendo completarse con un tratamiento de desinfección, si se precisase (instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (INSHT), 1998).

F.2 Eliminación

Es el método ideal para controlar la calidad del aire en interiores. Eliminar la fuente de contaminación es una medida permanente que no requiere de operaciones de mantenimiento posteriores. Se aplica cuando se conoce la fuente de la contaminación (INSHT, 1998).

F.3 Sustitución

En algunos casos hay que sustituir el producto que origina la contaminación. A veces es posible cambiar los productos utilizados (limpieza, decoración, entre otros) por otros que presten el mismo servicio pero que sean menos tóxicos o presenten un riesgo menor para las personas que los utilizan (INSHT, 1998).

F.4 Aislamiento o confinamiento espacial

El objeto de estas medidas es reducir la exposición limitando el acceso a la fuente. Es un método por el que se interponen barreras (parciales o totales) o medidas de contención alrededor de la fuente de contaminación para minimizar las emisiones al aire circundante y limitar el acceso de personas a la zona próxima a la fuente de contaminación. Los recintos deben estar equipados con sistemas de ventilación suplementarios que puedan extraer aire y suministrar un flujo de aire dirigido donde sea necesario (INSHT, 1998).

F.5 Extracción localizada

Los sistemas de extracción localizados funcionan capturando el contaminante en la propia fuente o lo más cerca posible de ella. La captura se realiza con una campana concebida para atrapar el contaminante en una corriente de aire que fluye a través de conductos hacia el sistema de depuración con ayuda de un ventilador. Si no es posible depurar o filtrar el aire extraído, deberá evacuarse al exterior y no volverá a utilizarse en el edificio (INSHT, 1998).

F.6 Ventilación

El sistema más empleado para corregir o prevenir los problemas de contaminación del aire en interiores es la ventilación, ya que la renovación del aire interior con aire nuevo de mejor calidad diluye los contaminantes que se encuentran dispersos por todo el edificio debido a las diferentes fuentes de contaminación presentes en ellos. Las medidas de prevención y control básicas a aplicar en los sistemas de ventilación están relacionadas con la calidad y cantidad del aire aportado (INSHT, 1998).

IV. JUSTIFICACION

Se planteó la determinación de la calidad del aire en un herbario y una micoteca los cuales se encuentran en la ciudad de Guatemala, con el fin de evaluar los factores de deterioro que afectan y producen cambios en las condiciones ambientales, los cuales pueden ejercer un efecto negativo en los objetos y colecciones de valor científico, histórico y artístico ubicados en esos establecimientos. Los microorganismos ejercen efectos negativos, tanto desde el punto de vista del biodeterioro así como de la patogenicidad. Un entorno contaminado podría causar daños irreversibles a los especímenes o piezas de las colecciones. Gran parte de las colecciones en herbarios son de naturaleza orgánica que se caracterizan por su alta higroscopicidad, esto implica un significativo incremento del contenido de humedad especialmente cuando los especímenes son expuestos a una insuficiente ventilación y a una humedad relativa superior al 65%.

Es de vital importancia la determinación y evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en el área de plantas vasculares y briofitas –BIGU-y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG- , ubicados en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la ciudad de Guatemala, ya que las dos son colecciones en donde se manipulan directa e indirectamente plantas herborizadas y especímenes de hongos desecados.

Se evaluó la contaminación fúngica presente mediante el recuento total de unidades formadoras de colonias con el propósito de determinar los posibles hongos microscópicos contaminante en el aire que puedan causar daños a estas colecciones de interés científico, al personal y a los estudiantes presentes en estas áreas.

V. OBJETIVOS

A. General

Evaluar la contaminación del aire por hongos microscópicos en el área de plantas vasculares y briofitas –BIGU-, y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-.

B. Específicos

1. Establecer la carga micológica UFC/m³ en los diferentes puntos de muestreo seleccionados en el área de plantas vasculares y briofitas –BIGU-, y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-.
2. Determinar los niveles de contaminación por hongos microscópicos en el aire en los puntos de muestreo seleccionados por el método de impactación volumétrico.
3. Determinar la temperatura y humedad relativa en los ambientes de interés de cada área, estableciendo la hora y punto de mayor contaminación en cada una de estas.

VI. HIPÓTESIS

Este estudio es de tipo descriptivo por lo cual no hay planteamiento de hipótesis.

VI. MATERIALES Y METODOS

A. Selección de las áreas de muestreo

Universo: Área del herbario –BIGU- y Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta.

Muestra: hongos aislados del ambiente interior como exterior de cada establecimiento.

Se realizaron muestreos durante seis meses en el establecimiento en el área de plantas vasculares y briofitas –BIGU- el cual se encuentra ubicado 2do Nivel, Edificio T-10, con una Latitud de 14° 35' 03.94" Norte; una longitud de 90° 33' 12.78" Oeste y una elevación de SNM 1485. El muestreo también se realizó en la la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta - MICG-, ubicado en el 2do nivel, Edificio T-12, con una latitud 14° 35' y 04.00" Norte; una longitud de 90° 33' y 11.76" Oeste y una elevación SNM: 1,485 metros, ambos establecimientos ubicados en la Ciudad Universitaria Zona 12 Escuela de Química Biológica Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia Universidad de San Carlos de Guatemala. Se seleccionó un área interior y un área exterior de cada establecimiento para determinar los niveles de contaminación microbiológica ambiental. Las muestras fueron colectadas una vez al mes durante seis meses que comprendieron los meses de Octubre 2011 a Marzo 2012, cada muestra se realizó por duplicado en las cuales se utilizaron 12 cajas de Petri (90 mm) (seis para el área interior y seis para el área exterior) para cada establecimiento, cada una con agar Sabouraud con NaCl al 7.5%.

Así también se seleccionó la hora de mayor contaminación en los establecimientos previo a los muestreos mensuales en el cual se realizó un análisis de muestreo de seis horas tanto en el área interior como el área exterior. Se seleccionó el horario en el cual se encuentra presente el personal y estudiantes. Se determinó las Unidades formadoras de colonias por méτρο cúbico de aire (UFC/m³) en cada hora muestreada lo cual permitió determinar la mayor contaminación por hongos microscópicos tanto en el área exterior como el área interior.

B. Métodos de recolección de muestras

Se siguió una técnica volumétrica por impactación, utilizando el biocolector Eco MAS-100. Este se basa en el principio de aspiración de Andersen, que aspira aire por una placa perforada. El aire y las partículas que contiene se dirigen hacia la superficie de agar en una caja de petri. Este aeroscopio tiene una capacidad de aire absorbido de 0-100 L/minuto, el cual se configuró para que aspire 100L/min de aire.

