

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA BIOLÓGICA

Determinación y comparación de la carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire de 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala.



Lucia Lisbeth Pernilla Cardona.

Química Bióloga.

Guatemala, Octubre del 2013.

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

Determinación y comparación de la carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire de 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala.

Proyecto de Investigación

Presentado Por

Lucia Lisbeth Pernilla Cardona

Para optar al título de

QUIMICA BIOLOGA

Guatemala, Octubre del 2013

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A	Secretario
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Lic. Rodrigo José Vargas González	Vocal III
Br. Fayver Manuel de León Mayorga	Vocal IV
Br. Maily Graciela Córdova Audón	Vocal V

DEDICATORIA

A:

Dios por su amor y las bendiciones que me regala cada día.

Mis padres Rodolfo y Martha, por su incondicional apoyo, amor y motivación constante permitiéndome ser la persona que soy.

A mi esposo Juan Carlos por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas tanto profesionales como personales.

A mi abuela Paulita por sus cuidados y amor.

A mis hermanos Rudy, Fabricio y Melvin por estar conmigo y apoyarme.

A mis sobrinas Megan, Melani y Daniela por poner la chispa de alegría cada día.

ÍNDICE

	<i>Páginas</i>
I. Ámbito de la investigación	3
II. Resumen	4
III. Antecedentes	5
A. Microbiología del aire	5
B. Importancia del estudio	5
C. Aire interior	7
D. Aire exterior	8
E. Tipos de microorganismos	9
F. Tiempo de permanencia de los microorganismos en el aire	9
G. Supervivencia de los microorganismos en el aire	10
H. Factores que contribuyen a la contaminación del aire	10
I. Enfermedades transmitidas por el aire	12
J. Importancia de la calidad del aire en un ambiente ocupacional	13
K. Estudios microbiológicos realizados en el ambiente	15
L. Determinación de unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m ³) de hongos y bacterias	17
M. Descripción de áreas muestreadas	18
IV. Justificación	20
V. Objetivos	21
VI. Hipótesis	22
VII. Materiales y métodos	23
VIII. Resultados	26
A. Resultados de muestreos periódicos	26
B. Análisis estadístico	30
IX. Discusión de resultados	43
X. Conclusiones	51
XI. Recomendaciones	52
XII. Bibliografía	53
XIII. Anexos	57

I. **Ámbito de la investigación**

La presente investigación deriva del proyecto FODECYT 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 Bárcenas, Villa Nueva". El objetivo de este proyecto es evaluar el impacto de la contaminación microbiológica del aire exterior sobre el ambiente interior ocupacional de laboratorios de instituciones públicas ubicadas en la ciudad Capital, Bárcenas, Villa Nueva y algunas ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán.

Se llevó a cabo un estudio de la calidad microbiológica del aire, para lo cual se realizó muestreos aereobiológicos durante un período de nueve meses del aire interior y exterior de tres laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala: LAMIR- Laboratorio Microbiológico de Referencia, -AMSA- Autoridad en el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán y -LAFYM- Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico. Posterior a los muestreos se hizo la evaluación cuantitativa de carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire. El estudio se titula "Determinación y comparación de la carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire de 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala".

Se realizó una evaluación cuantitativa con base a las unidades formadoras de colonias de las bacterias y hongos microscópicos por metro cúbico (UFC/m³) aisladas en cada laboratorio. La evaluación se realizó en puntos seleccionados en el interior y exterior de dichos laboratorios y se determinó la diferencia en contaminación de carga fúngica y bacteriana en cada laboratorio en función de su ubicación. Cada uno de estos laboratorios se encuentra ubicado en diferente área geográfica, por lo que presentan diferentes condiciones (ambientales o geográficas) que pueden favorecer el crecimiento de hongos.

II. Resumen

En este estudio se evaluó cuantitativamente la carga fúngica y bacteriana, suspendida en el aire interior y exterior de tres laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala y Villa Nueva: Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-, Autoridad en el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán - AMSA- y Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico - LAFYM- . Para lo cual se llevaron a cabo muestreos aerobiológicos durante un periodo de seis meses en el aire interior y exterior de dichas instalaciones.

Se determinaron los factores principales relacionados con la diferencia entre carga fúngica y bacteriana, de cada área, mediante análisis estadísticos como la correlación de Spearman. Por medio de graficas de barra y error se compararon diferentes parámetros como temperatura, humedad relativa y meses de muestreo. Los factores como la ventilación insuficiente, el polvo y el hacinamiento, así como el hecho que el personal pasa más del 90% de su tiempo dentro del laboratorio son algunos de los predisponentes que influyen en el aumento de carga fúngica y bacteriana en los laboratorios.

El laboratorio que presentó mayor contaminación bacteriana y fúngica, tanto en el ambiente interior como en el exterior, fue el laboratorio de AMSA, obteniendo los siguientes resultados: a.) 790 UFC/m³ y 950 UFC/m³ para la contaminación bacteriana interior y exterior respectivamente; y b.) para la carga fúngica del ambiente interior 4600 UFC/m³ y 2930 UFC/m³ para el ambiente exterior. Según la literatura consultada los resultados anteriores pueden considerarse un riesgo para la salud ocupacional, sin embargo se sugiere evaluar el género y patogenicidad.

Después de AMSA, el LAMIR presenta un comportamiento fúngico y bacteriana elevado. El laboratorio que presentó la menor carga microbiológica fúngica y bacteriana a lo largo de este estudio fue el LAFYM, con la menor carga fúngica (170 UFC/m³) y bacteriana de (80 UFC/m³).

Dado que en Guatemala, hay pocos estudios dirigidos al control microbiológico del aire en los laboratorios, la presente investigación pretende contribuir a mejorar la información respecto a los ambientes en estudio, y pueda servir incluso para mejorar los niveles de seguridad ocupacional de los empleados de estas instituciones.

III. Antecedentes

A. Microbiología del aire

El aire no es un medio en el que los microorganismos puedan desarrollarse pero es portador de materia particulada, polvo y gotas, que pueden estar cargadas de microbios. El número y tipo de microbios en el aire están determinados por las fuentes de contaminación del ambiente, como los organismos que son expelidos del aparato respiratorio al toser o estornudar y las partículas de polvo que circulan al ser levantadas de la tierra por el viento. Los microorganismos transmitidos por el aire son transportados en las partículas de polvo, en las gotas grandes que quedan suspendidas brevemente y en el núcleo de las gotas que se forman cuando pequeñas gotas se evaporan (1).

Así son llevados a unos cuantos metros o muchos kilómetros; algunos mueren en unos cuantos segundos, otros sobreviven durante semanas, meses o más tiempo. Su destino final depende de un sistema de complejas circunstancias que incluyen las condiciones atmosféricas como humedad, luz solar, temperatura, el tamaño de las partículas que lo transportan, así como su propia naturaleza es decir, el grado de susceptibilidad o resistencia a cada especie en particular al nuevo ambiente, o su capacidad para tomar esporas resistentes y quistes (1).

B. Importancia del estudio

La calidad del aire de interior se puede definir como la naturaleza del aire en cuanto afecta a la salud y bienestar de los ocupantes de un edificio o vivienda. Los efectos de esta contaminación interior sobre la salud de los trabajadores son especialmente importantes, ya que sus labores se desarrollan en lugares cerrados entre el 70 y 90 % del tiempo, siendo los más afectados los niños y las personas mayores. Varias enfermedades del hombre y los animales como lo son las enfermedades víricas, bacterianas y fúngicas, se transmiten por la atmósfera y a menudo se producen brotes epidémicos. (1,4).

Los microorganismos dispersados por el aire tienen una gran importancia biológica y económica, ya que son los causantes de muchas enfermedades en humanos y de graves pérdidas en las cosechas (2,5).

Muchos de estos microorganismos patógenos que son transmitidos por el aire causan enfermedad al hombre. Entre las enfermedades transmitidas por el aire y producidas por bacterias, virus y hongos, se encuentran las respiratorias (neumonía, tosferina, tuberculosis, legionelosis, resfriado, gripe), las sistémicas (meningitis, sarampión, varicela, micosis) y alérgicas (1, 2,6).

Aunque la atmósfera es un ambiente hostil para los microorganismos, en la troposfera inferior se encuentran también un gran número de ellos. Los microorganismos pueden ser transportados rápidamente, en forma de bioaerosoles, a través de grandes distancias con el movimiento del aire que representa el mejor camino de dispersión. Algunos han creado adaptaciones especializadas que favorecen su supervivencia y su dispersión en la atmósfera. El transporte se realiza sobre partículas de polvo, fragmentos de hojas secas, piel, fibras de la ropa, en gotas de agua o en gotas de saliva eliminadas al toser, estornudar o hablar (1,2).

Las esporas fúngicas son componentes normales de ambientes externos, aunque el aire de muchos ambientes internos también las contiene. Actualmente, se conoce que el aire presente en los ambientes exteriores puede ser la fuente de esporas fúngicas contaminantes de los ambientes internos, a su vez estos ambientes internos pueden servir como sitios de amplificación para el crecimiento de los hongos. Así, cuando se presenta una alta humedad, las esporas pueden germinar y el hongo puede crecer produciendo miles de nuevas esporas que utilizan la materia orgánica de esos sitios. La mayoría de los hongos presentes en los ambientes internos son saprofitos, porque ellos obtienen lo que necesitan para su metabolismo de materiales muertos, materia orgánica o sustratos como madera, papel, pintura, suelo, polvo, piel y alimentos. No hay un cierto nivel de los hongos ambientales que puede ser considerado como seguro. Esto depende de la concentración fúngica en los ambientes externos y de los tipos de esporas presentes en el ambiente interno. Cada laboratorio, oficina, edificio o cada casa debe ser considerada como un caso separado y único. Generalmente, la concentración fúngica de los ambientes internos es menor que la presente en los externos (7).

Klanova estableció que la concentración de hongos en ambientes internos por encima de 2 000 UFC/m³ puede ser considerada como un factor de riesgo serio para la salud de los ocupantes. Sin embargo, según la norma internacional, el nivel máximo permisible de contaminación para ambientes interiores en países fríos es de 500 UFC/m³ y en países tropicales esta en el orden de 10² UFC/m³. Mientras que en ambientes exteriores es de 10³ UFC/m³. Morey estableció que valores menores a 10³ UFC/m³ de bacterias son permisibles en ambientes interiores, siendo un riesgo para

la salud ocupacional, pero esto está estrechamente relacionado con el género y la patogenicidad de los microorganismos (3,5).

La contaminación daña de diferente manera la salud de los individuos dependiendo de su nivel de exposición a los contaminantes, de su capacidad y de su resistencia física. La inhalación de esporas fúngicas causan los síntomas respiratorios, como rinitis alérgica, asma, bronquitis crónica, así como también irritación de ojos, garganta y pulmones, ardor en ojos, tos y presión en el pecho; dependiendo de la especie, de las condiciones, tanto medio en el que se desarrolla el hongo como climática, y de la reactividad inmunológica del sujeto. La gente con asma, alergias y otros problemas respiratorios son los más expuestos al riesgo por los bacterias. Aquellos con un bajo sistema inmunológico debido al cáncer, pacientes que están bajo quimioterapias, o aquellos que han tenido un trasplante de órgano, deben evitar la exposición a estos microorganismos (5,6,9).

C. Aire interior

El grado de contaminación microbiana del aire interior está influido por factores como el tiempo de ventilación, hacinamiento, así como por la naturaleza y grado de actividad de los individuos que ocupan las habitaciones. Los microorganismos son expelidos en pequeñas gotas de la nariz y boca al estornudar, toser e inclusive al hablar. Esas gotitas expulsadas del aparato respiratorio varían de tamaño desde unos micrómetros a milímetros. Las que miden pocos micrómetros permanecen en el aire durante mucho tiempo, pero las grandes como el polvo sedimentan rápidamente sobre las superficies. Este polvo es transportado por el aire durante los periodos de actividad en las habitaciones (4).

D. Aire exterior

La superficie de la tierra es la fuente de microorganismos en la atmósfera. Los vientos levantan el polvo del suelo y las partículas de este transportan los microorganismos (1). La contaminación del aire exterior se puede dar por la entrada en el edificio de humo de escape de vehículos, gases de calderas, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento (asfalto, por ejemplo) y aire contaminado previamente desechado al exterior, que vuelve a entrar a través de las tomas de aire acondicionado. Otro origen puede ser las infiltraciones a través del basamento (vapores de gasolinas, emanaciones de cloacas, fertilizantes, insecticidas, incluso dioxinas y radón). Está demostrado que al aumentar la concentración en el aire exterior de un contaminante, aumenta

también su concentración en el interior del edificio, aunque más lentamente, e igual ocurre cuando disminuye. Por ello se dice que los edificios presentan un efecto de escudo (8).

E. Tipos de microorganismos

El aire contiene en suspensión diferentes tipos de microorganismos, especialmente bacterias y hongos. La presencia de uno u otro tipo depende del origen, de la dirección e intensidad de las corrientes de aire y de la supervivencia del microorganismo. Algunos microorganismos se encuentran en forma de células vegetativas, pero los más frecuentes son las formas esporuladas, ya que las esporas son metabólicamente menos activas y sobreviven mejor en la atmósfera porque soportan la desecación. En el aire se aíslan frecuentemente bacterias esporuladas de los géneros *Bacillus*, *Clostridium* y *Actinomicetos*. Entre las bacterias también son muy frecuentes los bacilos pleomórficos Gram positivos (*Corynebacterium*) y los cocos Gram positivos (*Micrococcus* y *Staphylococcus*) (2, 9,10).

Los bacilos Gram negativos (*Flavobacterium*, *Alcaligenes*) se encuentran en menor proporción y disminuyen con la altura. *Cladosporium* es el hongo que predomina en el aire, tierra y mar, aunque también es frecuente encontrar otros mohos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Mucor*. Los virus también pueden encontrarse en el aire y ser transportados por él. Numerosos virus humanos (Orto y Paramixovirus, Poxvirus, Picornavirus) se transmiten por vía respiratoria, principalmente en ambientes cerrados y pueden formarse bioaerosoles de virus entéricos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, pueden encontrarse virus de vegetales en aerosoles procedentes de plantas infectadas (1, 2,11).

F. Tiempo de permanencia de los microorganismos en el aire

El tiempo que permanecen los microorganismos en el aire depende de la forma, tamaño, peso del microorganismo, existencia y potencia de las corrientes aéreas que los sostengan y los eleven. Son factores adversos los obstáculos, que al oponerse a los vientos, disminuyen su velocidad y su potencia de arrastre y las precipitaciones, que arrastran al suelo las partículas suspendidas (2).

La turbulencia del aire disemina los microorganismos y el viento los lleva a grandes distancias. La frecuencia con que esto sucede está influida por muchas condiciones, empezando por la

dispersión de los microorganismos en la superficie de la tierra y la atmósfera, la hora, estación y condiciones climáticas que intervienen tanto en la diseminación como la supervivencia (1).

La sedimentación de los microorganismos por gravedad sólo es importante en el aire en calma. Generalmente, hay demasiadas turbulencias para que esto suceda, excepto en zonas de vegetación densa, donde la velocidad del viento disminuye o en condiciones estables durante la noche, cuando la capa laminar limitante alcanza varios metros de altura. El impacto que sufren las partículas del aire cuando encuentran un obstáculo, es mayor cuando partículas grandes inciden a altas velocidades hacia objetos pequeños. Así, las esporas de hongos patógenos de plantas, como *Puccinia* o *Helminthosporium* son grandes e impactan eficazmente contra las hojas, mientras que los de hongos del suelo como el género *Penicillium*, son pequeños y se depositan por otros sistemas. Incluso aunque el impacto de las esporas sea eficiente, no siempre quedan retenidos y pueden volver al aire. Las superficies húmedas o viscosas retienen mejor las partículas y una vez depositadas, no son resuspendidas fácilmente (2).

G. Supervivencia de los microorganismos en el aire

Las condiciones físico-químicas de la atmósfera no favorecen el crecimiento ni la supervivencia de los microorganismos, por lo que la mayoría solo pueden sobrevivir en ella durante un breve período de tiempo. Las esporas son las formas de vida con mayor supervivencia y tienen varias propiedades que contribuyen a su capacidad para sobrevivir en la atmósfera, principalmente su metabolismo bajo, por lo que no requieren nutrientes externos ni agua para mantenerse viables durante largos períodos de tiempo. Además poseen otras adaptaciones que aumentan su capacidad de sobrevivir en este ambiente. Algunas esporas tienen paredes gruesas que las protegen de la desecación y otras son pigmentadas, lo que las ayuda contra las radiaciones ultravioleta. Su escasa densidad les permite permanecer suspendidas en el aire sin sedimentar. Algunas son muy ligeras e incluso contienen vacuolas de gas y otras tienen formas aerodinámicas que les permite viajar por la atmósfera (12).

La supervivencia de las bacterias es variable, debido a su diversidad estructural y metabólica. En general, las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa. Por ejemplo, en aire seco algunas especies de los géneros *Bacillus* y *Clostridium* son capaces de sobrevivir más de 200 años, *Mycobacterium* un mes y *Salmonella* sólo diez minutos (13)

H. Factores que contribuyen a la contaminación del aire

1. Humedad relativa

Es el factor más importante. Cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los microorganismos, lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos. La desecación puede causar una pérdida de viabilidad en las capas más bajas de la atmósfera, especialmente durante el día. A mayores altitudes, las condiciones son más favorables por la evaporación y algunas esporas pueden germinar en las nubes. La humedad relativa de la atmósfera varía de un 10-20 % en las regiones desérticas. El límite menor para el crecimiento de hongos es del 65 %. Las bacterias requieren una mayor humedad así las Gram negativas resisten peor la desecación que las positivas; esto se refleja en la poca evidencia de transmisión de bacterias Gram negativas por el aire con la excepción del género *Legionella* (14,15).

2. Temperatura

Está muy relacionada con la humedad relativa, por lo que es difícil separar los efectos que producen ambas. La temperatura en la troposfera varía de 40° C cerca de la superficie a 80° C en las capas altas, alcanzándose temperaturas de congelación entre 3-5 Km. La congelación no destruye los microorganismos pero no pueden multiplicarse. Diversos estudios muestran que el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los microorganismos (16,17).

3. Polvo

Entre los elementos que componen la atmósfera tenemos el polvo, que es un factor tóxico en la misma, ya que está siempre cargado de esporas de microorganismos las que constituyen el componente mayoritario. Como los componentes del polvo, tanto químicos como biológicos, pueden dañar los materiales, éste debe ser retirado periódicamente para prevenir el biodeterioro (18).

4. Materia orgánica

La atmósfera contiene muy poca concentración de materia orgánica y en la mayoría de los casos, es insuficiente para permitir el crecimiento heterotrófico. El agua disponible es escasa por lo que, incluso el crecimiento de microorganismos autótrofos está limitado (18).

5. Ventilación

Cuando un local está bien ventilado se evapora la humedad y se reduce la temperatura superficial, modificándose estos dos factores ambientales de los que depende el crecimiento de los microorganismos. El aire estancado favorece considerablemente su propagación y deposición en superficies, alimentos, agua y tierra, mientras que el aire circulante impide que los microorganismos suspendidos en él se depositen (19).

I. Enfermedades transmitidas por el aire

Un gran número de infecciones humanas y animales se transmiten por el aire y causan enfermedad, principalmente en el aparato respiratorio. Las enfermedades respiratorias tienen una gran importancia socio económica ya que se transmiten fácilmente a través de las actividades normales del hombre, son las más frecuentes en la comunidad y el motivo más importante de absentismo laboral y escolar. No hay que olvidar que una persona a lo largo de su vida, respira varios millones de metros cúbicos de aire, gran parte del cual contiene microorganismos. Se calcula que se inhalan al día una media de diez mil microorganismos, pero el hombre posee eficaces mecanismos de defensa para evitar que invadan el aparato respiratorio. Sin embargo, el control de estas enfermedades es difícil porque los individuos que las padecen suelen seguir realizando sus actividades cotidianas y además, en algunas de ellas, no se dispone de agentes terapéuticos ni vacunas eficaces (1,20).

Ciertos hongos levaduriformes de los géneros (*Cryptococcus*, *Coccidioides*, *Blastomyces*, *Histoplasma*) son responsables de enfermedades pulmonares, desde donde pueden invadir otros tejidos y producir una enfermedad sistémica (Tabla 1). Estudios epidemiológicos han demostrado que la inhalación de las esporas de algunos hongos es la causa de los problemas respiratorios asociados al «síndrome del edificio enfermo» y otras enfermedades ocupacionales. Algunos hongos producen micotoxinas que afectan al hombre y a los animales cuando se ingieren, pero también se

han producido casos de micotoxicosis por inhalación de esporas de hongos toxigénicos como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Stachybotrys*, en ambientes cerrados (1,21,22,).

Tabla 1. Microorganismos transmitidos por el aire

Enfermedad	Fuente
Enfermedad de los legionarios <i>Legionella pneumophila</i>	Gotitas del sistema de aire acondicionado, tanques de almacenamiento de agua, donde crecen estas bacterias.
Psitacosis <i>Chlamydia psittaci</i>	Partículas secas que caen de aves como loras, pericos y palomas.
Alveolitis alérgica aguda Varios hongos y esporas de actinomicetos	Hongos de esporas de actinomicetos provenientes de la descomposición de la materia orgánica como el compost, almacenes de grano y heno.
Aspergilosis <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus Níger</i>	Esporas del hongo inhaladas desde materia orgánica en descomposición.
Histoplasmosis <i>Histoplasma capsulatum</i>	Esporas del hongo transportadas por el aire de excremento de aves como pollos (plumas de las aves) y murciélagos.
Coccidioidomicosis <i>Coccidioides immitis</i>	Esporas en el polvo levantado por el viento en regiones desérticas (América del norte del Sur y Central) donde el hongo crece en el suelo.

Fuente: El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. M. C. De LA Rosa, M. A. Mosso y C. Ullán* *Observatorio Medioambiental* Vol. 5 (2002): 375-402.

J. Importancia de la calidad del aire en un ambiente ocupacional

Cada vez existen más pruebas de que la calidad del aire en el ambiente interior puede tener efectos profundos en la salud de los ocupantes de los edificios. La Organización Mundial de la Salud estima que mundialmente hasta el 30 por ciento de los edificios de oficinas pueden tener problemas significativos y que entre el 10 y el 30 por ciento de los ocupantes de los edificios sufren efectos de salud que están, o se percibe que están, relacionados con una calidad de aire interior deficiente, tales como jaquecas, náuseas, mareos, resfriados persistentes, irritaciones de las vías respiratorias, piel y ojos (23,24).

La contaminación del aire de interiores proviene de una serie de diferentes fuentes. Los procesos de limpieza tales como barrer, quitar el polvo y pasar el aspirador normalmente eliminan las partículas más grandes de suciedad, pero con frecuencia aumentan las concentraciones de partículas pequeñas en el aire (8,23).

Diversos estudios realizados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) sobre la exposición de humanos a contaminantes del aire indican que en el aire del interior de recintos cerrados, los niveles de contaminación son de entre 2 a 5 y en algunos casos 100 veces más concentrados que los niveles presentes en el aire exterior. De los microorganismos presentes en la atmósfera, las esporas de los hongos representan el grupo más numeroso. Estas esporas alcanzan concentraciones muy significativas en determinadas épocas y son las responsables del elevado porcentaje de pacientes sensibilizados a estos aeroalérgenos y diagnosticados con problemas de alergia. Veinte por ciento de la población en los Estados Unidos, cerca de 55 millones de personas, pasan sus días en ambientes cerrados (edificios, escuelas y el hogar). Estudios realizados en la década de 1990 indicaron que 1 de cada 5 de las 110,000 escuelas en Estados Unidos reportaron que la calidad del aire interior era inadecuada y 1 de 4 escuelas reportaron que la ventilación (la cual impacta la calidad del aire interior) era inadecuada, por lo que los contaminantes del interior de los edificios están situados dentro de los cinco mayores riesgos para la salud pública (23,25).

La EPA ha desarrollado el Programa de Herramientas de Calidad del Aire Interior para las Escuelas (IAQ TFS) con la finalidad de reducir la exposición a los contaminantes ambientales en las mismas a través de la adopción voluntaria de las prácticas para manejar la calidad del aire interior. El programa “IAQ TFS” implementó en las escuelas un kit de herramientas, el cual provee una variedad de productos (hojas informativas, folletos y programas para computadoras), recursos detallados para ayudar a mantener un medio ambiente saludable en los edificios de las escuelas identificando, corrigiendo y previniendo problemas de calidad del aire. La calidad pobre de aire interior en las escuelas puede afectar la comodidad y la salud de los estudiantes y del personal, que a su vez puede afectar la concentración, la asistencia y el rendimiento de los estudiantes. Además, si la escuela se tarda en reaccionar por la calidad pobre del aire, los estudiantes y el personal están a mayor riesgo de sufrir problemas de salud a corto plazo, tales como la fatiga, náusea, al igual que problemas de salud a largo plazo como el asma (26).

El aire es vehículo de muchas de enfermedades microbianas tales como lo son las alergias al polen, ácaros, mohos y toxinas procedentes de mohos (micotoxinas: aflatoxinas, patulina, tricotecenos, toxinas procedentes de bacterias (endotoxinas estafilocócicas y de clostridios), enfermedades provocadas por cepas nosocomiales mutadas: (Estafilococos, Estreptococos, Pseudomonas, Bacillus), enfermedades víricas (gripe, sarampión, meningitis, resfriados comunes), infecciones fúngicas (aspergilosis) e infecciones bacterianas (legionelosis, tuberculosis, tos ferina, difteria, meningitis) (27,29).

K. Estudios microbiológicos realizados en el ambiente

Pouche en 1860 reportó que los sitios abiertos y con árboles, como el cementerio de Mont Páranse y parques, tienen entre 6 y 7 veces menos microorganismos que las calles de París, mostrando desde ya la diferencia de la carga microbiana en los ambientes internos. De todos los tipos de microorganismos presentes en la atmósfera, las esporas de los hongos (células encargadas de la reproducción) representan el grupo más numeroso. Estas esporas alcanzan concentraciones muy significativas en determinadas épocas y son las responsables del elevado porcentaje de pacientes sensibilizados a estos aeroalergenos y diagnosticados con problemas de alergia (6,24).

De acuerdo con el estudio realizado por CONAMA (Manejo de la Contaminación. Guatemala, CONAMA, 1995) se pueden señalar como causas principales de la contaminación del aire las siguientes:

- El crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad capital y otras ciudades.
- El aumento de la presión sobre los recursos naturales y los ecosistemas.
- La carencia de un conocimiento exacto de la situación actual los recursos y de la importancia que tienen en el bienestar de cada individuo.

La contaminación atmosférica tiene uno de sus principales orígenes en el aumento desmedido en el uso de las fuentes de energía, principalmente de los combustibles fósiles; aunado a una legislación inadecuada para el uso apropiado y racional de dichos combustibles. El ritmo de urbanización hace que cada año se agreguen 35,000 vehículos automotores a los 780,000 que ya circulan en el país. Muchas veces esos vehículos no llenan las normas ambientales mínimas (30).

En 1996 en la Habana, Cuba se llevó a cabo el Programa Nacional de Prevención y Control de la Calidad del Aire en los asentamientos humanos, síndrome del edificio y la vivienda enferma. El programa tuvo como propósito general proteger la salud de la población y estaba dirigido fundamentalmente a brindar los elementos higiénico-epidemiológicos necesarios para elaborar breves diagnósticos del ambiente, crear una dinámica de vigilancia y participación amplia en la prevención así como la corrección de los problemas de contaminación atmosférica que puedan afectar a la salud del área de influencia. Los tipos de exposiciones que consideró el programa son: doméstico, ocupacional, local, comunitaria y regional. Se estableció que el monitoreo del aire en los laboratorios es indispensable para controlar y normalizar los niveles de contaminación en aire interior de locales ocupacionales, con el fin de disminuir la contaminación en general y prevenir las enfermedades asociadas al tipo de contaminación (31).

Gómez llevó a cabo en el año 2005, la evaluación de alérgenos presentes en polvo y ambiente de algunas bibliotecas de Bogotá. Este trabajo buscó identificar la presencia de alérgenos en el polvo y el ambiente de las colecciones de cuatro bibliotecas de Bogotá, D. C y su implicación en la salud de sus trabajadores. A partir de las muestras tomadas del ambiente y el polvo se realizaron técnicas de cultivo microbiológico, sonicación, cuantificación y electroforesis de proteínas. Los hongos en el ambiente que se presentaron con mayor frecuencia fueron *Cladosporium* sp, seguido por *Penicillium* sp y *Aspergillus* sp. No se observó crecimiento de hongos en las muestras de polvo.

Se seleccionaron al azar muestras de polvo para la detección de ácaros con resultados negativos. Otra fracción de las muestras se utilizó para la cuantificación y la electroforesis de proteínas en la que se puso en evidencia un patrón de bandas común en las cuatro bibliotecas. La población de individuos alérgicos fue positiva en la prueba cutánea frente a ácaros. La sintomatología clínica inducida por el ambiente o el polvo de las bibliotecas puede ser el resultado de una reacción a alérgenos distintos a ácaros y hongos presentes en las bibliotecas (32).

Oliva en el 2007, realizó el monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala (estudio fisicoquímico) en el departamento de Análisis Inorgánico de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, demostrando notables incrementos en la contaminación microbiológica del aire los cuales son importantes por ser utilizados como transporte por esporas fúngicas. Los contaminantes analizados en la mayoría de estaciones de muestreo fueron: partículas totales en suspensión –PTS-, partículas totales en suspensión en su fracción –PM10-, dióxido de nitrógeno –NO₂-, dióxido de azufre –SO₂- y lluvia ácida. Los resultados obtenidos confirman que en el aire de los puntos de muestreo si existe contaminación provocada por todos los contaminantes

analizados, por lo cual deben tomarse las medidas apropiadas para su control o la calidad del aire en dichos sectores puede verse significativamente deteriorada (33).

En el 2007, Herrera llevó a cabo un estudio 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, evidenciando que factores ambientales como la humedad relativa influyen directamente en la presencia de esporas fúngicas en el aire. Se determinó que el personal estable y de tránsito influye directamente sobre la calidad del aire de cada local. Otros factores de los locales muestreados que influyen en la carga fúngica son la periodicidad de limpieza, la ventilación, falta de un procedimiento de limpieza y desinfección. Así mismo se demostró que no existe una relación directa entre los contaminantes en el aire exterior y los contaminantes presentes en el aire interior, ya que estos dos ambientes no presentaron una contaminación cruzada (34).

L. Determinación de unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) de hongos y bacterias.

Guatemala no cuenta con estudios sobre la calidad micológica del aire por lo que en este estudio los valores de unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) de colonias fúngicas, se compararán con los valores establecidos por Klanova en el año 2000, ya que las condiciones climatológicas de Cuba son muy similares a las de Guatemala. Por otro lado, los valores obtenidos de unidades formadoras de colonias de bacterias se compararán con los valores establecidos por SEGLA en el año 2005 (5).

En 1990 Reynolds en Minnesota, Estados Unidos, señaló que para países de clima frío, las concentraciones de esporas de hongos en el aire que excedan de 500 UFC/m³ de aire indican una condición anormal en el ambiente interior y planteó que en países con clima tropical valores de 10² UFC/m³ son comunes en el aire de ambiente interior (36). Sin embargo, otros autores como Reponen en 1995, proponen que un nivel límite de esporas de hongos como normal, es de 500 UFC/m³, aplicable para el invierno de un clima subártico, ejemplo de diciembre a marzo en Finlandia (37).

Morey en el 2000 estableció que valores menores a 10³ UFC/m³ de bacterias son permisibles en ambientes interiores, sin ser un riesgo para la salud ocupacional, pero esto está estrechamente relacionado con el género y la patogenicidad de las bacterias aisladas (38). Por otra parte Rojas en

el 2002 reportó en un estudio realizado en locales de la Universidad de La Habana que valores de UFC/m³ de aire superiores a 10² constituyen un indicativo de contaminación ambiental en ambientes interiores (39).

M. Descripción de áreas muestreadas

Para interés del presente estudio, las áreas seleccionadas serán evaluadas, para determinar los factores que predisponen a una mayor contaminación. Laboratorio Microbiológico de Referencia - LAMIR- (coordenadas: 14°35'03.43"N - 90°33'17.03"O – elevación 1483m), ubicado en el segundo nivel del edificio T-12 en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Ciudad Universitaria zona 12, ciudad de Guatemala. El horario de atención es de 8:00 a 16:00 horas, en el laboran 7 personas, entre las cuales seis son estudiantes que realizan trabajo de investigación. Se cuenta con un técnico quien es el responsable de la recepción de muestras y preparación de material (medios de cultivo). Los servicios brindados son análisis microbiológico de muestras de agua, alimentos y muestras de origen ambiental. El área de trabajo no posee la capacidad y el espacio físico para que las personas se encuentren bien distribuidas dentro de las instalaciones, provocando un incremento en la contaminación del aire por falta de ventilación, espacio, acúmulo de polvo en las mesas de trabajo y entrada y salida del personal.

El laboratorio de Autoridad en el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán -AMSA- ubicado en Bárcenas, Villa Nueva con influencia de la cuenca de lago de Amatitlán (coordenadas: 14°31'08.98"N – 90°37'17.01"O – elevación 1461m). El aire exterior se encuentra en contacto con el relleno sanitario de Barcenás, Villa Nueva; el cual es un factor muy importante para la contaminación del aire. En cuanto al ambiente interior, se cuenta con sistemas de aire acondicionado, los cuales no siempre están en uso. AMSA tiene como función la protección, conservación, defensa, rehabilitación y restauración de la Cuenca y del Lago de Amatitlán. El horario de trabajo es de 8:00 a 16:00 horas, el personal del laboratorio esta compuesto por 6 personas pero únicamente dos trabajan con un contrato permanente (40).

El Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM- (coordenadas: 14°38'45.01"N – 90°30'44.46"O – elevación 1497m), está ubicado en el primer nivel del edificio de la Antigua Facultad de Farmacia en la zona 1, de la ciudad de Guatemala. El horario de trabajo es de 7:00 a 15:00 horas, siendo dos las personas encargadas del laboratorio. Entre sus funciones se encuentran elaboración de medicamentos, muestreos de agua, muestreos de aire y elaboración de

medios de cultivo. El área de trabajo se ve afectada ya que hay un tránsito alto de personas que realizan la Experiencia Docente con la comunidad (EDC) y personas ajenas al ambiente de trabajo lo cual contribuye a que este sea susceptible a la contaminación. El ambiente exterior se encuentra expuesto al área verde como a tránsito vehicular, favoreciendo la propagación de microorganismos. Además la antigüedad del edificio y la humedad hacen que en él pueda darse la proliferación de contaminantes.