Se tomaron tres puntos de muestreo por duplicado tanto en el área interior como el área exterior para que sean representativos tratando de cubrir la mayor área del establecimiento en el área interior y exterior de cada establecimiento, a una exposición alta aproximadamente de 1.5 a 2.0 metros de la altura sobre el suelo, próxima a la toma de aire del sistema de ventilación; una exposición media a un metro de altura sobre el suelo, en dependencia de las dimensiones del local y área exterior seleccionada a la altura de un metro.

C. Medición de temperatura y humedad relativa

Se midió la temperatura y la humedad relativa en el área de plantas vasculares y briofita – BIGU- y en la Micoteca Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-, determinando la influencia de estos sobre el crecimiento fúngico, mediante la utilización del higrómetro. Se seleccionó un punto fresco y central en donde se colocó el higrómetro. Se anotaron los resultados de la temperatura y de la humedad relativa obtenidos con el higrómetro.

D. Preparación de medios de cultivo

Se utilizó el medio agar Sabouraud con NaCl al 7.5% como medio para el crecimiento de hongos microscópicos según recomendaciones para estos fines (Rojas; Martínez, 2000).

La preparación del medio de cultivo se realizó de acuerdo o lo indicado por el proveedor en el cual se calentó los ingredientes hasta lograr su total disolución, se esterilizó en autoclave a 121 °C por 15 min. Se colocó asépticamente el medio en cajas de Petri de 90mm, se dejó

reposar hasta su solidificación, se tapó las cajas y se incubaron a temperatura ambiente (28°C) durante 24 horas para observar si existe algún tipo de contaminación en el medio de cultivo (Rojas; Martínez, 2000).

E. Muestreo periódico por impactacion

Se colocaron las cajas de Petri con medio de cultivo agar Sabouraud con NaCl al 7.5% en el biocolector para la toma de muestra de aire por impactación en cada punto de muestreo seleccionado. Se tomó la muestra y se retiró del equipo. Se empacaron de manera aséptica y transportaron al laboratorio donde fueron procesadas (Boekhout; Kutzman, 1996).

F. Métodos de análisis de muestras

Se incubaron las cajas de Petri utilizadas en cada uno de los muestreos por siete días a 28°C y se procedió a realizar el conteo de las colonias emergentes, utilizando la cámara Quebec proporcionada por el LAMIR. Para esto se realizó la cuantificación de colonias de cada punto mediante el siguiente esquema: primera lectura a los tres días después del muestreo periódico, segunda lectura a los cinco días y tercera lectura a los siete días. Los resultados obtenidos fueron promediados con lo que se obtuvo el total de colonias por punto.

Dicho procedimiento se repitió por punto de cada ambiente de ambos laboratorios, tanto para la selección de la hora de mayor contaminación como para los muestreos periódicos.

El conteo de las colonias el cual incluye el error estadístico del aeroscopio se corrigió utilizando la fórmula de Feller (Feller, 1950). Eliminando 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: $UFC/100L * 1000L / 1m^3 = UFC/ m^3$

En donde 100L: es la cantidad de aire que se utilizó en cada punto para el muestreo (Meier R, Zingre H., 1-2/00).

G. Análisis estadístico.

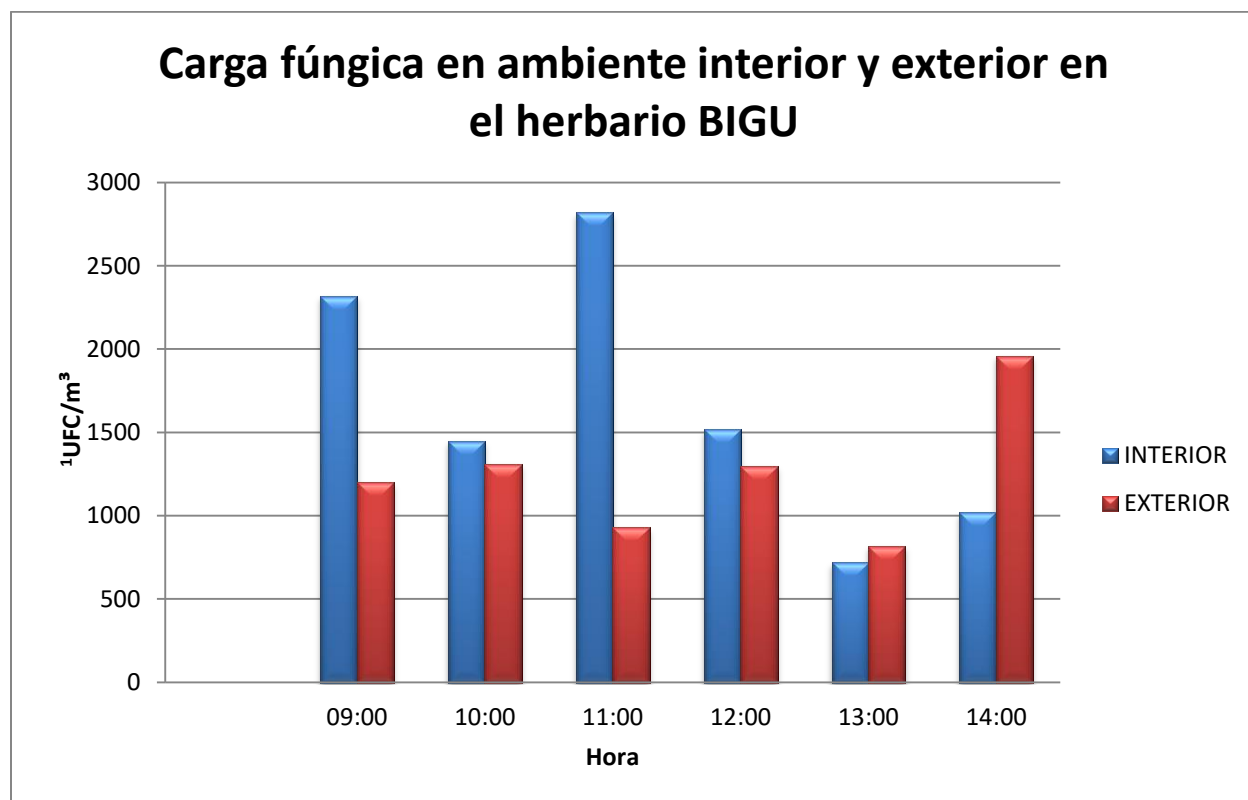
Este estudio es de tipo descriptivo, se utilizaron gráficas de barra y tablas utilizando el paquete de Microsoft Office 2007. Se calculó la media estadística y la desviación estándar de los niveles de contaminación entre los establecimientos y los diferentes ambientes.