IV. Justificación

Se han realizado estudios en países como Estados Unidos y Cuba, que reflejan que las esporas de los hongos representan el grupo más numeroso de material biológico suspendido en el aire, seguido por las bacterias. Tanto las esporas como las bacterias pueden producir una variedad de síntomas respiratorios, contaminación y otras afecciones a la salud. Por ello es de vital importancia el estudio del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores. Tal es la importancia, que la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), en los últimos años ha situado a los contaminantes del aire del interior de los edificios entre los primeros cinco mayores riesgos para la salud pública (1, 11,12).

En Guatemala es poco lo que se conoce sobre la calidad microbiológica del aire, por esto la importancia de llevar a cabo este estudio, y a la fecha solo se ha realizado un estudio 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. Por este motivo, se ha considerado necesario llevar a cabo la determinación y comparación de la carga fúngica y bacteriana suspendida en el aire de 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala. Esto permitirá determinar si la calidad del aire de estos laboratorios es la adecuada tanto para que se trabaje en él, como para la manipulación de muestras; de manera de que no exista riesgo para la salud del personal del laboratorio.

Con los resultados del estudio se estará proporcionando información valiosa para los laboratorios. Así también a través de un proyecto de investigación del Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR), los datos se utilizarán para la elaboración de un manual de bioseguridad específico para cada laboratorio de acuerdo a sus condiciones particulares de fuentes de contaminación. Con ello, se podrán tomar medidas preventivas, así como corregir las posibles fuentes de contaminación en ambiente interior del laboratorio.

V. Objetivos

A. *General:*

Comparar la calidad microbiológica del aire en 3 laboratorios microbiológicos ubicados en diferentes zonas del departamento de Guatemala: -LAMIR- Laboratorio Microbiológico de Referencia, -AMSA- Autoridad en el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán y -LAFYM- Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico.

B. *Específicos:*

1. Determinar y comparar la carga fúngica (UFC/m³), del aire interior y exterior de cada uno de los laboratorios en estudio.
2. Determinar y comparar la carga bacteriana (UFC/m³), del aire interior y exterior en los laboratorios de en estudio.
3. Establecer las condiciones específicas de cada laboratorio, responsables de las diferencias en carga fúngica y bacteriana encontradas.

VI. Hipótesis

Existe una mayor contaminación fúngica y bacteriana en el laboratorio de –AMSA- comparado con los otros laboratorios, debido su ambiente exterior.

VII. Materiales y métodos

1. Selección de las áreas a muestrear

Se seleccionaron las áreas a muestrear luego de observar aspectos como: la disposición de polvo, el tipo de infraestructura, ubicación y el trabajo que se realiza, de manera que los puntos a muestrear quedaron de forma triangular abarcando la mayor área posible del laboratorio. Esta selección se hizo dentro como fuera del laboratorio, estableciendo tres puntos a muestrear.

2. Selección de la hora de muestreo

Para la selección de la hora se realizó un muestreo previo de 6 horas y con base a los resultados se escogió la hora de mayor contaminación.

3. Toma de la muestra

Se llevó a cabo el método volumétrico por impactación, utilizando un equipo para toma de aire graduada. El aeroscopio utilizado fué el Mas 100 ECO Colector, el cual es un biolector de ranura por impactación.

Para cada punto se utilizaron cuatro medios de cultivo. Para la identificación fúngica se utilizó agar Sabouraud con cloruro de sodio, el cual es un medio selectivo para el aislamiento de hongos.

Para la identificación bacteriana se utilizó Manitol Sal, medio selectivo para la diferenciación de *Staphylococcus*; MacConkey, el cual es un medio selectivo para bacterias Gram negativo; y agar PCA que es útil para el conteo en placa y para determinar el número de bacterias y hongos en el aire, además de ser un medio enriquecido para bacterias mesófilas. Cada medio se utilizó por triplicado (rotulándolos como punto uno, dos y tres) para cada punto.

La preparación de cada uno de los medios se realizó siguiendo las instrucciones específicas proporcionadas por el proveedor.

4. Lectura de las muestras

Las cajas de las colonias fúngicas se incubaron a temperatura ambiente por siete días hasta que el hongo se desarrolló, se observaron características en las colonias como el crecimiento elevado, plano o convexo, presencia color del anverso y reverso de la colonia, producción de exudado y pigmentación. Posteriormente se llevó a cabo el recuento de las colonias fúngicas de los tres puntos, reportando UFC/L.

En las colonias bacterianas se observaron características como consistencia dura, blanda, mucoide y elástica, aspecto liso, cerebriforme flocoso, y si hacen virar el color del medio.

Las cajas del muestreo de bacterias se incubaron a 37 °C y la lectura se llevó a cabo luego de 24 horas, reportar UFC/L.

Teniendo el recuento de cada punto en unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) se procedió a realizar la corrección del error estadístico que se da por el número de agujeros que posee el muestreador, este valor se corrigió de acuerdo a la fórmula de Feller para eliminar el sesgo debido a los múltiples orificios que posee el equipo de captación de aire donde:

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

Pr: total estadístico probable.

N|: constante.

r: número de unidades formadoras de colonias contadas en cajas de Petri de 90 mm.

Luego se procedió a convertir estas UFC/ml en unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³) por estequiometría:

$$\text{UFC/ml} * \frac{1000 \text{ ml}}{100 \text{ L de aire}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = \text{UFC/m}^3$$

Absorbido

El valor que se obtuvo de unidades formadoras de colonia por metro cúbico es el indicador de contaminación de carga fúngica y bacteriana que existe en cada local.

Con los conteos corregidos, se evaluaron los datos obtenidos y se procedió a comparar los resultados de los tres laboratorios considerando las condiciones específicas de cada uno.

Se elaboró un croquis con coordenadas y la descripción de los ambientes interior y exterior de cada laboratorio, con el fin de determinar algunas de las condiciones que pudieran provocar contaminación en el ambiente (Anexo 1-3).

Además se realizó una tabla para la verificación de bioseguridad (lista de chequeo) con todas las condiciones que pudieron influir en la carga fúngica y bacteriana de cada laboratorio (Anexo 4), basadas en los tres manuales de bioseguridad realizados en el proyecto FODECYT 002-2008. Esto permitió determinar, los factores que influyen en las diferencias de carga. Al concluir esta inspección se compararon las condiciones entre los laboratorios contra el manual de bioseguridad.

Se compararon las condiciones de humedad y temperatura del ambiente interior como exterior de cada uno de los laboratorios. Esto permitió determinar cuales de estos factores influyeron en las diferencias de cargas.

5. Diseño de la investigación

Descriptivo de la carga fúngica y bacteriana (UFC/m³) por medio de tablas y gráficas a través de rango, valor mínimo, valor máximo y mediana. Descriptivo del logaritmo natural de la carga fúngica y bacteriana por medio de la media y desviación estándar.

La comparación de la carga fúngica y bacteriana entre laboratorios se realizó por medio del análisis de varianza de tres vías y con comparaciones múltiples, con la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher a una cola.

El comportamiento de la carga fúngica y bacteriana se presentó con gráficas de caja y de barras de error. La comparación de la carga fúngica y bacteriana con parámetros climáticos se realizó con el análisis de correlación de Spearman (UFC vs. T°C y %Humedad relativa (%HR))

VIII. Resultados

A. Resultados de muestreos periódicos

A continuación se presenta los conteos de carga fúngica y bacteriana del aire en tres laboratorios microbiológicos de Guatemala, tanto en su ambiente interior como exterior. Los resultados se expresan en UFC/m³, además se estudió su relación con la temperatura y el porcentaje de humedad relativa de cada lugar.

En la tabla 2 se observa los resultados de carga fúngica contra temperatura y humedad relativa del Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-. El mes de enero reportó la mayor carga fúngica en el ambiente interior y exterior con valores de 2720 UFC/m³ y 2930 respectivamente. El menor conteo fúngico se presentó en noviembre con un resultado en el ambiente interior 560 UFC/m³ y en el exterior de 490 UFC/m³. Ninguno de estos valores máximos y mínimos de carga fúngica corresponde a valores máximos o mínimos de temperatura o porcentaje de humedad relativa.

Tabla 2. Carga fúngica, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior del LAMIR.

Mes de muestreo	Carga fúngica en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i	Carga fúngica en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e
Octubre	1840	25.1	53	2000	28.8	44
Noviembre	560	24.1	60	490	31	58
Diciembre	1180	19.9	66	940	20.7	53
Enero	2720	22.6	57	2930	22.3	51
Febrero	2570	22.3	57	1900	20.8	59
Marzo	570	21.6	62	750	22.2	45

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius. Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius. % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

Los resultados de carga bacteriana contra la temperatura y humedad en el LAMIR, se presentan en la tabla No. 3. La menor carga bacteriana se observa en el ambiente interior en el mes de noviembre, siendo de 50 UFC/m³ y en febrero la mayor carga bacteriana en el interior de 360 UFC/m³. Al igual que con la carga fúngica, los valores de temperatura y humedad son bastante variados tanto en el ambiente interior como en el exterior, sin tener una relación en cuanto a mayor o menor crecimiento. Adicionalmente, en octubre se registró el menor conteo bacteriano (30 UFC/m³) en el ambiente exterior, mientras que en enero en el ambiente exterior, se obtuvo el mayor conteo (400 UFC/m³).

Tabla 3. Carga bacteriana, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior del LAMIR.

Mes de muestreo	Carga bacteriana en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i	Carga bacteriana en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e
Octubre	120	25.1	53	30	28.8	44
Noviembre	50	24.1	60	80	31	58
Diciembre	280	19.9	66	170	20.7	53
Enero	180	22.6	57	400	22.3	51
Febrero	360	22.3	57	180	20.8	59
Marzo	150	21.6	62	110	22.2	45

Fuente: datos experimentales obtenidos para este muestreo. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius. % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

En la tabla 4 se observa los resultados que corresponden al laboratorio de AMSA. La mayor contaminación se registró en octubre tanto en el ambiente interior (2390 UFC/m³) como en el exterior (4600 UFC/m³), con una temperatura de 20.8 °C y 18.1 °C respectivamente. La menor contaminación se reportó en marzo, en el ambiente interior con 530 UFC/m³ y en el ambiente exterior con 820 UFC/m³. Con temperaturas en ambiente interior entre los rangos de 20.8 °C hasta 22.2 °C, y una humedad relativa entre 44 % y 61 %. A diferencia del ambiente exterior donde las temperaturas se encontraron entre los rangos de 15.7 °C y 19.8 °C con un porcentaje de humedad entre 56 % y 65 %.

Tabla 4. Carga fúngica, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior de AMSA.

Mes de muestreo	Carga fúngica en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i	Carga fúngica en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e
Octubre	2390	20.8	58	4600	18.1	59
Noviembre	2210	21.6	60	4440	19.4	56
Diciembre	750	21.6	61	1580	19	57
Enero	670	20.2	57	1490	15.7	62
Febrero	930	22	59	1530	18	65
Marzo	530	22.2	44	820	19.8	63

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius. Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius. % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

En la tabla 5 se observa que en febrero se reportó la carga bacteriana más alta en el ambiente interior del Laboratorio de AMSA (790 UFC/m³), con una temperatura de 22°C y un porcentaje de humedad relativa media con un valor de 59%. Mientras, en noviembre se presentó la mayor carga bacteriana en el ambiente exterior (950 UFC/m³), con una temperatura alta de 19.4°C y un porcentaje de humedad relativa de 56%.

Tabla 5. Carga bacteriana, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior de AMSA.

Meses de muestreo	Carga bacteriana en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i	Carga bacteriana en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e
Octubre	480	20.8	58	480	18.1	59
Noviembre	640	21.6	60	950	19.4	56
Diciembre	220	21.6	61	570	19	57
Enero	250	20.2	57	700	15.7	62
Febrero	790	22	59	620	18	65
Marzo	250	22.2	44	830	19.8	63

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius. Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius. % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

Como se observa en la tabla 6, en el laboratorio LAFYM, enero presentó la mayor carga fúngica, tanto en el ambiente interior como exterior, con valores de 1240 UFC/m³ y 2,900 UFC/m³. La mayor temperatura en el ambiente interior como exterior se presentó en octubre (23.7 °C -22.2°C) y la menor temperatura en ambos ambientes fue en febrero (21.4 °C -18°C).

Tabla 6. Carga fúngica, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior de LAFYM.

Meses de muestreo	Carga fúngica en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i .	Carga fúngica en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e .
Octubre	300	23.7	63	370	22.2	60
Noviembre	480	23.4	52	580	19	55
Diciembre	584	21.7	65	560	19.7	65
Enero	1240	22.4	62	2900	19.7	63
Febrero	550	21.4	53	780	18	51
Marzo	170	22.1	48	390	19.4	54

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

En la tabla 7, también para el LAFYM, se observa que en el ambiente interior el menor conteo se observó en febrero 80 UFC/m³, con un porcentaje de humedad de 53 % y una temperatura de 21.4 °C y en enero se presentó la mayor carga con un valor de 250 UFC/m³ y un porcentaje de humedad de 62 % y una temperatura de 22.4 °C. Sin embargo, la menor carga bacteriana en el ambiente exterior se presentó en octubre 90 UFC/m³ y la mayor en febrero, con 60 % de humedad y una temperatura de 22.2 °C.

Tabla 7. Carga bacteriana, temperatura y humedad registrada en los meses de muestreo en ambiente interior y exterior de LAFYM.

Meses de muestreo	Carga bacteriana en ambiente interior (UFC/m ³)	Temperatura interior (°C)	% H.R. _i	Carga bacteriana en ambiente exterior (UFC/m ³)	Temperatura exterior (°C)	% H.R. _e
Octubre	100	23.7	63	90	22.2	60
Noviembre	160	23.4	52	130	19	55
Diciembre	120	21.7	65	280	19.7	65
Enero	250	22.4	62	300	19.7	63
Febrero	80	21.4	53	100	18	51
Marzo	130	22.1	48	130	19.4	54

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. (UFC/m³)=Unidades formadoras de colonia por metro cúbico. Temperatura interior (°C)= Temperatura interior en grados Celsius Temperatura exterior (°C)= Temperatura exterior en grados Celsius % H.R._i = Porcentaje de humedad relativa interior. % H.R._e= Porcentaje de humedad relativa exterior.

B. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los datos utilizando estadística descriptiva de la carga fúngica expresada en UFC/m³ en el ambiente interior y exterior de los laboratorios. Puede observarse en la tabla 8, que el valor máximo se observó en AMSA con 4600 UFC/m³.

Tabla 8. Carga fúngica (UFC/m³) de los laboratorios.

Nombre del laboratorio	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
AMSA	12	1510.00	4070	530	4600
LAFYM	12	555.00	2730	170	2900
LAMIR	12	1510.00	2440	490	2930
Total	36	875.00	4430	170	4600

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

Se presenta la media y desviación estándar de los mismos grupos, con el logaritmo natural de la carga fúngica. Como se observa en la tabla 9 no existe diferencia significativa entre la desviación típica de los laboratorios AMSA y LAFYM.

Tabla 9. Logaritmo natural de la carga fúngica de los laboratorios.

Nombre del laboratorio	N	Media	Desviación típica
AMSA	12	7.2717891	.71278045
LAFYM	12	6.3348690	.71262001
LAMIR	12	7.1515033	.66566158
Total	36	6.9193871	.79795441

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 10 se observa el efecto que ejerce el ambiente exterior sobre el ambiente interior, esto indica que los valores de contaminación por hongos en el ambiente exterior son más elevados en comparación con lo encontrado en el ambiente interior.

Tabla 10. Carga fúngica (UFC/m³) del ambiente exterior e interior.

Lugar de muestreo	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
Exterior	18	1215.00	4230	370	4600
Interior	18	710.00	2550	170	2720
Total	36	875.00	4430	170	4600

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 11 se observa que la desviación típica es mayor en el ambiente exterior que en el interior.

Tabla 11. Logaritmo natural de la carga fúngica del ambiente exterior e interior.

Lugar de muestreo	N	Media	Desviación típica
Exterior	18	7.0856812	.80134066
Interior	18	6.7530930	.78115910
Total	36	6.9193871	.79795441

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

Como se muestra en la tabla 12 la diferencia entre los meses de muestreo es variada con un valor máximo en el mes de octubre de 4600 UFC/m³ y un valor mínimo de 170 UFC/m³ en el mes marzo.

Tabla 12. Carga fúngica (UFC/m³) de los meses de muestreo.

Mes de muestreo	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
Diciembre	6	845.00	1020	560	1580
Enero	6	2105.00	2260	670	2930
Febrero	6	1230.00	2020	550	2570
Marzo	6	550.00	650	170	820
Noviembre	6	570.00	3960	480	4440
Octubre	6	1920.00	4300	300	4600
Total	36	875.00	4430	170	4600

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

Se observa en la tabla 13 que la desviación típica del mes de octubre es mayor en relación a los seis meses de muestreo.

Tabla 13. Logaritmo natural de la carga fúngica de los meses de muestreo.

Mes de muestreo	N	Media	Desviación típica
Diciembre	6	6.7670401	.40740502
Enero	6	7.4667144	.59692023
Febrero	6	7.0897817	.58470409
Marzo	6	6.1749727	.57372947
Noviembre	6	6.8597190	.95053024
Octubre	6	7.1580948	1.09565832
Total	36	6.9193871	.79795441

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

C. Estadística descriptiva de la carga bacteriana.

Se presenta la estadística descriptiva de los grupos (laboratorios, lugares y meses) con la carga bacteriana (rango, valor mínimo, valor máximo y rango), seguida de la estadística descriptiva de los mismos grupos con el logaritmo natural de la carga bacteriana (media y desviación estándar).

En la tabla 14 se observa que la carga bacteriana máxima a lo largo de los seis nuestros periódicos llevados a cabo en los diferentes laboratorios, se observó en el laboratorio de AMSA.

Tabla 14. Carga bacteriana (UFC/m³) de los laboratorios.

Nombre del laboratorio	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
AMSA	12	595.00	730	480	830
LAFYM	12	130.00	220	100	130
LAMIR	12	160.00	370	120	110
Total	36	200.00	920	100	830

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

Como se presenta en la tabla 15 de carga bacteriana, el LAMIR presentó la mayor desviación típica de los tres laboratorios.

Tabla 15. Logaritmo natural de la carga bacteriana de los laboratorios.

Nombre del laboratorio	N	Media	Desviación. Típica.
AMSA	12	6.2352	.49990
LAFYM	12	4.9515	.44612
LAMIR	12	4.9357	.76700
Total	36	5.3741	.84103

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 16 se observa que en el exterior de todos los laboratorios se da el mayor conteo de carga bacteriana con un valor de 830 UFC/m³, mientras que el valor mínimo es de 90 UFC/m³.

Tabla 16. Carga bacteriana (UFC/m³) del ambiente exterior e interior.

Lugar de muestreo	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
Exterior	18	230.00	920	90	830
Interior	18	200.00	740	100	250
Total	36	200.00	920	100	830

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 17 se muestra que la carga bacteriana en el ambiente exterior presenta una mayor desviación típica en comparación con el ambiente interior.

Tabla 17. Logaritmo natural de la carga bacteriana del ambiente exterior e interior.

Lugar de muestreo	N	Media	Desviación. Típica.
Exterior	18	5.4478	.96541
Interior	18	5.3004	.71606
Total	36	5.3741	.84103

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

Como se observa en la tabla 18 la mayor contaminación bacteriana presente en el aire se da en el mes de noviembre y la menor contaminación se presentó en octubre.

Tabla 18. Carga bacteriana (UFC/m³) de los meses de muestreo.

Meses de muestreo	N	Mediana	Rango	Mínimo	Máximo
Diciembre	6	250.00	450	120	570
Enero	6	275.00	520	250	700
Febrero	6	270.00	710	80	620
Marzo	6	140.00	720	130	830
Noviembre	6	145.00	900	160	950
Octubre	6	110.00	450	100	480
Total	36	200.00	920	100	830

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 19 se observa, que durante los meses de noviembre y octubre, se obtuvo una desviación típica mayor a los otros meses de muestreo.

Tabla 19. Logaritmo natural de la carga bacteriana de los meses de muestreo.

Meses de muestreo	N	Media	Desviación. Típica.
Diciembre	6	5.4887	.52958
Enero	6	5.7470	.47263
Febrero	6	5.5280	.95155
Marzo	6	5.2815	.75956
Noviembre	6	5.2591	1.16347
Octubre	6	4.9402	1.07159
Total	36	5.3741	.84103

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

D. Análisis de varianza de tres vías de la carga fúngica

Se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos, utilizando un análisis de varianza de tres vías y la variable dependiente fue el logaritmo natural de la carga fúngica expresada en UFC/m³. De la tabla 20 de ANDEVA, se concluyó que existe diferencia significativa entre laboratorios (p=0.001), no hay diferencia significativa entre lugares de muestreo -interior/exterior- (p=0.100) y sí existe también diferencia significativa entre meses (p=0.017).

Tabla 20. Logaritmo natural de la carga fúngica.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo	1736.636 ^a	9	192.960	562.971	.000
Laboratorio	6.237	2	3.118	9.098	.001
Mes	5.799	5	1.160	3.384	.017
Ubicación	.996	1	.996	2.905	.100
Error	9.254	27	.343		
Total	1745.891	36			

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio. a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

E. Comparaciones múltiples de la carga fúngica

Para determinar si existe diferencia significativa entre la carga fúngica de cada laboratorio, se realizó la prueba post-ANDEVA de la mínima diferencia significativa de Fisher (LSD o DMS). Como se puede observar en la tabla 21, los resultados en el LAFYM son significativamente diferentes a los del laboratorio de AMSA ($p=0.001$) y a los del LAMIR ($p=0.002$), entre el laboratorio de AMSA y el LAMIR no hay diferencias significativas ($p=0.619$).

Tabla 21. Comparaciones múltiples de los laboratorios, logaritmo natural de la carga fúngica LSD.

(I) Nombre del laboratorio	(J) Nombre del laboratorio	Diferencia entre medias (I-J)		Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
			Error típ.		Límite inferior	Límite superior
AMSA	LAFYM	.9369201 *	.23900909	.001	.4465140	1.4273263
	LAMIR	.1202858	.23900909	.619	-.3701204	.6106919
LAFYM	AMSA	-.9369201 *	.23900909	.001	-1.4273263	-.4465140
	LAMIR	-.8166344 *	.23900909	.002	-1.3070405	-.3262282
LAMIR	AMSA	-.1202858	.23900909	.619	-.6106919	.3701204
	LAFYM	.8166344 *	.23900909	.002	.3262282	1.3070405

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 22 se observa que marzo es significativamente diferente a octubre ($p=0.007$), enero ($p=0.001$) y febrero ($p=0.012$). Además, enero es significativamente diferente a diciembre ($p=0.048$).

Tabla 22. Comparaciones múltiples de los meses, logaritmo natural de la carga bacteriana DMS.

Meses de Muestreo		Diferencia entre medias (I-J) Error típ. Significación			Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
Diciembre	Enero	-.6996743*	.33800990	.048	-1.3932134	-.0061353
	Febrero	-.3227416	.33800990	.348	-1.0162806	.3707975
	Marzo	.5920674	.33800990	.091	-.1014716	1.2856065
	Noviembre	-.0926789	.33800990	.786	-.7862179	.6008602
	Octubre	-.3910547	.33800990	.257	-1.0845938	.3024843
Enero	Diciembre	.6996743*	.33800990	.048	.0061353	1.3932134
	Febrero	.3769328	.33800990	.275	-.3166063	1.0704718
	Marzo	1.2917418*	.33800990	.001	.5982027	1.9852808
	Noviembre	.6069955	.33800990	.084	-.0865436	1.3005345
	Octubre	.3086196	.33800990	.369	-.3849194	1.0021586
Febrero	Diciembre	.3227416	.33800990	.348	-.3707975	1.0162806
	Enero	-.3769328	.33800990	.275	-1.0704718	.3166063
	Marzo	.9148090*	.33800990	.012	.2212700	1.6083480
	Noviembre	.2300627	.33800990	.502	-.4634763	.9236017
	Octubre	-.0683131	.33800990	.841	-.7618522	.6252259
Marzo	Diciembre	-.5920674	.33800990	.091	-1.2856065	.1014716
	Enero	-1.2917418*	.33800990	.001	-1.9852808	-.5982027
	Febrero	-.9148090*	.33800990	.012	-1.6083480	-.2212700
	Noviembre	-.6847463	.33800990	.053	-1.3782853	.0087927
	Octubre	-.9831222*	.33800990	.007	-1.6766612	-.2895831
Noviembre	Diciembre	.0926789	.33800990	.786	-.6008602	.7862179
	Enero	-.6069955	.33800990	.084	-1.3005345	.0865436
	Febrero	-.2300627	.33800990	.502	-.9236017	.4634763
	Marzo	.6847463	.33800990	.053	-.0087927	1.3782853
	Octubre	-.2983759	.33800990	.385	-.9919149	.3951632
Octubre	Diciembre	.3910547	.33800990	.257	-.3024843	1.0845938

Mes de muestreo	Diferencia entre medidas	Error típico	Significación	Límite Inferior	Límite Superior
Enero	-.3086196	.33800990	.369	-1.0021586	.3849194
Febrero	.0683131	.33800990	.841	-.6252259	.7618522
Marzo	.9831222*	.33800990	.007	.2895831	1.6766612
Noviembre	.2983759	.33800990	.385	-.3951632	.9919149

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

F. Análisis de varianza de tres vías de la carga bacteriana

De la tabla 23 andeva, se concluye que solamente existe diferencia significativa entre laboratorios ($p < 0.0001$), no hay diferencia significativa entre lugares de muestreo -interior/exterior- ($p = 0.448$) ni entre meses ($p = 0.254$).

Tabla 23. Logaritmo natural de la carga bacteriana.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	15.859 ^a	8	1.982	6.015	.000
Intersección	1039.712	1	1039.712	3154.957	.000
Laboratorio	13.347	2	6.674	20.251	.000
Lugar	.196	1	.196	.594	.448
Meses	2.316	5	.463	1.405	.254
Error	8.898	27	.330		
Total	1064.468	36			
Total corregida	24.757	35			

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio.

G. Comparaciones múltiples de la carga bacteriana entre laboratorios

Se realizó la prueba post-andeva de la mínima diferencia significativa de Fisher (LSD o DMS) para determinar las diferencias entre laboratorios.

Como se puede observar en la tabla 24, AMSA es significativamente diferente a LAFYM y LAMIR ($p < 0.0001$), mientras que entre estos últimos no hay diferencias significativas ($p = 0.947$).

Tabla 24. Comparaciones múltiples entre laboratorios, logaritmo natural de la carga bacteriana DMS.

(I) Nombre del laboratorio	(J) Nombre del laboratorio	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
					Límite inferior	Límite superior
AMSA	LAFYM	1.2837*	.23436	.000	.8028	1.7646
	LAMIR	1.2995*	.23436	.000	.8186	1.7804
LAFYM	AMSA	-1.2837*	.23436	.000	-1.7646	-.8028
	LAMIR	.0158	.23436	.947	-.4651	.4967
LAMIR	AMSA	-1.2995*	.23436	.000	-1.7804	-.8186
	LAFYM	-.0158	.23436	.947	-.4967	.4651

Fuente datos experimentales obtenidos para este estudio. Basadas en las medidas observadas. El termino de error es la medida cuadrática (error) = 3.30 *. La diferencia de medida significativa al nivel 0.05.

H. Correlaciones de Spearman de la carga fúngica vrs. temperatura y humedad relativa

Como puede observarse, los coeficientes de correlación son muy bajos y ninguno fue significativo, lo que lleva a decir que no hay correlación significativa entre la carga fúngica y las variables temperatura ambiente y humedad relativa.

Tabla 25. Correlación de la carga fúngica entre temperatura y humedad relativa.

Parámetros evaluados		Significancia	
Spearman's rho	Carga fúngica (UFC/m ³)	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	0
		N	36
	Temperatura ambiente (°C)	Correlation Coefficient	-.210
		Sig. (2-tailed)	.218
		N	36
	Humedad relativa (%)	Correlation Coefficient	-.013
		Sig. (2-tailed)	.940
		N	36

Fuente datos experimentales obtenidos para este estudio.

Al realizar la correlación entre las dos cargas (bacteriana y fúngica), se tiene un coeficiente relativamente alto (0.581). Al ser significativamente mayor de cero ($p > 0.0001$), indica que sí hay correlación, aunque no es significativa.

Tabla 28. Correlación entre carga bacteriana y fúngica.

Parámetros evaluados		Significancia bacteriana	Significancia Carga fúngica
Spearman's rho	Carga bacteriana (UFC/m ³)	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.581**
		N	36
	Carga fúngica (UFC/m ³)	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000
		N	36

Fuente datos experimentales obtenidos para este estudio.

I. Correlación de Spearman de la carga bacteriana

Para determinar la relación de la carga bacteriana con la temperatura y la humedad relativa se usaron los coeficientes de correlación de Spearman.

Tabla 29. Correlación de Spearman de la carga bacteriana.

Parámetros evaluados		Significancia
Rho de Spearman	Carga bacteriana (UFC/m ³)	Coefficiente de correlación 1.000
		Sig. (bilateral) 0
		N 36
Temperatura ambiente (°C)		Coefficiente de correlación -.508**
		Sig. (bilateral) .002
		N 36
Humedad relativa (%)		Coefficiente de correlación .318
		Sig. (bilateral) .059
		N 36

Fuente datos experimentales obtenidos para este estudio.

* UFC/m³ = Unidades formadoras de colonia por metro cubico.

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Como puede observarse, el coeficiente es significativo ($p=0.02$) solamente con temperatura ambiente y tiene una relación inversa a mayor temperatura menor carga bacteriana y viceversa.

IX. Discusión de Resultados

A. Comparación de la carga fúngica (UFC/m³), del aire interior y exterior de cada laboratorio en estudio.

Del análisis de la calidad del aire en cada laboratorio se observa que los muestreos en AMSA y el LAMIR tienen distribución alrededor de la media (1510 UFC/m³), mientras que el LAFYM tiene resultados muy por debajo de la media (555 UFC/m³). El laboratorio de AMSA es el que presenta el mayor conteo fúngico (4600 UFC/m³), seguido por el LAMIR (2930 UFC/m³). Tomando en cuenta las condiciones de los alrededores, puede considerarse normal una carga microbiológica alta en el laboratorio de AMSA. Sin embargo, llama la atención que en el LAMIR los resultados estén cercanos a los de AMSA, pues en sus alrededores no hay ambientes que presenten altos riesgos de contaminación. Sin embargo, hay otros factores como escaso espacio físico, ambientes hacinados y cantidad de personal hacen que se vean alterados los conteos de carga fúngica, lo que se discutirá posteriormente (41).

Para determinar la significancia de las diferencias de los resultados entre laboratorios, se utilizó la prueba post-ANDEVA, cuyos resultados se muestran en la tabla 21. A partir de esta tabla se determina que la carga fúngica de el LAFYM es significativamente diferente a AMSA ($p=0.001$) y el LAMIR ($p=0.002$). Entre AMSA y LAMIR no hay diferencias significativas ($p=0.619$). En el caso del LAMIR, el personal de tránsito tiene una permanencia dentro del laboratorio del 45%, en jornadas que abarcan el 100% del horario laboral del laboratorio y el técnico del laboratorio un 90% de su tiempo pasa en el interior de las instalaciones. El hacinamiento de personal dentro de los laboratorios es una característica, ya que no poseen la capacidad y no tiene el espacio físico para que las personas se encuentren bien distribuidas. Esto provoca dentro de las instalaciones un incremento en la contaminación del aire, por falta de ventilación, espacio, acúmulo de polvo en las mesas de trabajo y entrada y salida del personal. Estas características del ambiente podrían ocasionar una sintomatología específica denominada Síndrome del Edificio Enfermo (SEE), al que la Organización Mundial de la Salud lo ha definido como un conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en estos espacios cerrados (1, 2,8).

Aunque las condiciones físicas y de ubicación no son similares, los laboratorios de AMSA y el LAMIR, poseen factores muy importantes que los hacen propensos a la contaminación. La cercanía de AMSA con un relleno sanitario hace que en el aire circulen mayores contaminantes. En la tabla 10 se observa el efecto que ejerce el ambiente exterior sobre el ambiente interior, esto indica que los valores de contaminación por hongos en el ambiente exterior (4600 UFC/m^3) son más elevados en comparación con el ambiente interior (170 UFC/m^3), lo cual es apoyado por Fernández en el 2000, cuando demostró que al aumentar la concentración de un contaminante en el aire exterior, aumentara su concentración en el ambiente interior, pero más lentamente, esto se conoce como efecto de escudo (2,8, 43).

A pesar que las UFC/m^3 en el ambiente exterior son mayores que en el interior, esta diferencia no es significativa, tal como se demuestra con el análisis de varianza que se presenta en la sección D de los resultados. La poca variación que se dio entre los lugares de muestreo (interior/exterior) puede deberse a que la contaminación en los ambientes interiores tiene diferentes orígenes, como son los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos normales (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios) y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia o desde áreas vecinas (44,46). Mientras que la contaminación procedente del exterior transporta granos de polen, bacterias y hongos, tanto sus formas vegetativas como sus formas resistentes (esporas), la mayoría son inocuos para el hombre, pero algunos de ellos pueden ser patógenos. Rodríguez y Milena en el 2005, determinaron que algunos parámetros climáticos, las condiciones ambientales y del medio son algunos de los factores que influyen la existencia y dispersión de los microorganismos, viéndose afectados los valores de carga microbiológica (43,45).

De la tabla 12 se observa que en los meses de enero y octubre se encuentran los valores más altos de carga fúngica. Sin embargo, en la tabla 13 se observa que los datos de octubre están más dispersos de la media, que el resto de los meses de muestreo. La variabilidad fúngica que se obtuvo durante los muestreos periódicos pudo deberse a factores como la humedad relativa (> a 65%) como a la temperatura (> a 24 0C). Los hongos son típicamente más abundantes en verano que en el resto del año, debido a factores como la temperatura, humedad relativa del aire, exposición a la luz solar, entre otras. Estos factores se encuentran estrechamente ligados, ya que si los valores de temperatura son elevados, el porcentaje de humedad relativa, que es inversamente proporcional, se encuentran disminuida, esto provoca una disminución en la carga fúngica. Estas dos variables son de importancia para regular la cantidad de esporas fúngicas presentes en el aire interior de este laboratorio, para mejorar la calidad del aire ocupacional. El número de microorganismos del aire depende de la actividad en esa zona, tanto industrial o agrícola, como de los seres vivos y la cantidad de polvo (39, 41,43).