VIII. RESULTADOS

A. Selección de la hora de mayor contaminación.

En la gráfica 1, se indica que la hora de mayor concentración de carga fúngica para el herbario BIGU en el área interior fue a las 11:00h y para el área exterior a las 14:00h.

Gráfica 1: Determinación de carga fúngica en UFC/m³, en ambiente interior y exterior en el herbario BIGU.

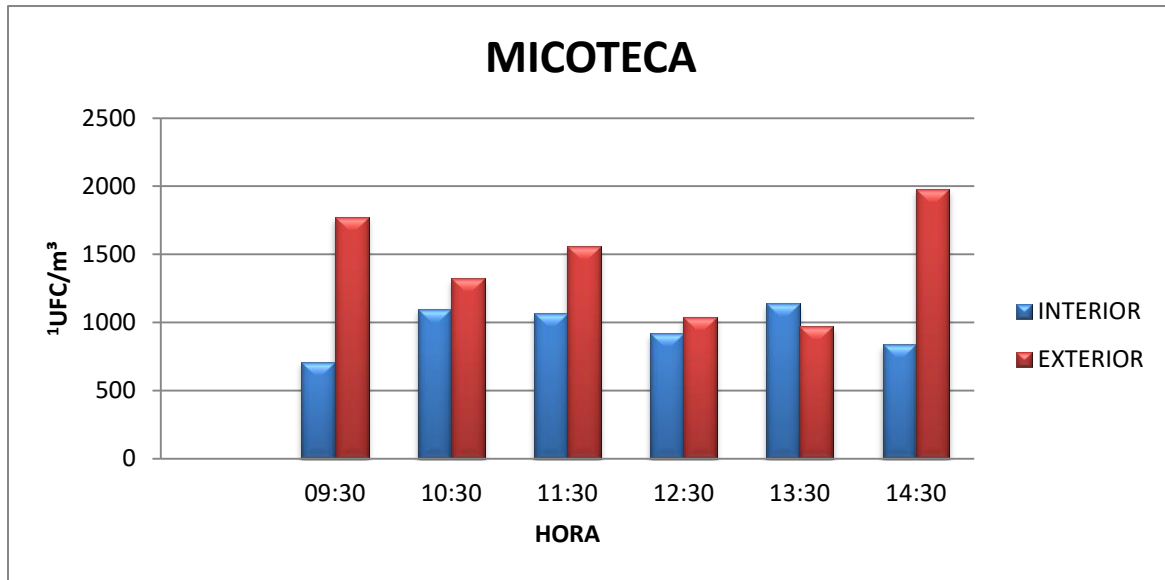


Fuente: Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011

¹: Unidades formadoras de colonia por metro cubico.

Para la MICOTECA Rubén Mayorga Peralta MICG, indica que la hora de mayor concentración de carga fúngica en el área interior fue a las 13:30h y para el área exterior a las 14:30h.

Gráfica 2: Determinación de carga fúngica en UFC/m³, en ambiente interior y exterior en la MICOTECA Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-.



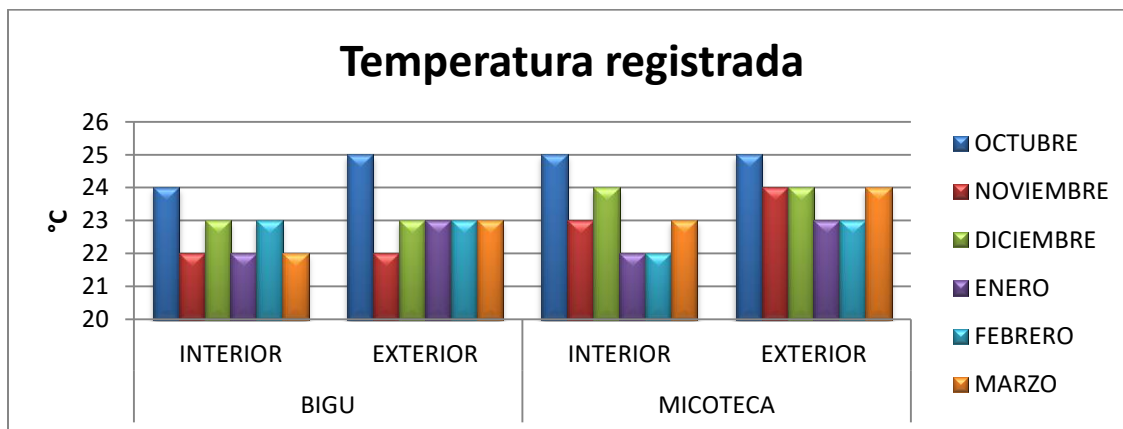
Fuente: Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011

¹: Unidades formadoras de colonia por metro cubico.

B. Medición de temperatura.

La gráfica 3, nos indica la temperatura máxima registrada en el área interior y exterior del herbario BIGU y en la MICOTECA Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-, la temperatura máxima registrada fue en el mes de Octubre tanto en el área interior como el área exterior.

Gráfica 3: Temperatura registrada en °C, en ambiente interior y exterior del Herbario BIGU y la MICOTECA Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-.



Fuente: Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011

C. Determinación de carga fúngica y porcentaje de humedad relativa en el período de Octubre 2011 a Marzo 2012, en el herbario BIGU y en la MICOTECA Licenciado Rubén Mayorga Peralta -MICG-.

En el cuadro 1 se determinó la carga fúngica y el porcentaje de humedad relativa. En el herbario BIGU, en donde la mayor carga fúngica se presentó en el mes de noviembre en el interior ($1167 \text{ UFC/m}^3 \pm 30$) y en el exterior en el mes de octubre ($1960 \text{ UFC/m}^3 \pm 47$). La menor carga fúngica se registró en el mes de octubre en el interior ($213 \text{ UFC/m}^3 \pm 8$) y para el exterior en el mes de enero ($613 \text{ UFC/m}^3 \pm 17$).

Cuadro 1: Determinación de carga fúngica en UFC/m^3 y porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior del herbario BIGU.