B. Comparación de la carga bacteriana (UFC/m³), del aire interior y exterior de cada laboratorios en estudio.

En la tabla 14 se observa que el LAFYM y el LAMIR presentan una distribución de carga bacteriana similar a diferencia de AMSA, en el cual se registró el mayor conteo bacteriano. Según lo expuesto por Morey, valores de carga bacteria menores de 103 UFC/m³ en ambientes interiores son permisibles y no representan un riesgo para la salud. Basado en esta premisa se puede considerar que el LAMIR (110 UFC/m³) y el LAFYM (130 UFC/m³) no representan riesgo para la salud de los trabajadores, incluso en el laboratorio AMSA (830 UFC/m³) se encuentra dentro del límite permisible, aunque presenta el valor de carga bacteriana más alto de los tres y cercano al límite. Sin embargo, Rojas en el 2002, presentó un estudio para países con clima subtropical, en el cual un valor por encima de 102 UFC/m³ se señala como un riesgo para la salud del personal de este laboratorio. Por este motivo la importancia de que las instituciones locales establezcan límites de contaminación, permisibles para el país, ya que actualmente se depende de estudios de otros países, los cuales pueden diferir unos de otros (38,39).

De la tabla 24 se observa que la carga bacteriana del laboratorio de AMSA es significativamente diferente al LAFYM y el LAMIR ($p < 0.0001$), mientras que entre estos últimos, no hay diferencias significativas ($p = 0.947$). El laboratorio de AMSA presenta un recuento bacteriano de 950 UFC/m^3 (exterior), siendo este el conteo más alto de todos los laboratorios. Estos resultados concuerdan con lo reportado por la EPA que refiere que los ambientes cerrados son 10 a 100 veces más contaminados que los abiertos. Los resultados de AMSA son el doble de lo reportado por los otros laboratorios en ambos ambientes. El LAMIR presentó en enero los valores máximos de bacterias, tanto en ambiente interior (400 UFC/m^3) como exterior (360 UFC/m^3). Cabe resaltar que únicamente en noviembre se observó que el recuento del ambiente interior (160 UFC/m^3) fuera mayor al exterior (130 UFC/m^3). Estos resultados concuerdan con la teoría de Pouche que refiere que los ambientes exteriores presentan de 6 a 7 veces menos bacterias que los interiores (51,52).

En la gráfica 12 de la comparación de los meses de muestreo, se reportó mayor carga bacteriana en noviembre, lo que corresponde al laboratorio de AMSA, mientras que en diciembre se observó un descenso en la carga bacteriana alcanzando el valor más bajo registrado para este laboratorio en los seis muestreos del aire. El comportamiento de la temperatura fue bastante homogéneo en el interior del laboratorio, ya que posee climatización por medio de aire acondicionado, lo cual provocó un rango de temperatura homogéneo a lo largo de los seis meses. En el área interior del laboratorio de AMSA existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y el porcentaje de humedad relativa con excepción de marzo que presentó un comportamiento inversamente proporcional. Se observó en este mes la mayor temperatura (22.2°C) y el menor porcentaje de humedad relativa (44%). Esto se debe a que las bacterias por su estructura son más sensibles a cambios climáticos fuertes, según lo reportado por Flannigan (31, 42,51).

El comportamiento de la temperatura que se registró a lo largo de los seis muestreos no presentó el mismo comportamiento que la carga bacteriana. En la tabla 13 se observa que en octubre la carga bacteriana fue la menor y se registró una temperatura elevada de 28.8°C y al mismo tiempo en todos los laboratorios se reportó el valor más bajo de humedad relativa (44%). Esto se debe a que las bacterias por su estructura son más sensibles a cambios climáticos fuertes, según lo reportado por Flannigan (31, 42,51).

El comportamiento de las bacterias en el ambiente exterior (830 UFC/m³) es más propenso al crecimiento de microorganismos que el ambiente interior (250 UFC/m³) como se observa en la tabla 16. Sin embargo, no hay diferencia significativa entre lugares de muestreo -interior/exterior- (p=0.448) ni entre meses (p=0.254), ya que los valores de p-value fueron mayores a 0.05. Este crecimiento dependen de factores que influyen su existencia y dispersión tales como: parámetros meteorológicos, condiciones ambientales del medio y la concentración de material. Y se ven afectados los valores de carga microbiológica presente en el aire por las variaciones climáticas. Aunque no existe diferencia significativa entre lugares muestreo -interior/exterior y meses-, podemos decir que las bacterias son más abundantes en época seca, debido a factores como la temperatura, humedad relativa del aire, exposición a la luz solar, entre otros según lo reportado por Bovallius (41, 43).

Como se observa en la tabla 18, la mayor contaminación bacteriana presente en el aire se da en noviembre y la menor contaminación se observa en octubre. En noviembre los porcentajes de humedad relativa son altos, ya que se encuentran por encima del valor promedio (59 %) registrado. Esto se puede deber a los cambios en la temperatura, ya que se reportó un aumento en la misma además la incidencia del personal dentro y fuera de las instalaciones (40).

C. Influencia que ejercen los parámetros climáticos como la temperatura y la humedad relativa sobre la carga fúngica y bacteriana

En la gráfica 7 se observa que no hay correlación entre la temperatura y la carga fúngica, ya que las temperaturas obtenidas a lo largo de los muestreos son diferentes debido a que las estaciones del año son variables, Grau en el 2006 determino que un cambio súbito en las condiciones atmosféricas puede explicar una alteración brusca de la carga fúngica sobre la carga bacteriana debido a la susceptibilidad de estas últimas, ante cambios climáticos. Se sabe que el crecimiento fúngico y la actividad de estos se incrementa a temperaturas mayores a los 24 ° C. Los factores como la humedad y la ventilación también alteran los resultados, la ventilación es un factor que incide en el estado de conservación de los objetos presentes en ambientes interiores. Cuando un local está bien ventilado se evapora la humedad y se reduce la temperatura superficial y se modifican estos dos factores ambientales de los que depende el crecimiento del microorganismo (55, 60).

El aire estancado favorece considerablemente la propagación de los microorganismos, así como su deposición en superficies, alimentos, agua y tierra, mientras que el aire circulante no sólo contribuye a impedir que los microorganismos suspendidos en él se depositen, sino que ayuda a mantener seco el local, de ahí que la ventilación es esencial para lograr una baja actividad biológica en los ambientes internos (41).

El contenido de humedad en un material es uno de los factores más importantes en el crecimiento fúngico y bacteriano y determina la cantidad de agua presente para la germinación de las esporas o conidios. En la gráfica 8 se observa que no existe correlación entre la humedad relativa y la carga fúngica. Muchas especies de hongos y bacterias comienzan su desarrollo en función del contenido de humedad sobre la superficie de un objeto. Una vez formados el micelio servirán para retener agua, favoreciendo a su vez la multiplicación celular. El crecimiento de los hongos es probable si la actividad del agua (a_w) del material oscila entre los valores de 0.76-0.96 (dependiendo de la especie fúngica), temperatura, tiempo y composición del material. El crecimiento fúngico no es directamente controlado por la humedad del aire, sino que tiene que existir la suficiente humedad sobre el sustrato (a_w) para que el crecimiento ocurra. Sin embargo, los resultados obtenidos no coincidieron con lo obtenido por Concepción en 2006, ya que en ese estudio reportó que al haber mayor porcentaje de humedad relativa, había mayor concentración de esporas en el aire. Lo anterior puede deberse a los ocupantes del laboratorio, que representan una fuente de contaminación, ya que el ser humano produce de modo natural dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos, además tiene la capacidad de arrastrar contaminantes como lo es en el caso del LAMIR y el LAFYM, los cuales cuentan con un tránsito alto de personas. Por otro lado, hay una serie importante de contaminantes que pueden ser generados por el edificio, por su contenido o pueden incluso depender de su ubicación, en el caso de AMSA, el relleno sanitario es un factor altamente predisponente para la contaminación. Además, el uso de productos de limpieza, mantenimiento que generan la presencia de contaminantes en el interior del edificio, cuando no se realiza la limpieza de la forma adecuada y periódica según el área que se desee limpiar o desinfectar (56, 57).

En la gráfica 9, se observa que la correlación entre bacterias y hongos es directamente proporcional. Es decir, existe una relación directa en el crecimiento de ambos microorganismos. Los edificios proporcionan numerosos nichos o rincones que contienen el material orgánico muerto. Este sirve como nutriente a la mayoría de los hongos y bacterias para su crecimiento y producción de esporas. En los tres laboratorios se tiene vegetación en el ambiente exterior, lo que hace que el ambiente interior se vea afectado, creando mayor humedad, aunque no todos los hongos y bacterias tienen una simbiosis debido a sus diferentes requerimientos de crecimiento (temperatura, humedad y época del año). Se sabe de algunos casos en los que coexisten algunos en beneficio de otros. En las últimas décadas, se reportan evidencias sobre la asociación entre los contaminantes atmosféricos y el incremento de las consultas de urgencias por enfermedades respiratorias. Por este motivo se hace necesario conocer los niveles de contaminación microbiológica del aire presente en locales ocupacionales y ambiente exterior, ya que este último presenta una influencia elevada sobre la contaminación del ambiente interior (4,6).

Los nutrientes están presentes en materiales como los siguientes: madera, papel, pintura y otros revestimientos de superficies; mobiliario como alfombras y muebles tapizados; tierra de macetas; polvo; escamas de piel y secreciones de seres humanos. El hecho de que tenga lugar o no el crecimiento de estos microorganismos depende del nivel de humedad. Las bacterias solo son capaces de crecer en superficies saturadas, o en el agua de las bandejas de drenaje, reservorios. Algunos mohos también requieren condiciones de casi saturación, pero otros son menos exigentes y pueden proliferar en materiales húmedos aunque no estén totalmente saturados. El polvo puede ser un lugar de depósito y si está suficientemente húmedo, un lugar de cultivo para los mohos. Por consiguiente, una cantidad importante de esporas entran en suspensión en el aire cuando se mueve el polvo.

En la tabla 22 se observa que existe una relación directamente proporcional entre la temperatura y el porcentaje de humedad relativa, con excepción de marzo que presentó un comportamiento inversamente proporcional (tabla 28). Para octubre en el ambiente exterior se registró el mismo valor de carga bacteriana presente en el aire que el reportado en el ambiente interior (480 UFC/m³) a pesar de registrar un valor de temperatura menor (18.1°C) y una humedad relativa de 59%, muy similar a la registrada en el ambiente interior. Esto demuestra que la variación de temperatura y humedad relativa en el ambiente exterior depende únicamente de factores ambientales como son las ráfagas de viento, nubes de polvo y lluvias (41).

En noviembre se registró el valor más alto de carga bacteriana presente en el aire en el ambiente exterior (950 UFC/m³) con una temperatura de 19.4°C, la cual es la segunda temperatura más elevada registrada en los seis meses de muestreo y una humedad relativa de 56%. En este mes el comportamiento de la temperatura con respecto a la humedad relativa fue inversamente proporcional, lo cual corresponde con lo reportado por Sabariego (48).

X. Conclusiones

1. Se comprueba la hipótesis del presente estudio, pues el laboratorio de AMSA reportó los niveles más altos de carga fúngica y bacteriana.
2. Existe correlación entre las cargas fúngica y bacteriana en los laboratorios.
3. El laboratorio que presentó mayor contaminación fúngica en el ambiente exterior a lo largo de los seis meses de muestreo del aire, fue el laboratorio de AMSA.
4. El laboratorio de AMSA presentó mayor carga bacteriana en el ambiente exterior e interior durante los seis meses de muestreo.
5. Existe relación directa entre la humedad relativa y temperatura con la carga fúngica, aunque esta es mínima de acuerdo a los coeficientes de correlación.
6. Se determinó que las condiciones responsables de las diferencias entre carga fúngica y bacteriana en cada uno de los laboratorios analizados son la temperatura y la humedad relativa.

XI. Recomendaciones

1. Realizar monitoreos continuos en el laboratorio de AMSA, con la finalidad de disminuir el nivel de microorganismos en el aire.
2. Ampliar los estudios sobre la calidad del aire en distintos puntos y establecimientos en ambas épocas del año para poder establecer parámetros permisibles adecuados para Guatemala.
3. Capacitar al personal de mantenimiento en el manejo de desinfectantes, así como la importancia de la adecuada limpieza de las áreas para evitar una mayor contaminación en las áreas o la posible resistencia de los microorganismos a los desinfectantes.
4. Promover en la población estudiantil de las distintas unidades académicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala la investigación a través del monitoreo de la calidad del aire, principalmente en aquellas unidades que se considera tienen factores de riesgo para la salud ocupacional.

XII. Bibliografía

1. Pelczar, MJ, Chan, EC y Krieg, NR. (1993). *Microbiology; Concepts and Applications*. New York: (p.315-400). Mc Graw-Hill.
2. De la Rosa M.A, Mosso A, Ullán C. (2002) *El aire; hábitat y medio de transmisión de microorganismos*. México: Vol.5, 1530p. (p.375-402). Interamericana
3. Dekovic Griffin et al. (2007). *Atmospheric movement of microorganisms in clouds of deserts dust and implications for human health*. New York: Clinical microbiology; 15:3:20.
4. Cordova Y. (2000). *Calidad del aire en ambientes interiores; Contaminantes Biológicos*. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Caracas, 150p. (p.63-70).
5. Klanova K. (2000). *The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air; rooms with and without mould problems, rooms with and without health complaints*; Cent Eur J Public Health; 8: 59-61.
6. Rojas, T.I, Martínez E.(2000). *Monitoreo microbiano del aire; Criterios metodológicos y contribución a la educación y protección ambiental*. Cuba: Universidad de Antioquía Vol. 1, 300p. (p.110-115)
7. Yang CS, Johanning E. (1997). *Airborne fungi and mycotoxins*. Estados Unidos: ASM Press. 1100p. (p.651-660).
8. Fernández V. (2000). *Calidad de Aire Interior; Síndrome de Edificios Enfermos*. Clinical microbiology; 1:3-25.
9. Castañeda E, Montes M, Avelino F. (2006) *Cuantificación de bioaerosoles en las áreas de proceso de una industria zapatera y su relación con la salud de los trabajadores; Enfermedades infecciosas y microbiología*. México: Mc Graw-Hill. 120p. (p.26-1)
10. Evans AS, Brachman PH. (1998). *Bacterial infections of humans; epidemiology and control*. 3. ed. New Cork: Plenun medical book. 500p. (p.421-432).
11. Morin O. *Airborne moulds in Nantes; Effect of climatic factors*. *Allerg. Immunol.* (2001); 33:100-101.
12. Gregory PH. (1983). *The microbiology of the atmosphere*. New York: John Willey and Sons. 665p. (p.370-386).
13. Potts M. (1994). *Desiccation tolerance of prokaryotes*. Microbiological; 58: 755-805.
14. Lidwell OM. (1990). *The microbiology of air; Principles of bacteriology, virology and immunity*. 8 .ed. London: Edward Arnold. 390p. (p.50-153).
15. Fiels BS. *Legionellae and legionnaires' disease*. Microbiology 1997; 2:15-23.

16. Mohr AJ. (1997). *Fate and transport of microorganisms in air*; Manual of environmental microbiology. Washington: American Society. 1225p. (p.1002-116).
17. Atlas R, Bartha R. (2000). *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. Madrid: Pearson Educación. 560p. (p.14-34).
18. Mahon C, Manuselis G.(2000). *Textbook of Diagnostic Microbiolgy*. 2. ed. Estados Unidos: W.B. Saunders Company. 125p. (p.8-13).
19. Newson R et al. (2000). *Fungal and other spore counts as predictors of admissions for asthma in the Trent region*. Occup. Environ Med; 57:786-792.
20. Benenson AS. (1997) *Manual para el control de las enfermedades transmisibles*. Washington: Organización Panamericana de la Salud, Doc. Tec. No.1, 16 ed. 100p. (50-55).
21. Arenas R. (2003). *Micología Medica Ilustrada; Clinica, laboratorio y terapêutica*. 2 ed. México: McGraw-Hill Interamericana. 379p. (p.209-234).
22. Mims c, Nash A, Stephen J. (2001). *Mims`pathogenesis of infections disease*. 5. ed. San Diego: Academic Press. 500p. (p.313-320).
23. Stephen L. (1991) *Environmental protection agency, building air quality, a guide for building owners and facility managers*.USA. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Doc.Tec. No.2D503. 18p. (p.12-13).
24. Chan M. (1997). *Guía para la calidad del aire*. Ginebra Suiza: Organización Mundial de la Salud, Doc.Tec.2. 800p. (p.281-285).
25. Rojas T et al. (2007). *El género aspergillus en la atmósfera de la habana*, La Habana Cuba: Universidad de la Habana. 122p. (p.41-46).
26. Stephen L. (2007). *Environmental Protection Agency; IAQ Reference Guide. Indoor Air Quality Tools for Schools*. USA. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Doc.Tec. No.402-K-95-001. 16p. (p.8-10).
27. Fung F, Hughson W. (2003). *Health effects of indoor fungal bioaerosol exposure*. Appl Occup Environ Hygiene; 18:535-544.
28. Pelaz C, Martín C. Legionelosis. (1993). *Diagnóstico de laboratorio y recomendaciones para su prevención y control en instalaciones de edificios*. España: Universidad Autónoma de Madrid. p11. (p6-10).
29. Andersen G et al. (2006). *El aire; hábitat y medio de transmisión de microorganismos. Ambiental*. 5: 375-402.
30. Comisión Nacional De Medio Ambiente, CONAMA. (1995). *Manejo de la contaminación*. Guatemala: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.3p
31. Reinaldo D. (1996). *La calidad del aire en cuba*. Ciudad de la Habana: Universidad de la Habana. 600p. (p.345-468).