MES	INTERIOR			EXTERIOR		
	¹ UFC/m^3	² DS	³ %HRi	UFC/m^3	DS	%HRe
OCTUBRE	213	8	50	1960	47	63
NOVIEMBRE	1167	30	61	958	20	53
DICIEMBRE	848	9	57	910	23	60
ENERO	830	22	59	613	17	53
FEBRERO	716	8	53	1020	25	53
MARZO	736	10	51	1110	31	63

Fuente: Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011

1: Unidades formadoras de colonia por metro cúbico, 2: Desviación estándar, 3: Porcentaje de humedad relativa

En el cuadro 2 se determinó la carga fúngica y el porcentaje de humedad relativa. En la Micoteca, en donde la mayor carga fúngica se presentó en el mes de octubre en el interior ($1470 \text{ UFC/m}^3 \pm 44$) y en el exterior en el mes de enero ($1330 \text{ UFC/m}^3 \pm 71$). La menor carga fúngica se registró en el mes de enero en el interior ($720 \text{ UFC/m}^3 \pm 12$) y para el exterior en el mes de octubre ($916 \text{ UFC/m}^3 \pm 28$).

Cuadro 2: Determinación de carga fúngica en UFC/m^3 y porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior en la MICOTECA Rubén Mayorga Peralta MICG.

MES	INTERIOR			EXTERIOR		
	¹ UFC/m^3	² DS	³ %HRi	UFC/m^3	DS	%HRe
OCTUBRE	1470	44	63	916	28	45
NOVIEMBRE	1292	37	62	1240	54	57
DICIEMBRE	1001	22	61	950	15	52
ENERO	720	12	49	1330	71	62
FEBRERO	891	20	59	1250	24	62
MARZO	850	17	51	931	11	52

Fuente: Datos experimentales proyecto FODECYT 28-2011

1: Unidades formadoras de colonia por metro cúbico, 2: Desviación estándar, 3: Porcentaje de humedad relativa.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los hongos son considerados entre los más importantes componentes de los aerosoles biológicos presentes en el aire interior. Debido a que crecen en superficies húmedas en forma de placas de moho, los hongos suelen poner en evidencia problemas de humedad y pueden llegar a ser riesgos potenciales para la salud en un edificio. Para determinar la hora de mayor contaminación fúngica tanto en el interior como en el exterior de los establecimientos se realizó un muestreo, que consistió en llevar a cabo un estudio a diferentes horas de la mañana hasta la tarde en cada establecimiento realizando el muestreo en los meses de Octubre 2011 a Marzo 2012, para así obtener una hora de mayor contaminación fúngica.

Según los resultados del estudio, indican que en el herbario BIGU la hora de mayor concentración de carga fúngica en el área interior fue a las 11:00h con una carga fúngica de 2,820 UFC/m³ mientras que en el área exterior fue a las 14:00h con una carga fúngica de 1,960 UFC/m³. En la Micoteca, la hora que presentó mayor concentración de carga fúngica para el ambiente interior fue a las 13.30h con una carga fúngica de 1,140 UFC/m³ y en el área exterior fue a las 14:30h con una carga fúngica de 1,980 UFC/m³ (Klanova K. 2000).

Wanner y otros en 1993 establecieron cinco categorías para niveles de contaminación basados en la cantidad de unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³). Las categorías descritas por los autores fueron muy bajas (<25UFC/m³), (25 – 100 UFC/m³), intermedia (100 – 500 UFC/m³), alta (500 – 2000 UFC/m³), y muy alta (> 2000 UFC/m³), de acuerdo a esta clasificación, tanto el interior como el exterior de ambos establecimientos pueden ser catalogados como un ambiente con contaminación intermedia y alta.

La calidad del aire interior de una edificación es afectada por un número diverso de factores, muchos de ellos están relacionados a la infraestructura, decoración de la edificación, temperatura interna y humedad, además del ingreso de contaminación externa. La colonización por microorganismos, su dispersión y cantidad depende del microclima del interior (Goyer, N. Lavoie, J. Lazure, L. y Marchand, G.2001)

La variación en la carga fúngica en ambos establecimientos se ve afectado por el entorno y la ubicación de los edificios, así como el movimiento del aire que contribuye al transporte, mantenimiento y paso de los contaminantes biológicos procedentes del exterior o contenidos en un reservorio del interior, como la temperatura, la humedad relativa, el flujo del personal que ingresa y egresa de cada área, el flujo vehicular y el tipo de ventilación que existe en cada área, el grado y tipo de luz también pueden favorecer o inhibir el desarrollo de los microorganismos según los mencionado por (Samson, 1988).

En los siguientes datos se observa la manera en que la humedad y la temperatura se relacionan con el crecimiento y propagación de los hongos, en cuanto a la temperatura se puede observar que durante el mes de octubre se registró una temperatura máxima de 25°C tanto en el área interior como el área exterior en ambos establecimientos, la temperatura mínima registrada fue de 22°C en el mes de Noviembre en el herbario BIGU, y la mínima en la Micoteca fue de 22°C en el mes de Enero, el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los microorganismos, lo cual se observa en los datos recabados. La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de los hongos se encuentra entre los 25° C y 30° C (Hiriano, 2000).

La determinación de la humedad en cada área es importante ya que 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).

Se puede observar que en el herbario BIGU, la mayor concentración de carga fúngica se obtuvo en los meses que presentaron mayor porcentaje de humedad siendo el mes de Noviembre en el cual se obtuvo una carga fúngica de $1167 \text{ UFC/m}^3 \pm 30 \text{ UFC/m}^3$ registrando una humedad de 61% para el área interior, mientras que en el área exterior el mes de Octubre registró una humedad de 63% y una carga fúngica de $1960 \text{ UFC/m}^3 \pm 47 \text{ UFC/m}^3$. En la Micoteca, el mes que presento mayor concentración de carga fúngica fue el mes de Octubre en el área interior y

una carga fúngica de $1470 \text{ UFC/m}^3 \pm 44 \text{ UFC/m}^3$ registrando una humedad de 63%, el área exterior en el mes de Enero tuvo una carga fúngica de $1330 \text{ UFC/m}^3 \pm 71 \text{ UFC/m}^3$ registrando una humedad del 62%.

Se puede observar que la menor concentración de carga fúngica fueron en los meses que presentaron menor porcentaje de humedad relativa que oscila en un rango de 45-50%, el herbario BIGU el mes de Octubre obtuvo una carga fúngica de $213 \text{ UFC/m}^3 \pm 8 \text{ UFC/m}^3$ y 50% de humedad, para el área exterior el mes con menor concentración fue el mes de Enero con una carga fúngica de $613 \text{ UFC/m}^3 \pm 17 \text{ UFC/m}^3$ y 53% de humedad. En la Micoteca, el mes con menor concentración de carga fúngica fue en Enero con una carga fúngica de $720 \text{ UFC/m}^3 \pm 12 \text{ UFC/m}^3$ y 49% de humedad, para el área exterior fue el mes de Octubre con una carga fúngica de $916 \text{ UFC/m}^3 \pm 28 \text{ UFC/m}^3$ y una humedad de 45%.

Los datos obtenidos indican que hay una directa relación entre el porcentaje de humedad y el crecimiento de los hongos en el ambiente, muchas especies de hongos comienzan su desarrollo en función del contenido de humedad. A modo de ejemplo, puede citarse que Erhardt (1994), estudio el efecto de la HR (humedad relativa) ambiental sobre el deterioro químico de un material celulósico como el papel, y demostró que el grado de hidrólisis de este soporte, se minimiza al reducir la HR. Sin embargo, a baja HR, puede dar comienzo la reticulación o entrecruzamiento de las cadenas de celulosa, fenómeno éste que se produce al eliminarse el agua interfibrilar para evitar este fenómeno, Erhardt recomendó una HR entre el 25 - 50 % como rango óptimo para la conservación del papel y la disminución en el desarrollo de esporas fúngicas (Snow, 1994). Los hongos se desarrollan fácilmente en humedades relativas superiores a 70 % y temperaturas entre 25-30°C. Las oscilaciones de los parámetros microclimáticos pueden favorecer el desarrollo de las esporas fúngicas. (Valentin, 1999).

En cuanto a los datos obtenidos en ambos establecimientos se observaron factores que contribuyen a que haya diferencias en los datos recabados, siendo muchos los factores que pueden causar una diferencia en el desarrollo y crecimiento de esporas fúngicas en los que

cabe mencionar el correcto diseño, higiene, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del establecimiento.

Uno de los factores mas marcados es la presencia de deshumificadores en los establecimientos, el herbario BIGU contaba con uno de estos equipos en el área interior reduciendo la humedad ambiental, contribuyendo a una concentración menor de carga fúngica, cabe mencionar que la ausencia de este equipo en la Micoteca fue uno de los tantos factores que propicio el crecimiento y desarrollo de los hongos en el ambiente, se observó que el establecimiento registro una temperatura de (25°C), ninguno de los establecimientos contaban con la presencia de aire acondicionado. Estos resultados concordaron con lo señalado por Douwes, et al., (1999), quienes indicaron que al haber una temperatura elevada la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los hongos y por tanto la inactivación de muchos de ellos, haciendo que el crecimiento fúngico sea 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.

Otro factor importante es que ambos establecimientos no contaban con una ventilación adecuada, ni aire acondicionado al igual se logró observar que los ventanales en los establecimientos dan hacia áreas con un flujo vehicular bastante activo, ventanales dañados que permanecen abiertos todo el día lo que contribuye a un flujo de aire del exterior hacia el interior provocando el ingreso de contaminantes. El sistema más empleado para corregir o prevenir los problemas de contaminación del aire en interiores es la ventilación, ya que la renovación del aire interior con aire nuevo da mejor calidad diluye los contaminantes que se encuentran dispersos por todo el edificio debido a las diferentes fuentes de contaminación presentes en ellos. (INSHT, 1998). Ningún establecimiento contaba con métodos o equipos para minimizar los riesgos de humedad y temperatura y así evitar el crecimiento fúngico, haciendo propensos a estos establecimientos al desarrollo y crecimiento de hongos.

No se pudo constatar factores que contribuyan a una mejor instalación para prevenir el crecimiento y desarrollo de hongos, factores tales como: la luz ultravioleta la cual inhibe el crecimiento y esporas de algunos hongos, aire acondicionado, limpieza frecuente con desinfectantes y la fumigación constante. El uso de sistemas de ventilación pasiva, como alternativa al aire acondicionado y como tratamiento de control del biodeterioro, se está aplicando con resultados satisfactorios en museos y archivos ubicados principalmente en países de climas húmedos y cálidos que precisan un método seguro y de bajo coste para conservar sus fondos y colecciones (Herraéz, 1999).

Ninguno de los dos establecimientos cuenta con las medidas adecuadas para preservar la salud del personal y almacenar sus especímenes lo cual hace que se afronten problemas de deterioro causado por agentes de diversa índole, tanto en los ejemplares como en los materiales utilizados para su preservación y montaje. El deterioro en las colecciones se presenta de manera natural pero se incrementa en gran medida por la contaminación de los hongos, esto reduce la vida útil de los mismos y limita la conservación de las colecciones.

El crecimiento de hongos en sistemas de aire acondicionado y edificios puede producir en sus habitantes determinadas patologías ente las que cabe destacar asma y alveolitis alérgicas. La contaminación ambiental por hongos en el interior de edificios, es debida básicamente a hongos filamentosos y levaduras. Muchas especies de hongos se pueden diferenciar, identificar y clasificar según su morfología, estructura, mecanismo de formación y elementos formadores de las esporas. El conocimiento de estas características puede ser suficiente para identificar especies que pertenecen al grupo de los hongos filamentosos (Peman, Pozuelos, Rubio M., 2001)

X. CONCLUSIONES

1. Se determinó que en el área de plantas vasculares briofitas –BIGU-, la mayor concentración de carga fúngica se obtuvo en los meses que presentaron mayor porcentaje de humedad siendo el mes de noviembre ($1167 \text{ UFC/m}^3 \pm 30 \text{ UFC/m}^3$) registrando una humedad de 61% para el área interior, mientras que en el área exterior el mes de Octubre registró una humedad de 63% y una carga fúngica de $1960 \text{ UFC/m}^3 \pm 47 \text{ UFC/m}^3$.
2. En la Micoteca, el mes con menor concentración de carga fúngica fue en Enero con una carga fúngica de $720 \text{ UFC/m}^3 \pm 12 \text{ UFC/m}^3$ y 49% de humedad, para el área exterior fue el mes de Octubre con una carga fúngica de $916 \text{ UFC/m}^3 \pm 28 \text{ UFC/m}^3$ y una humeada de 45%.
3. En la Micoteca, la hpora que presento mayor concentración de carga fúngica para el ambiente interior fue a las 13:30h con una carga fúngica de 1140 UFC/m^3 y en el área exterior fue a las 14:30h con una carga fúngica de 1980 UFC/m^3 .
4. Los datos obtenidos indican que hay una directa relación entre el porcentaje de humedad y el crecimiento de los hongos en el ambiente, muchas especies de hongos comienzan su desarrollo en función del contenido de humedad.
5. Ninguno de los dos establecimientos cuenta con las medidas adecuadas para preservar la salud del personal y almacenar sus especímenes, contribuyendo a problemas de deterioro causado por los niveles altos de carga fúngica, ya que se considera una contaminación importante una carga fúngica mayor a 500 UFC/m^3 .