32. Sánchez M, Fernández, E. (1994). *Aeroalergenos del ácaro; Ácaros en Colombia y su relación con las alergias respiratorias*, México: Editora Guadalupe. 200p. (p.50-89).
33. Pablo Oliva et al. (2007). *Monitoreo del aire de Guatemala*. Guatemala: USAC, Informe anual. 26p. (p.5-6).
34. Herrera K et al. (2008). *Estudio Micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: USAC. 500p. (20-125).
35. Eagle Industrial Higiene Associates. (2004). *Microbial Sampling and Analysis*. USA: EIHA. 21p.
36. Reynolds SJ, Streifel AJ, Jilton CE. (1990). *Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environments*. American Industrial Association, 51:601-604.
37. Reponen T. (1995). *Aerodynamic diameters and respiratory deposition estimates of viable fungal particles in mold problems dwellings*. Science and Technology; 22:11-23.
38. Morey PR. (2000). *Airborne viable microorganisms in office environments*; Sampling protocol and analytical procedures. Science and Technology, 1: 67-89.
39. Rojas T et al. (2002). *Airborne spores of Aspergillus species in cultural institutions at Havana University*. La Habana Cuba: Grana.578p. (p.190-193).
40. Recursos naturales y escenicos relevantes. Guatemala: Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán, Doc. Tec. No.01-2002, 2000. 9p. (p.1-2).
41. Bovallius, A.; Butch, B.; Roffey, R., y Anas, P. (1978). *Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four locations in Sweden*. Applied and Environmental Microbiology, 35, pp.847-852.
42. Flannigan, B. (1992). *Indoor microbiological pollutants—sources, species, characterisation: An evaluation. En Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality—State of the Art in SBS.* , dirigido por H Knöppel y P Wolkoff. Dordrecht: Kluwer.
43. Rodríguez, R. y Milena, I. (2005). *Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de puente aranda en Bogotá d.c*. Universidad de la salle.
44. Ager, B. P., and Tickner, J. A. (1983). *The control of microbiological hazards Associated with air conditioning and ventilation systems* Ann. Occup Hyg.:27 (4): pp 341-358.
45. Aikhomu, S.E., W.R. Brieger and O.O. Kale (2000). Acceptance and use of communal filtration units in guinea worm eradication. Tropical Medicine and International Health, 5(1): pp. 47-52.
46. Burgess, Ellenbecker, Treitman. (1989). *Ventilation for control of the work environment* John Wiley & Sons, New York; pp 476.

47. Stetzenbach, L.D. (1997). *Introduction to Aerobiology*. En CJ. Hust et al. (ed.), Manual of environmental Microbiology. American Society for Microbiology. Press Xashington, D.C. , pp. 619 – 628.
48. Sabariego, S., Díaz, C. y Sánchez, F. A. (2004). *Estudio aerobiológico de los conidios de Alternaria y Cladosporium en la atmósfera de la ciudad de Almería (SE de España)*. Revista Iberoamericana de micología. 21:pp. 121-127.
49. Jackson, S. (2000). *Indicators of Mold Growth in Indoor Environments*. Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. pp. 74.
50. Comelli E, Guggenheim B, Stingele F, Neeser JR. (2002). *Selection of dairy bacterial strains as probiotics for oral health*. Eur J Oral Sci.;110: pp.218-22.
51. Indoor air quality coordinators Guide-Appendix E- typical Indoor air pollutants, United States environmental Agency, 1990.
52. Andersen, Gary et al. *El aire: habitad y medio de transmisión de microorganismos, Obs. Amb* 5:375-402.
53. Garrett, MH., Rayment PR, Hooper MA, Abramson MJ, Hooper BM.(1998). *Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children*. Clin Exp Allergy; 28: pp. 459-467.
54. Gomez A.et al. (2005). *Evaluación de alérgenos presentes en el polvo y ambiente*, Univ. Med. Bogota, Colombia: 46:1.
55. Valentin, N (1993) En: *Conservación arqueológica. Reflexión y debate sobre teoría y práctica*. Rev. Cuadenas. Universidad de Alcalá. pp. 113-120.
56. Shames, SR, Auweter SD, Finlay BB. (2008) *Review. Co-evolution and exploitation of host cell signaling pathways by bacterial pathogens*. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology.Article in Press, Corrected Proof.
57. Chantigny, M.A; Marcher, J.M.; Burge, H.A y Solomon, W.R. (1989). *Sampling airborne microorganisms and aeroallergenens*. In. S. V. Hering (ed.), Air Sampling Instruments for the evaluation of Atmosferic contaminants. 7th ed. American Conference of Gobernamental Industrial Hygienist. Cincinnati. pp. 199 – 220.
58. Balows A, W.J Hausler, K.L. Herman. Et al. (1991). *Manual of clinical Microbiology*. 5th ed. Chapter 120. American society of Microbiology Washington D.C.
59. Jantunen, M. J.; Nevelainen, A.; Rytönen, A. L.; Pellikka, M.; Kallioski, P. (1987). *The effect of humidification on indoor air fungal spore counts in apartment buildings*. Proceeding of the 4th Int. Conf. on Indoor air quality and climate. Institute for Watwe, soil and air hygiene. Corrensplatz 1, D – 100 Berlin 33. F.R.G. Vol. 1, pp. 643-647.
60. Grau, A. (2006). *El aire que respiramos lleva más de 1.800 microbios y bacterias distintas*. Numbers of airborne bacteria and fungi in calf houses. Nord. Nueva York, USA.Vet. Med. 36: pp. 215-220.

XIII. Anexos

(Anexo No.1) Mapas de laboratorios

Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-



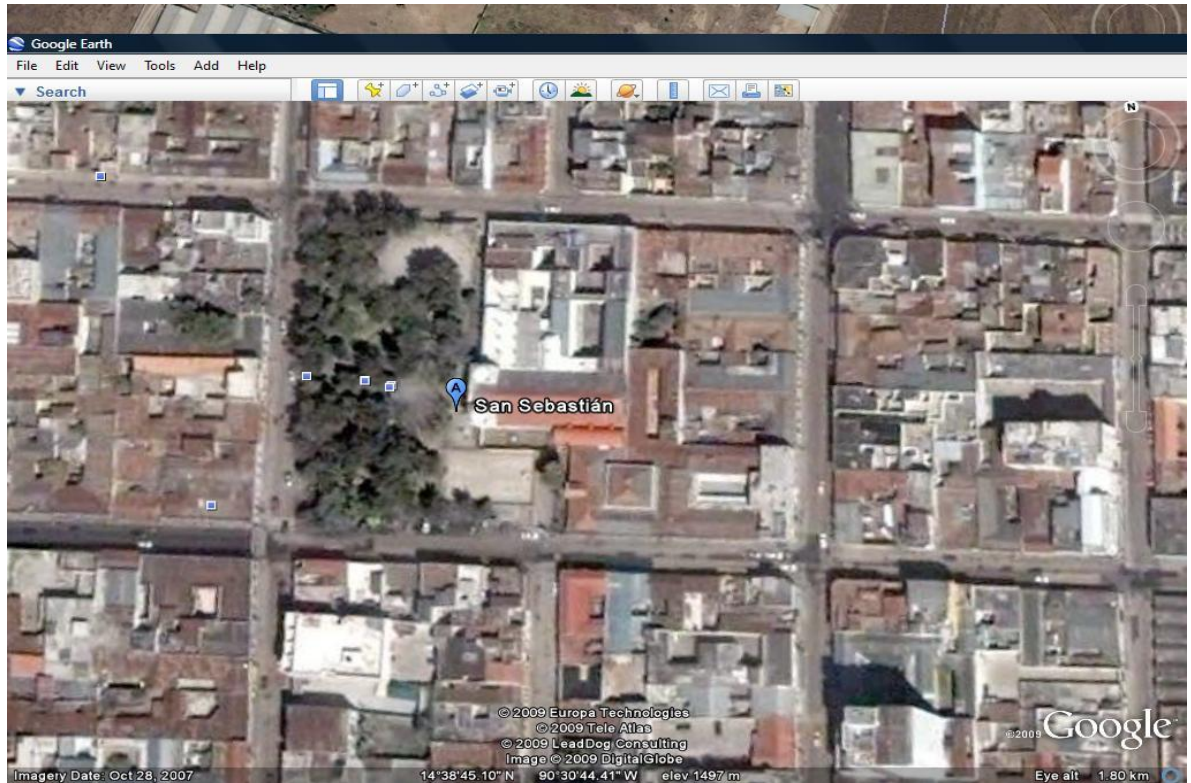
(Anexo No 2)

Autoridad en el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán – AMSA-



(Anexo 3)

Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico –LAFYM–



(Anexo No. 4)

Hoja de chequeo

Verificación de bioseguridad*

Laboratorio: _____

CRITERIO	Cumplimiento			Observación
	Si	NO	N/A	
1	Diseño y construcción de la instalación			
1.1	El diseño y construcción del laboratorio es adecuado.			
1.2	Proporciona una barrera para proteger a las personas que se localizan dentro y fuera del laboratorio.			
1.3	Se dispone de espacio para realizar el trabajo de laboratorio (áreas específicas para cada actividad).			
1.4	Hay sistemas de aire acondicionado.			
1.5	Cuenta con un área de trabajo, para la recepción de muestras.			
1.6	Las superficies de trabajo son impermeables y resistentes a desinfectantes, ácidos, álcalis, disolventes orgánicos y calor moderado.			
1.7	La iluminación es adecuada.			
1.8	El área para comer, beber y descansar se dispone fuera de las zonas de trabajo del laboratorio.			
1.9	Poseen un suministro regular de agua de buena calidad (potable).			
2	Salud e higiene del personal			
2.1	Periodicidad del lavado de manos			
	a) Después de cada cambio de actividad			
	b) Al llegar y antes de salir del trabajo			
	c) Después de manipular el equipo			
2.2	El personal reporta a su supervisor cuando se encuentra enfermo.			
2.3	La estación de lavado de manos cuenta con jabón y toallas desechables.			
2.4	El encargado del laboratorio brinda capacitación al personal.			

2.5	Realizan un reconocimiento médico previo al empleo o a la asignación de un puesto.				
2.6	El responsable del área lleva un registro de enfermedades y bajas laborales.				
2.7	Cuenta el personal con el equipo de seguridad apropiado por ejemplo: bata, mascarillas, guantes, cofias, lentes de seguridad y cubre zapatos.				
2.8	Se dispone de salas o equipo de primeros auxilios.				
2.9	El personal esta capacitado de manera práctica para proceder ante un derrame o accidente.				
3	Limpieza y desinfección				
3.1	Hay rotación de los desinfectantes.				
3.2	Los procedimientos de limpieza de las instalaciones, equipo y superficies son documentados.				
3.3	El mobiliario y equipo se encuentra distribuido correctamente facilitando la limpieza dentro del laboratorio.				
3.4	Cuentan con recipiente de descarte para basura, identificados con el material que se va descartar (por ejemplo: peligro biológico).				
3.5	Tienen un procedimiento operativo estándar (PEO) para llevar a cabo la limpieza del laboratorio				
3.6	La limpieza se realiza con periodicidad dentro del laboratorio.				
3.7	Llevan un control de descarte de las muestras ya analizadas.				
3.8	Limpian el área de trabajo al comenzar a trabajar y después.				
3.9	Descontaminación de espacios y superficies (espacio de trabajo, mobiliario, equipo de laboratorio, mesas, estantes, librerías, paredes, puerta principal y ventanas				

* Esta hoja de chequeo será utilizada para los tres laboratorios donde se realizará el muestreo

N/A: no aplica.

(Anexo No 5)

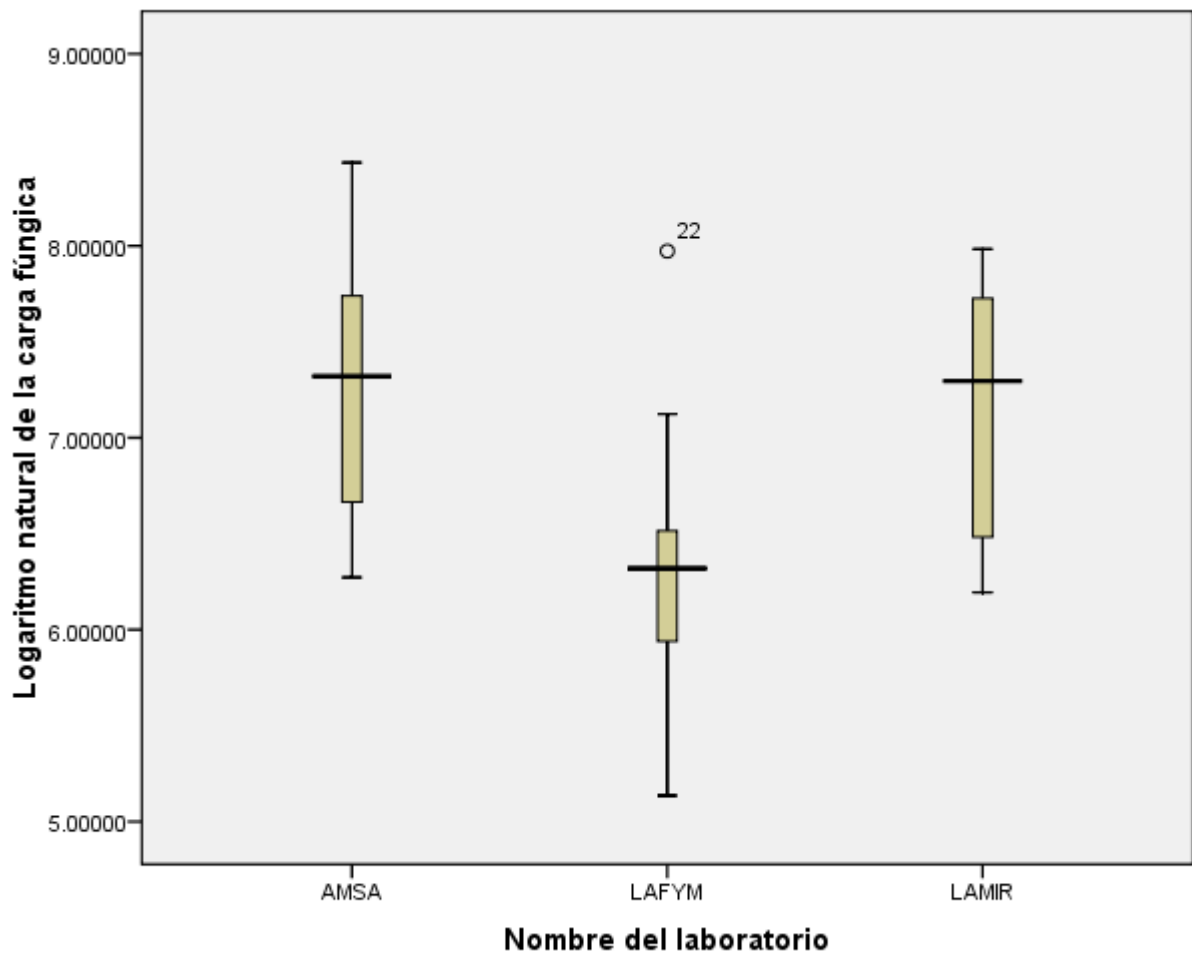
Criterios de contaminación fúngica en (UFC/m³) en ambientes interiores

<i>Categoría de contaminación</i>	<i>(UFC/m³) de aire</i>
Muy baja	< 25
Baja	25-100
Intermedia	100-500
Alta	500-2000
Muy alta	2000

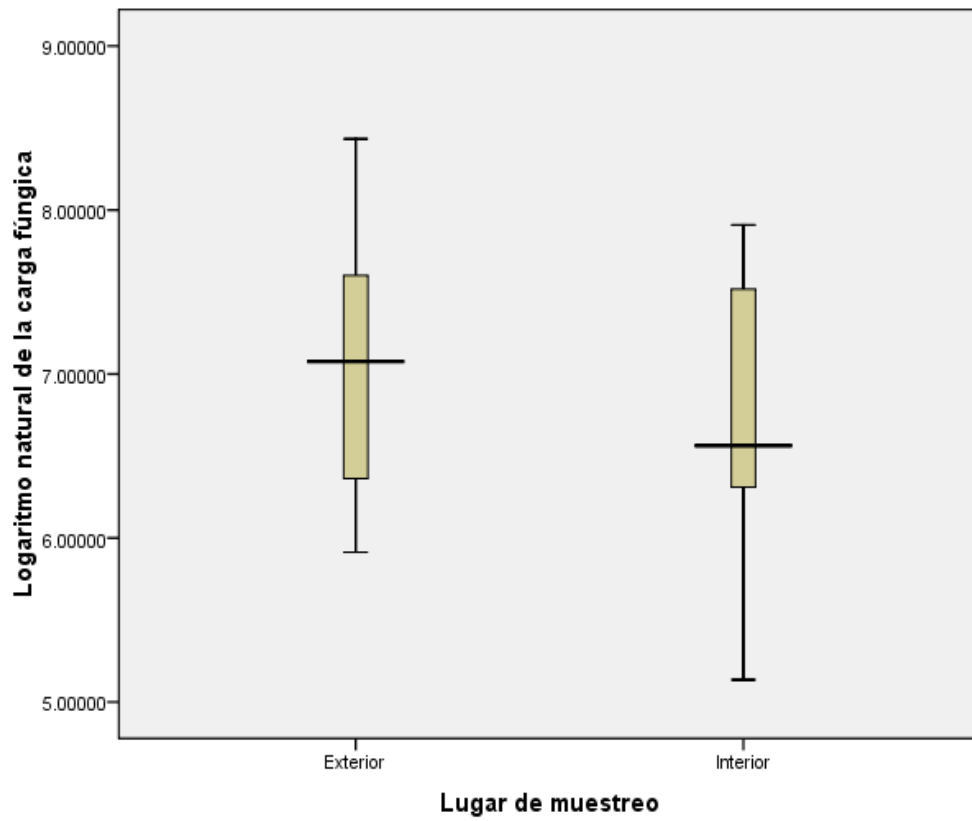
Fuente: Wanner, H. et al. Biological Particles in Indoor Environments. Indoor Air Quality and Its Impact On Man. OMS. 1993