XI. RECOMENDACIONES

1. Implementar registros diarios de mediciones de temperatura y humedad relativa en cada área, como medida de prevención, evitando la supervivencia de los microorganismos fúngicos en el aire interior.
2. Colocar deshumificadores en los ambientes con el fin de regular el porcentaje de humedad relativa y evitar el crecimiento de hongos.
3. Implementar el uso de sistemas de ventilación pasiva, como alternativa al aire acondicionado y como tratamiento de control del biodeterioro.
4. Establecer procedimientos de limpieza y desinfección en cada área de trabajo, de manera periódica así como la fumigación.
5. Determinar los géneros fúngicos presentes en ambos establecimientos, para evaluar el riesgo que presentan tanto las colecciones como el personal presente en cada área.

XII. CRONOGRAMA

El proyecto de investigación se llevara a cabo en el Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

MES		Octubre					Noviembre					Diciembre					Enero				
OBJETIVO	ACTIVIDADES/SEMANA	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Evaluar la contaminación del aire por hongos microscópicos en las entidades BIGU y MICOTECA.	Elaboración del plan de investigación	x	x	x	X	X															
	Preparación de medios de cultivo Agar Sabouraud				x			X					X							X	
	Muestreo en los establecimiento BIGU y MICOTECA (Determinación de la hora de mayor contaminación)					x															
	Entrega del plan de investigación					x															
	Muestreo a la hora de mayor contaminación en los establecimientos BIGU y MICOTECA									X				X					X		
	Evaluación de crecimiento de hongos en las muestras tomadas										X					X					X
	Tabulación de resultados					x								x					x		

OBJETIVO	MES	Febrero					Marzo				
	ACTIVIDAD/SEMANA	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en las entidades BIGU y MICOTECA.	Elaboración del plan de investigación										
	Preparación de medios de cultivo agar Sabouraud		X					x			
	Entrega del plan de investigación										
	Muestreo a la hora de mayor contaminación en los establecimientos BIGU y MICOTECA		X					X			
	Evaluación de crecimiento de hongos en las muestras tomadas				X					X	
	Tabulación de resultados					x		x			

XII. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Ashrae "Standard 170, Ventilation of Health Care Facilities" 1995. Public Review Draf, 2005.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. Rev Esp Sal Pub.79:159-175.
- Ballesteros, J. (1997). Sociedad y medio ambiente. Madrid: Editorial Trotta A.
- Boekhout T. Kutzman C. (1996). Principles and methods used in yeast classification, and an overview of currently accepted genera. En: Wolf K (Eds.) Nonconventional Yeasts in Biotechnology: A Handbook. Berlin, Germany. Pp.1-81.
- Brownson, RC, MCR Alavanja, ET Hock. 1993. Reliability of passive smoke exposure histories in a case-control study of lung cancer. Int J Epidemiol 22:804-808.
- Calleja Hernández, A. & Martí Solé M^a Carmen. (2006) Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. NTP 203: Contaminantes biológicos: evaluación en ambientes laborales.
- Calleja Hernández, A. (2006) Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. NTP 313: Calidad del aire interior: riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización, 2006.

Campbell, C., *et al.* (1996) Identification of Pathogenic Fungi Public Health Laboratory Service. London.

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.

De la Rosa, M., Mosso, M., Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio medioambiental* ISSN: 1139-1987. Vol. 5 pp. 375-402. México.

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.

La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos, (2005). EEUU reconoce por primera vez los efectos nocivos de la contaminación. Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala. Disponible: www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/Clima/documentos/nac/5-Clima.pdf

Feeley, JC. 1988. Legionellosis; Risk associated with building design. En *Architectural Design and Indoor Microbial Pollution*, dirigido por RB Kundsin. Oxford.

Fisher F, Cook NB. (1998). Legionellosis: Risk associated with building design. En *Architectural Design and indoor Microbial Pollution*, dirigido por RB Kundsin. Oxford.

Flannigan, B.1992. Indoor microbiological pollutants-sources, species, Comfort Aspects of Indoor Air Quality-State of the Art in SBS, dirigido por H Knoppel y P Wolkoff. Dordrecht: Kluwer.

Florian, E. (2004). Fungal facts: Solving fungal problems in heritage collections, London: Archetype Publications Ltd.

Freixa, A. 1993. Calidad del aire: gases presentes a bajas concenraciones en ambientes cerrados. Madrid: Instituto. Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Goyer, N. Lavoie, J. Lazure, L. y Marchand, G. (2001): Bioaerosols in the Workplace: Evaluation, Control and Prevention Guide. Montreal.

Herraéz, J., Rodríguez, M. (1999): La conservación preventiva de las obras de arte, *Arbor* CLXIV, 645. Pp. 141-156

Herrera, J.L. Informe Ambiental de Guatemala y bases para la evaluación sistemática del estado del ambiente 2002-2005. Instituto de incidencia ambiental URL-IARNA. Universidad Rafael Landivar, (Informe Final, Facultad de Ciencias Ambientales y agrícolas). 95p.

Herrera, K. et. al. Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Proyecto de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 2007, 128 p.

Herrera, K. Cobar, O. De León, J. Jauregui, J. Rodas, A., Gudiel, H. Maas (2009). Impacto de la calidad microbiológica del aire externo en el ambiente interno en la salud ocupacional de cuatro laboratorios de instituciones públicas en la ciudad de Guatemala y Bárcenas, Villa Nueva.

Herrera, K. Cobar, O. De León, J., García, M., Boburg, S., López, R. Solís, E. (2011). Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Revista científica. 20 (1). Pp. 69-81.

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.

Horner, E. et al. Fungal allergens, USA: Clin Microbiol. 1995;8:161. Disponible en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUM%20PARAMETROS.HTM>.

Inegold, S., Baron, E. Diagnóstico Microbiológico (Bayley/Scott) Ed. Médica Panamericana, 7ª Edición, Buenos Aires, 1989.

Informe Ambiental de Guatemala y Bases para la, Evaluación Sistemática del Estado del Ambiente” 2002-2005. Recuperado de: <http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/Clima/documentos/nac/5-Clima.pdf>

INSIVUME. Parámetros climáticos estación central del ISIVUMEH. Disponible en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUM%20PARAMETROS.HTM>

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO Notas Técnicas de
Prevención (299, 335, 351) INSHT, Barcelona, 1998.

Klanova, K. (2000). The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms
with and without mould problems rooms with ant without complaints. Central
European Journal of Public Health, 8, 59-61.

Koneman, E. Roberts, G. Micología. (1992). Practica de Laboratorio. 3ra. Edición Buenos
Aires: Editorial Médica Panamericana.

Kraemer, G. (1973): Tratado de la previsión del papel y de la conservación de bibliotecas y
archivos vol I y II ed. Ministerio de Educación y Ciencia.