(Anexo No 6)

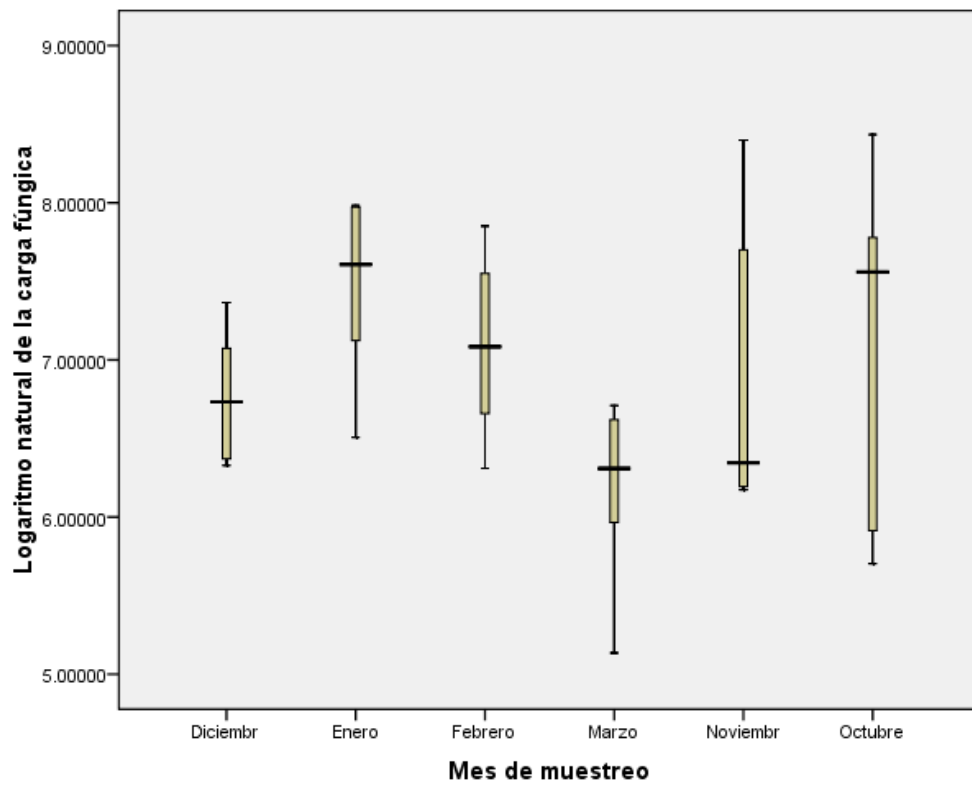
Gráfica 1. Comparación de la carga fúngica entre laboratorios.



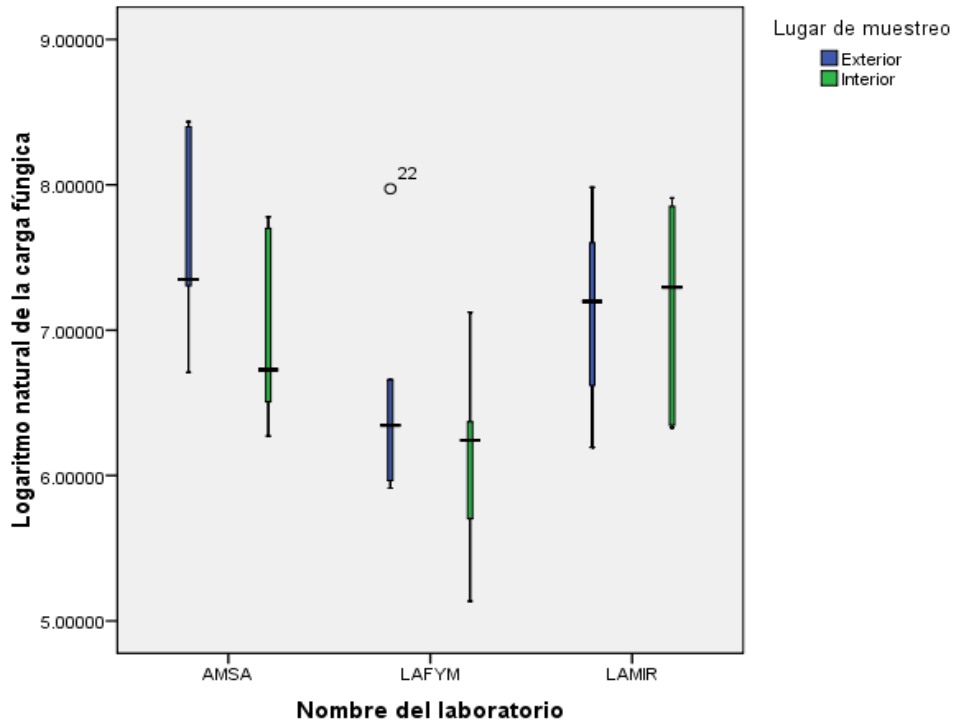
Gráfica 2. Comparación de la carga fúngica entre ambiente exterior e interior.



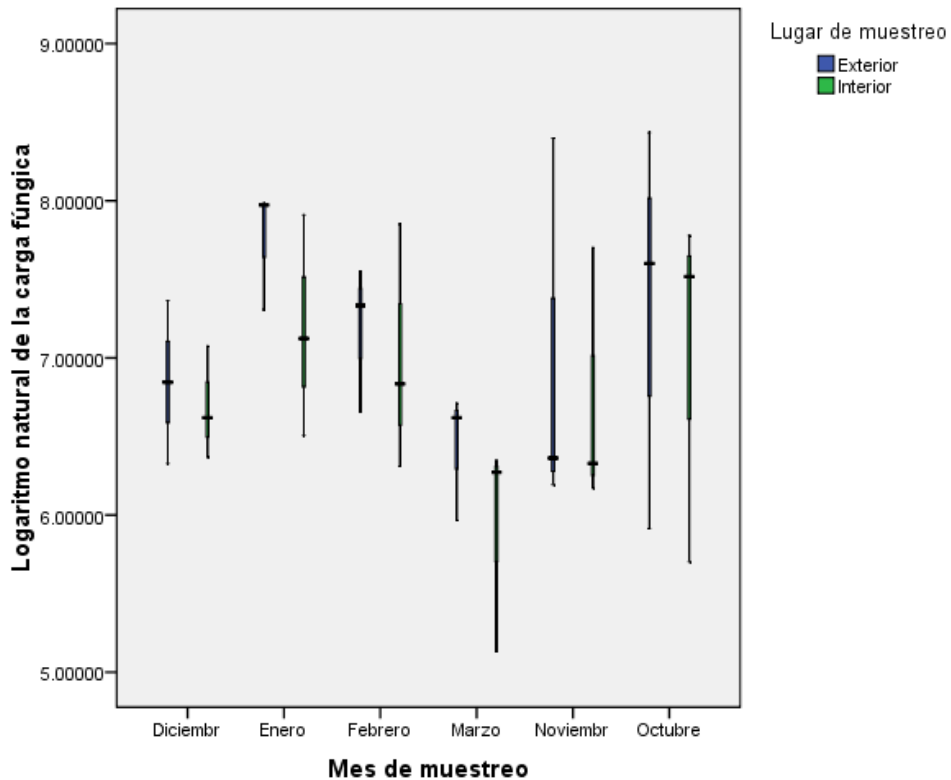
Gráfica 3. Comparación entre meses de muestreo de la carga fúngica.



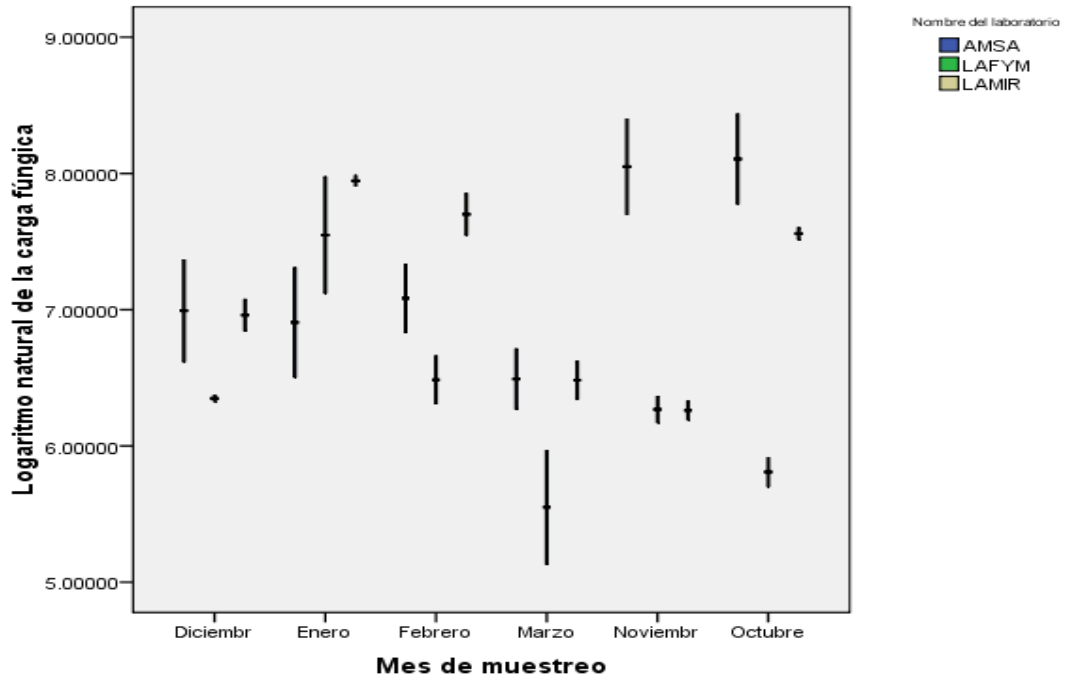
Gráfica 4. Comparación entre laboratorios y lugares de muestreo de la carga fúngica.



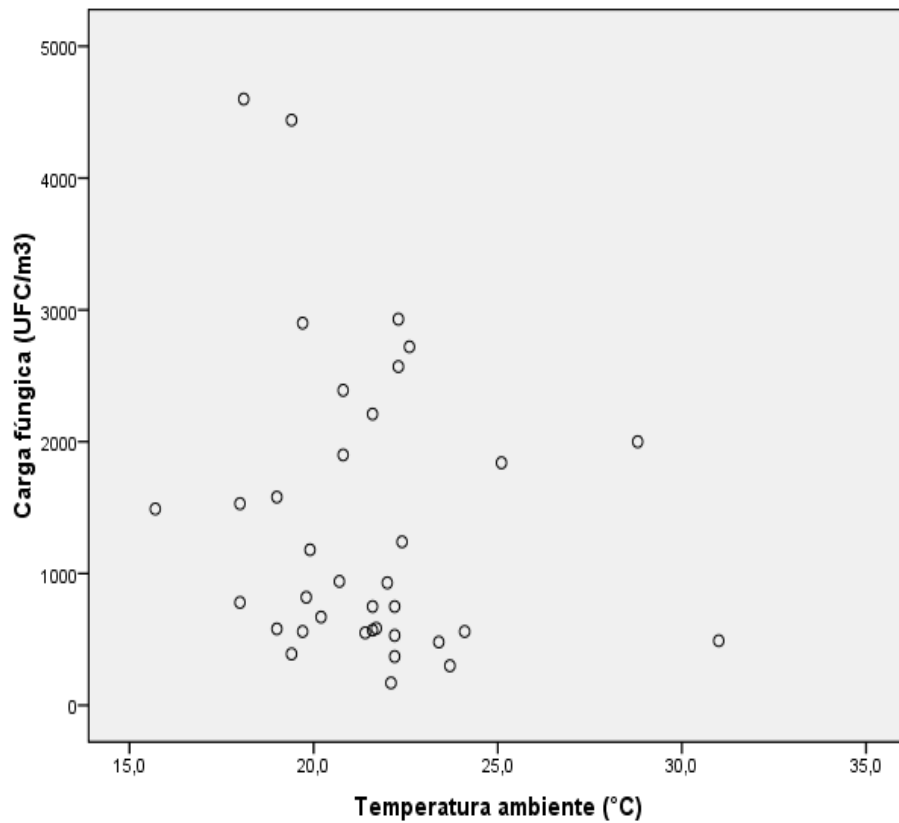
Gráfica 5. Comparación entre meses y lugar de muestreo de la carga fúngica.



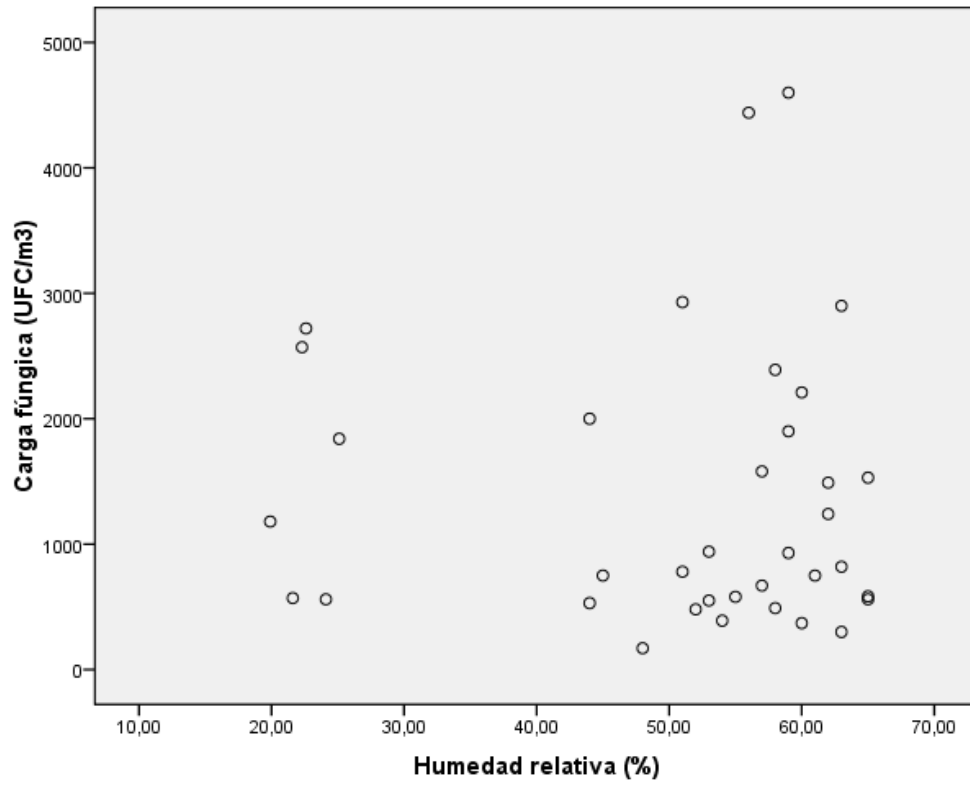
Gráfica 6. Comparación entre meses y laboratorios de la carga fúngica.



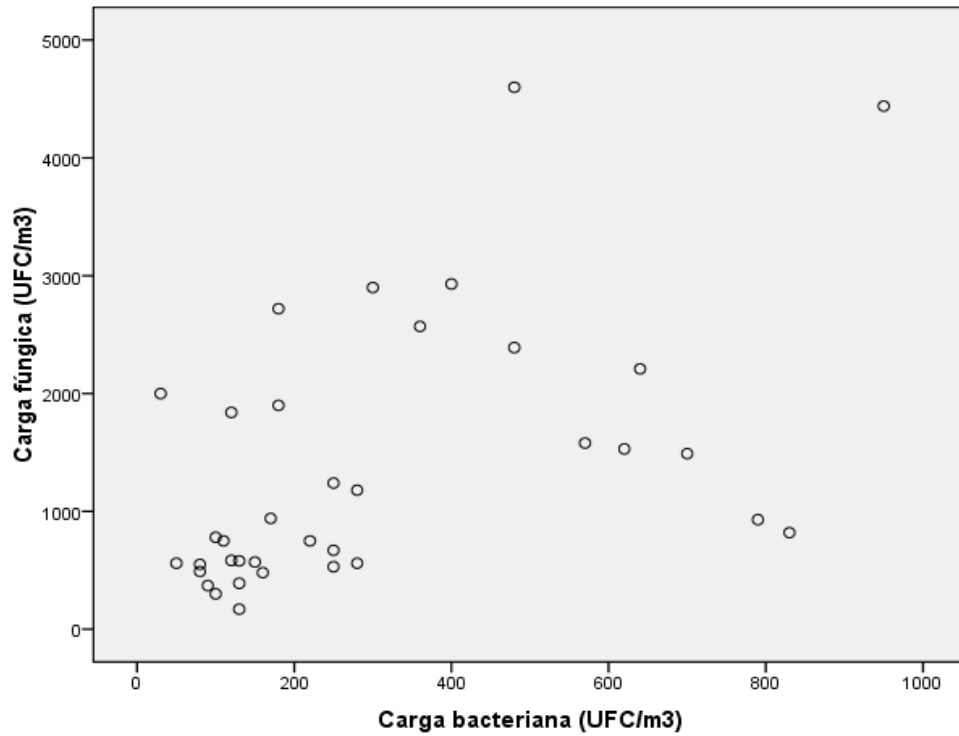
Gráfica 7. Comparación entre temperatura y carga fúngica.