Latgé, J (1999). Aspergillus fumigatus and aspergillosis. USA: Clin Micro Rev.;12:310-350.

Lave, Lester B.; Eugene P. Seskin (1973). "An Analysis of the Association Between U.S.
Mortality and Air Pollution". J. Amer. Statistical Association 68:342.

Lewis, J.R. 1993. Operating room air distribution effectiveness. ASHRE Transactions 99(2),
1191-1200.

Madigan, M. Biología de los Microorganismos. Editorial Prentice may. 8ª edición. Impreso
en Español (1999).

Mandrioli, P. (2002). Bioaerosol and biodeterioration: London: UCL center for Sustainable
Heritage.

Martínez, E., Morales, D., 2004. Contaminación atmosférica. Volumen 45 de Colección Ciencia y técnica / Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha., Editor Universidad de Castilla La Mancha, pag 39.

MOREY, R.r., Hodgson, M.J.et 1984.al.Environmental studies in moldy office buildings: biological agents, sources and preventive measures Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg. 1984; 10: 21-35.

Negróni, R. Guelfand,L. (1999). Manual de Procedimientos para Laboratorios de Micología Medica. Acta Bioquímica Clínica Latinoamérica 1999. Buenos Aires: Federación Bioquímica de la Provincia de Buenos Aires.

Nevalainen, A. & Morawska, L. (2009). Biological agents in indoor environments. Assessment of health risks. Organización Mundial de la Salud.

Nolard, N; Beguin H, 2001. Tratado de alergia. Ed. Medecines-Sciences Flammarion.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2006. Guías de calidad del aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

Peman, J, Pozuelos M, Rubio M. Guía práctica de identificación y diagnóstico en Micología Clínica. Rev. Iberoam. Micol., 2001.

Perdomo, D. 1989. Aerobiología en Inmunología Clínica. Fondo Editorial CONICIT. 167-86.

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.

- Rodríguez, J; Alonzo, J. 2004. Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. México: Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Samson R. A. & van Reenen-Hoekstra E., 1988. Introduction to Food-Borne Fungi. Third Edition printed by Grafisch bedrijf Ponsen & Looijen b.v., Wageningen. Spieksma, M.; Fritz, Th.; 1992. Allergological aerobiology. *Aerobiología*. Vol. 8, N° 1. 5-8.
- SAMSON, R.B. et al Health Implications of Fungi in Indoor Environments Editorial DOYMA, Barcelona, 1992.
- Sánchez, Pedro M. *Limnetica* 1997. Madrid, España. p 31-46,85 p.
- Santiago, A. Anguelo E, Pabón R, Aceituno H, 1997. Diagnostico diferencial de levaduras mediante método automatizado. *Bol Soc Vzlna Microbiol* 1997; 17:62-64.
- Seifert, J. 1992. *Regulatin Indoor Air: Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality-State of the Art in SBS*. Bruselas: Kluwer Academic.
- Seltzer, J.M. 1995. Effects of the indoor environment on health *Occupational Medicine*, volume 10 no.1.
- Sly LI. Culture Collections World-wide. En: *The biodiversity of microorganisms and the role of Microbial Resource Centres*. Kirshop B, Hawksworth DL ed. Surrey: World Federation for Culture Collections Biodiversity Committee;1994. p. 29-35.
- Spieksma, F. T., (1991). «34», *Aerobiology in the Nineties: Aerobiology and pollinosis, International Aerobiology Newsletter*, pp. 1-5.

Snow, D., M.H.G. Cric ton, and N.C. Wrig t. 1944. Mould deterioration of feeding stuff in relation to humidity of storage. *Annals of Applied Biology* 1, .102-110.

Valentín, N. "La conservación y preservación de las colecciones históricas en el museo". En "Los conocimientos técnicos. Museos, Arquitectura, Arte". Ed. Silex Ediciones (1999) pp. 265-318.

Videla, H.A. Deterioro atmosférico y biodeterioro microbiológico del patrimonio cultural iberoamericano. En "Memorias Jornadas Científico Tecnológicas sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano de los Efectos del Biodeterioro Ambiental" (H.A. Videla, C. A. Giúdice Eds.), pág. 31-47 (2002).

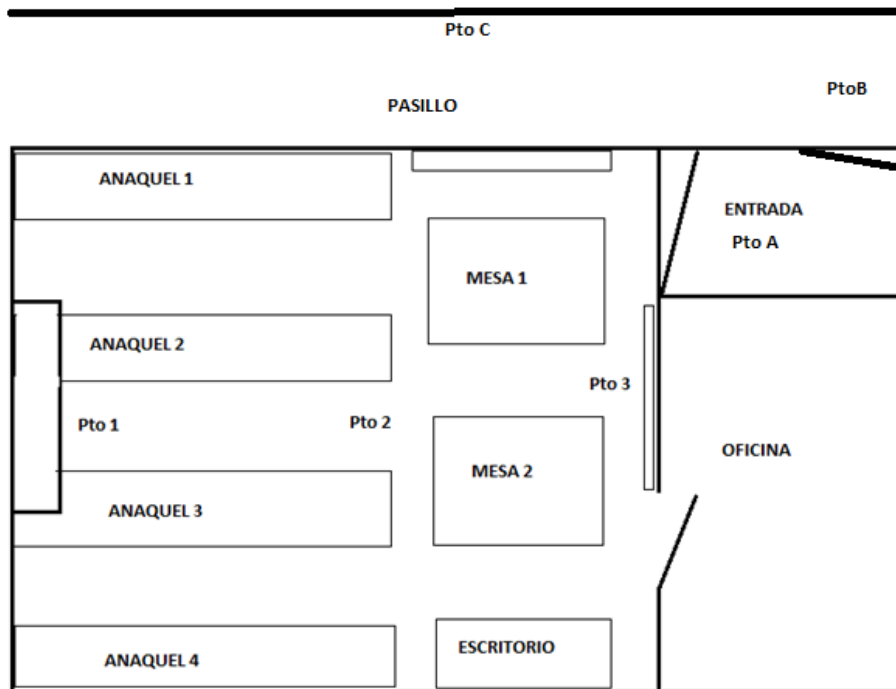
Wanner. H, Verhoeff. A, Colombi A, Flanning B, Gravesen S, Mouilleseux A, Nevalainen A, Papadakis J & Seidel K. (1993). Biological particles in indoor environments. Indoor air quality and its impact on man. Commission of European Communities, Brussels.

XIV. ANEXOS



ECO- MAS 100 utilizado para la recolección de muestras utilizando el método volumétrico por impactación. El aire y las partículas que contiene se dirigen hacia la superficie de agar en una caja de petri.