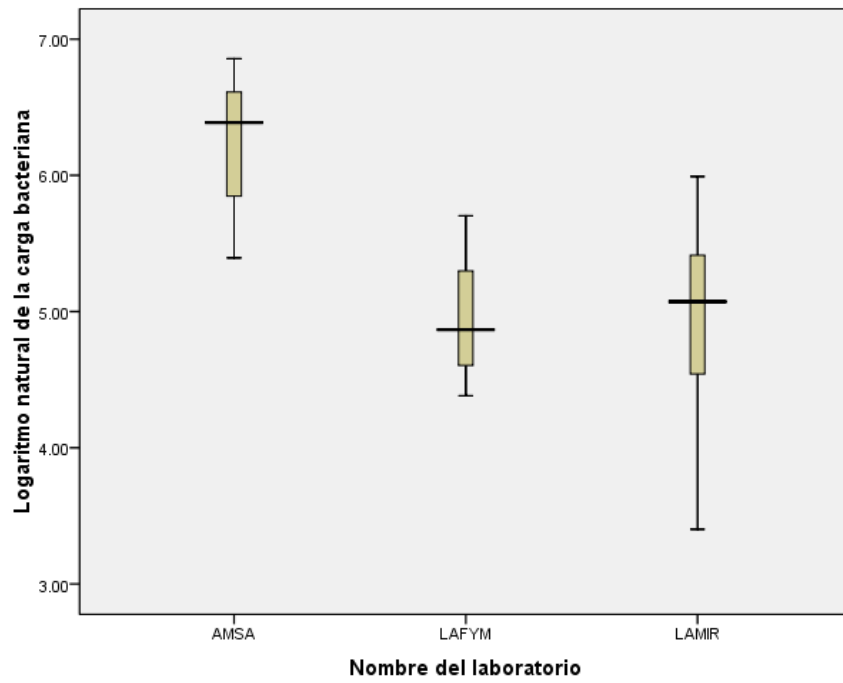
Gráfica 8. Comparación entre humedad relativa y carga fúngica.



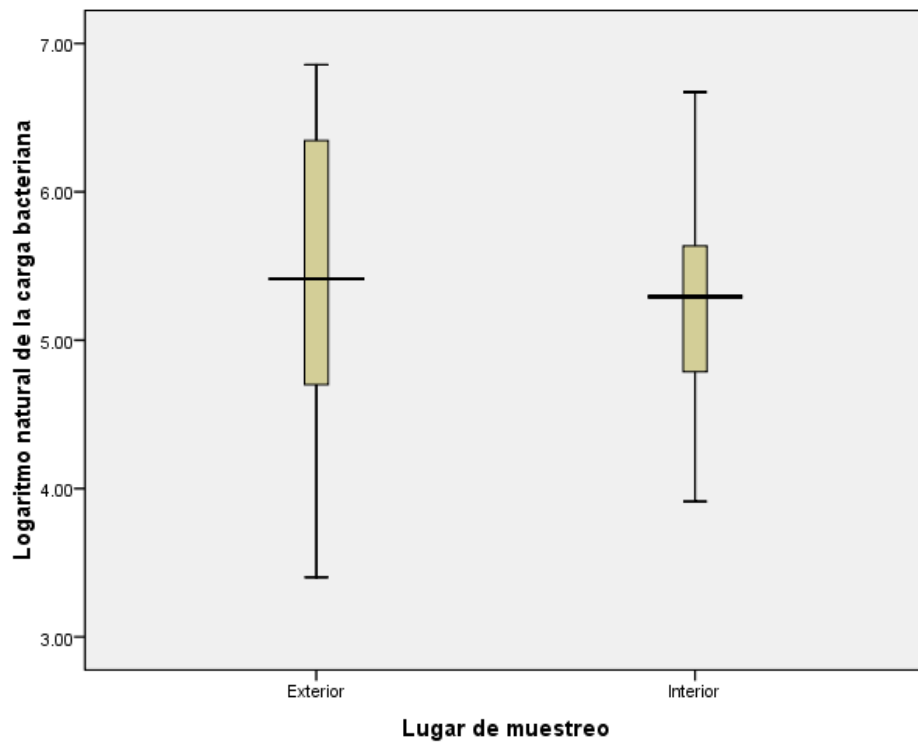
Gráfica 9. Correlación de la carga bacteriana y carga fúngica.



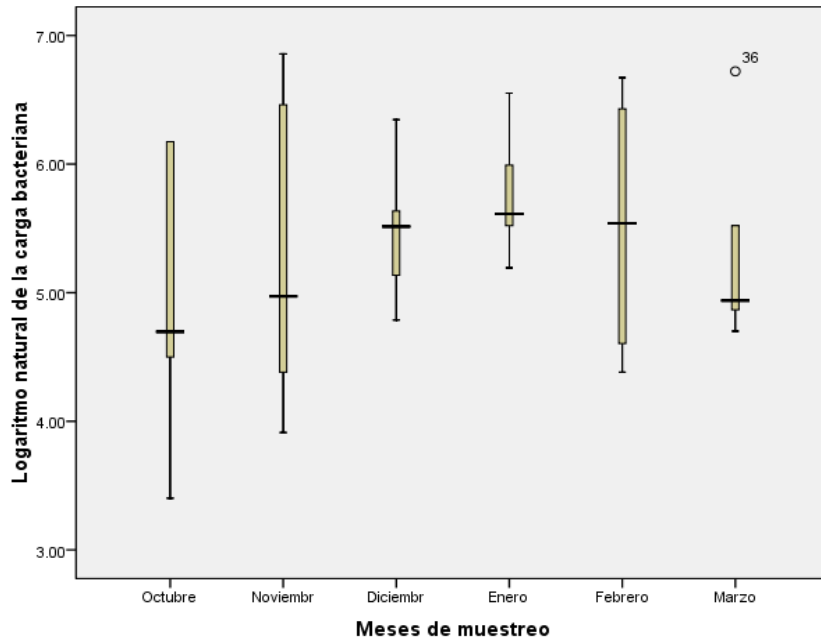
Gráfica 10. Comparación entre laboratorios de la carga bacteriana.



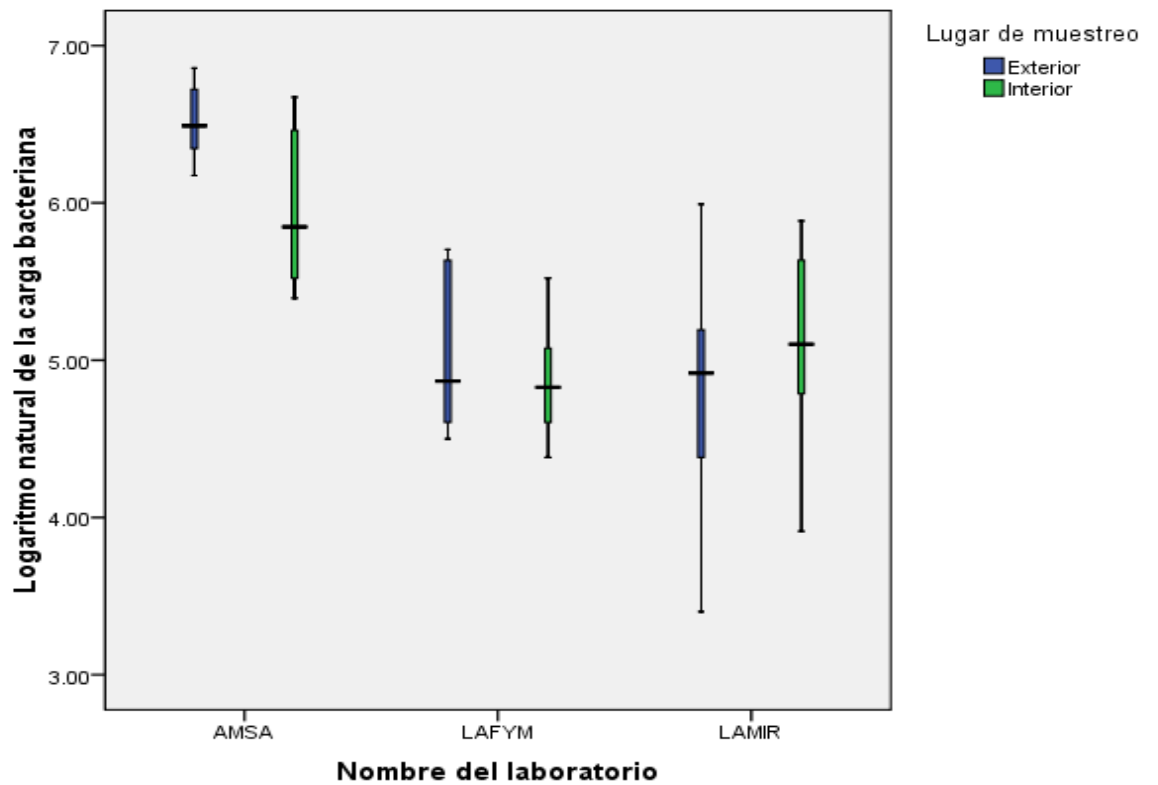
Gráfica 11. Lugar de muestreo de la carga bacteriana.



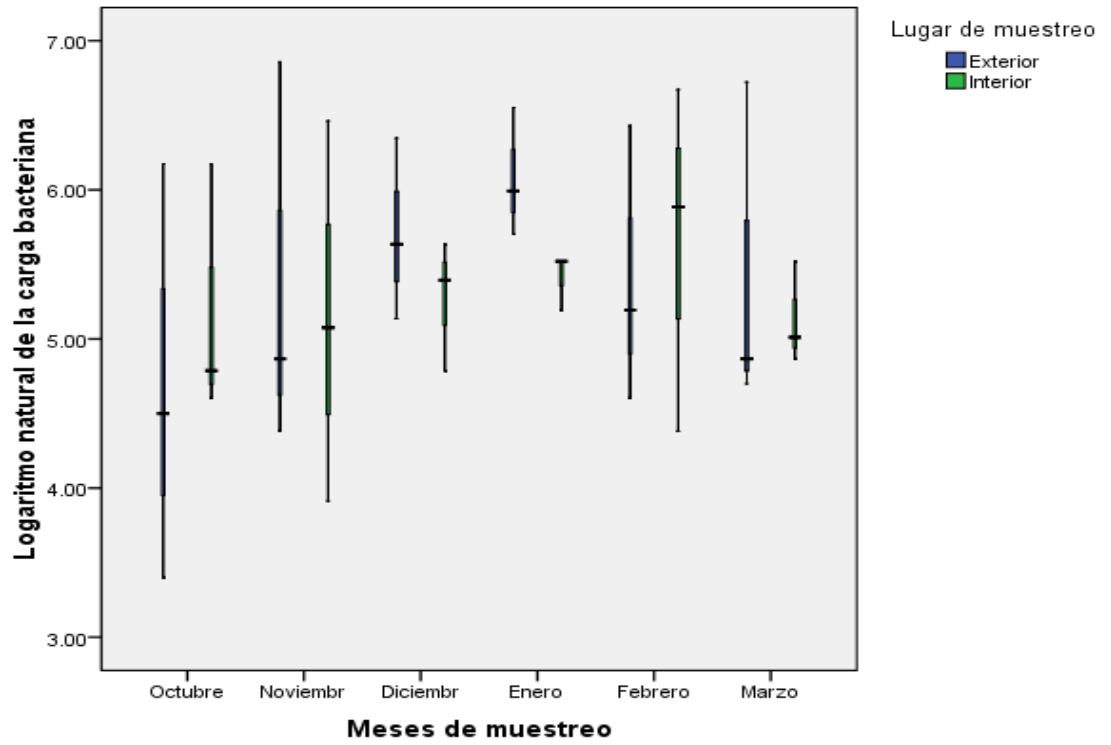
Gráfica 12. Comparación de los meses de muestreo de la carga bacteriana.



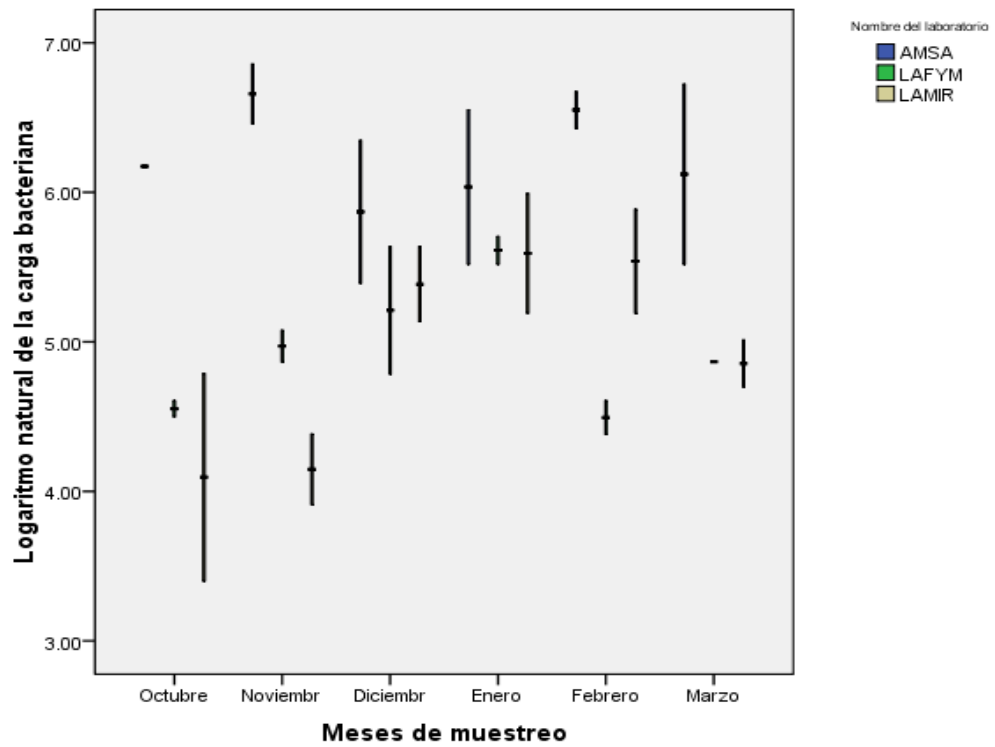
Gráfica 13. Comparación entre laboratorios y lugar de muestreo de la carga bacteriana.



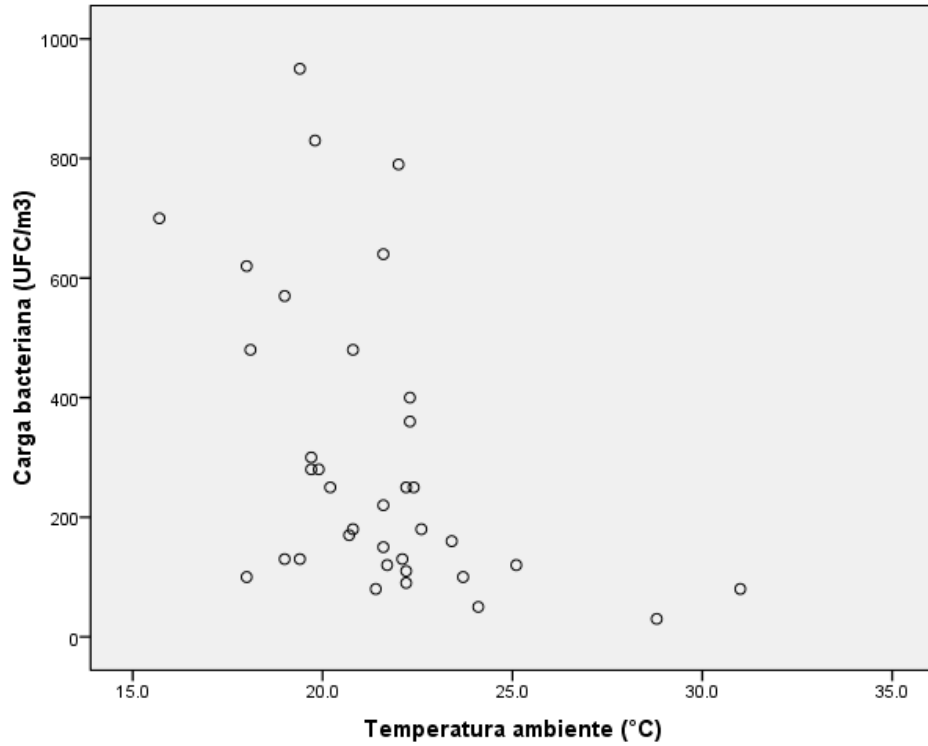
Gráfica 14. Comparación de la carga bacteriana entre meses y lugar de muestreo.



Gráfica 15. Comparación entre meses y laboratorios de la carga bacteriana.



Gráfica 16. Comparación de temperatura y carga bacteriana



Gráfica 17. Comparación de humedad relativa y carga bacteriana.