- Diseño y distribución de puntos de muestreos del Área de plantas vasculares y briofitas –BIGU-



En donde:

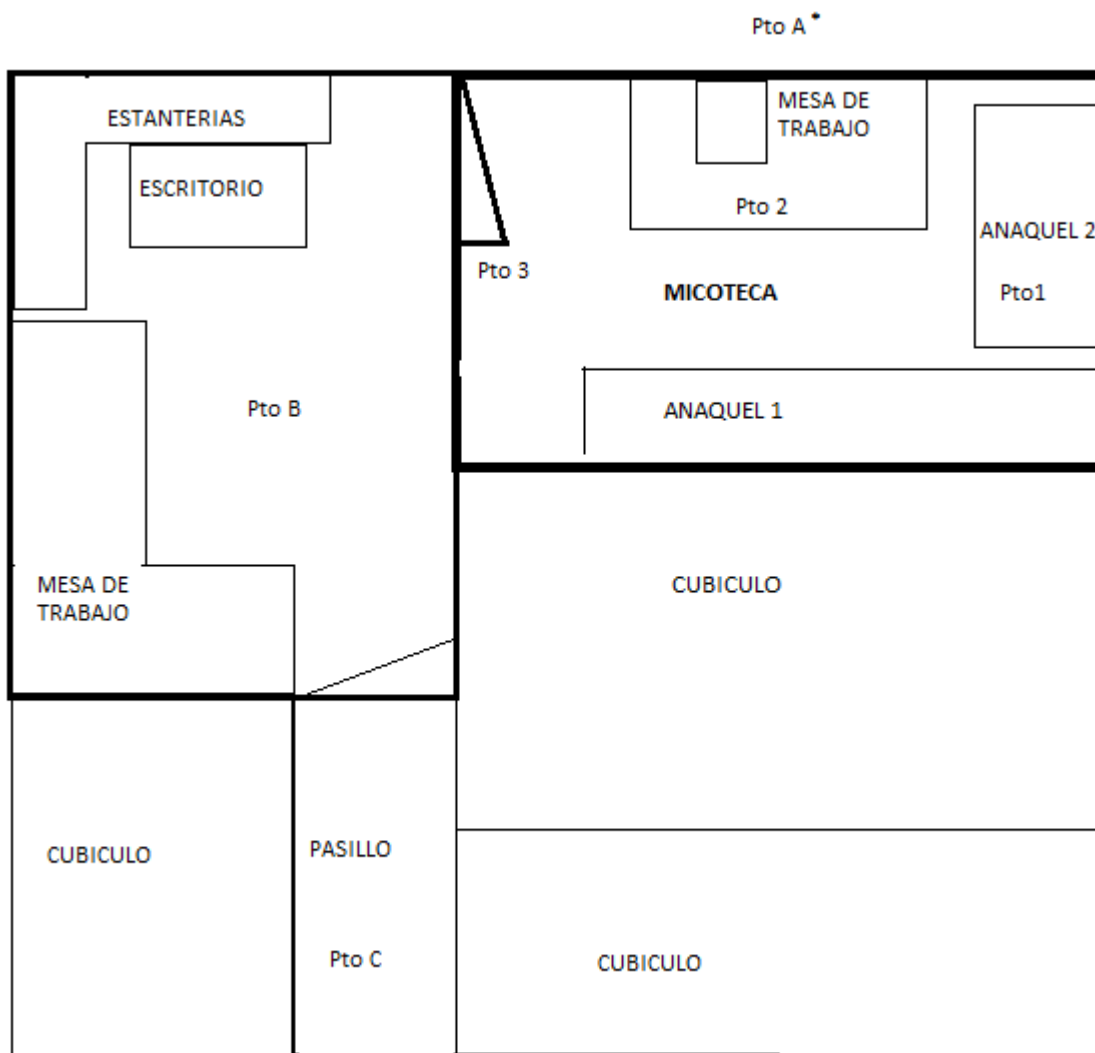
Pto: A,B,C (Puntos externos).

Pto: 1,2,3(Puntos internos).

El área de plantas vasculares y briofitas –BIGU- se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala 2do. Nivel Edificio T-10, Ciudad Universitaria, z. 12 a una Latitud $14^{\circ} 35' 03.94''$ N; longitud $90^{\circ} 33' 12.78''$ O. Elevación SNM 1485.

El ingreso al área cuenta con una puerta de madera la cual permanece abierta, un pasillo con piso de granito seguido por la puerta que da ingreso al área de trabajo, El piso del establecimiento es de granito, todas las paredes son de concreto, una pared tiene ventanas de las cuales son de paleta, el lugar cuenta con aire acondicionado y deshumificador, el techo es de concreto, y la puerta de entrada del lugar es de madera. El área de trabajo cuenta con dos mesas de madera, cuenta con cuatro anaqueles de metal, cuenta con dos archiveros de madera, una oficina con dos escritorios de madera y la puerta de madera.

- Diseño y distribución de puntos de muestreos de la Unidad de Biodiversidad, tecnología y aprovechamiento de hongos del departamento de Microbiología (-BioTAH-) en el área de la MICOTECA



En donde:

Pto: A,B,C (Puntos externos).

Pto: 1,2,3(Puntos internos).

El área de la Unidad de Biodiversidad, tecnología y aprovechamiento de hongos del departamento de Microbiología (-BioTAH-) en el área de la MICOTECA, se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala 2ª nivel, Edificio T-12, Ciudad Universitaria Zona 12 con una Latitud 14° 35' y 04.00" N; longitud 90° 33' y 11.76" O. Elevación SNM: 1,485 metros. El piso del establecimiento es de granito, todas las paredes son de concreto, una pared tiene ventanas de las cuales son de paleta en el área superior, el lugar no cuenta con aire acondicionado ni deshumificador, el techo es de concreto, no cuenta con puerta de entrada al lugar únicamente la que colinda con el pasillo del punto c la cual es de madera. El área de trabajo cuenta con una mesa de madera, cuenta con dos anaqueles de metal. El punto B cuenta con piso de granito y paredes de concreto una pared con ventanas de paleta en el área superior, una estantería de metal y una mesa de trabajo de madera al igual que el escritorio al igual que la puerta de entrada al establecimiento. la puerta de madera.

Br. María Alejandra Martínez Rosales

AUTORA

Dra. Karin Larissa Herrera Aguilar

ASESORA

MSc. Alba Marina Valdés de García

REVISORA

MSc. Alba Marina Valdés de García

DIRECTORA DE ESCUELA

Ph.D. Rubén Dariel Velásquez Miranda

DECANO

