



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

“Caracterización de hongos alérgenos en aire exterior de dos sitios en la
Zona Metropolitana del Valle de Toluca”

QUE PRESENTA EL ALUMNO:

Fernando Torres Ariza

Matrícula

2183070119

ASESORES:

Dra. María Judith Castellanos Moguel 28248

(Asesora interna)

Dr. Raúl Venancio Díaz Godoy 6420745

(Asesor externo)

Ciudad de México.

Marzo 2024

Resumen

La contaminación del aire abarca desde agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera (OMS, 2023), en el caso de México la contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales y de salud pública (INECC, 2019). Dentro de este tipo de contaminación se encuentran las esporas de hongos que están dentro de la fracción de PM_{2.5} y son consideradas como bioaerosoles esto es, partículas de origen biológico que están en el aire y que por su composición pueden causar alergia, toxicidad o infección en individuos susceptibles (Peyton, 2009). Debido a la importancia de las esporas de hongos se llevó a cabo un estudio en dos sitios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, en los sitios de San Mateo Atenco y Metepec, donde se analizaron filtros provenientes del aire exterior para poder identificar los géneros presentes, siendo importante observar la presencia de los géneros reportados con potencial alérgico, ya que, representan un riesgo a individuos susceptibles, así mismo se llevó a cabo una prueba de actividad proteolítica para observar el posible potencial patógeno de los géneros encontrados. En el estudio se encontró la presencia de géneros alérgicos como *Aspergillus*, *Scopulariopsis*, *Alternaria*, *Fusarium*, entre otros, destacando a algunos géneros como *Scopulariopsis* y *Eurotium* que por su gran actividad enzimática que presentaron puede ser un indicador de patogenicidad. A partir de lo cual es importante continuar el estudio de la calidad del aire en las zonas metropolitanas y la interacción de las esporas de los hongos que se encuentran presentes en las partículas PM 2.5 representando un desafío al sector de la salud por parte de los gobiernos y a la calidad de vida de las personas principalmente de aquellas que se encuentran inmunocomprometidas.

Palabras clave: Aire, contaminación, salud, hongos alérgicos y actividad proteolítica.

ÍNDICE

	Pagina
Resumen	
Introducción	1
Planteamiento Del Problema Y Justificación	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Materiales Y Métodos	3
Resultados	5
Discusión	18
Conclusión	20
Recomendaciones	21
Referencias Bibliográficas	21

Introducción

La contaminación del aire abarca desde agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera (OMS, 2023), así mismo la exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos a la salud humana (OPS, 2018). En países desarrollados y en desarrollo constituye un importante riesgo medioambiental para la salud (SEMARNAT, 2021). En el caso de México la contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales y de salud pública (INECC, 2019). Formando parte de la contaminación del aire se encuentra el material particulado (PM) que es una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022). Las partículas suspendidas se clasifican por su tamaño en PM₁₀ y PM_{2.5} (INE-SEMARNAT, 2011), estas partículas representan un problema de salud, ya que, las PM₁₀ pueden penetrar y alojarse en los pulmones, produciendo efectos a nivel de sistema respiratorio, mientras que las PM_{2.5}, tienen la capacidad de pasar al torrente sanguíneo por lo que pueden causar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, como el cáncer de pulmón (OMS, 2021).

Dentro del material particulado hay partículas de origen biológico que causan daños a la salud como lo son las esporas de hongos, protozoarios, bacterias y virus (Castellanos-Moguel et al., 2013). Diversos estudios demuestran la relación del material particulado presente en el aire y sus microorganismos asociados con la incidencia de enfermedades respiratorias (EPA, 2022). Dentro de estos microorganismos encontramos a los hongos que son altamente alergénicos, difíciles de diagnosticar y tratar, conforme a estudios se ha observado que afectan sobre todo a niños. Los principales géneros de hongos causantes de alergia son *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* (Clínica Universidad de Navarra, 2022).

Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma (Páramo, 2019), por lo cual es importante realizar estudios para conocer el estado de las grandes zonas urbanas como lo es la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), ya que, es la quinta área metropolitana más poblada del país (SEIM, 2010). Dentro de esta área se han realizado algunos estudios donde destacan el realizado por Galindo-Martínez et al. (2018) donde aislaron e identificaron los géneros de hongos cultivables aerotransportados y con potencial alérgico en Toluca, así mismo cuantificaron la concentración de propágulos fúngicos, López (2016) identificó la biota fúngica presente en el aire de la ZMVT en tres épocas del año y su relación con los factores meteorológicos, Lozada (2019) identificó los géneros fúngicos de

seis sitios en la ZMVT, también cuantificó las unidades formadoras de colonias (UFC) fúngicas suspendidas en el aire, Mejía-Gochéz et al. (2021) determinaron la capacidad proteolítica de *Alternaria* en un medio sólido como un indicador de patogenicidad. Continuando con la importancia de estudiar la zona el objetivo del presente trabajo es comparar los hongos alérgenos presentes en el material particulado procedente de aire exterior en dos sitios en la ZMVT.

Planteamiento del problema y justificación

La contaminación del aire es una de las mayores amenazas medioambientales para la salud humana y el cambio climático, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (OMS, 2021). Dentro de este tipo de contaminación se encuentran las esporas de hongos que están dentro de la fracción de PM_{2.5} y son consideradas como bioaerosoles esto es, partículas de origen biológico que están en el aire y que por su composición pueden causar alergia, toxicidad o infección en individuos susceptibles (Peyton, 2009), siendo las partículas de menor diámetro, como las PM_{2.5} las que presentan un mayor riesgo a la salud, debido que tienen la capacidad de penetrar a regiones más profundas de los pulmones e incorporarse al sistema circulatorio (INECC, 2019). Por lo cual el objetivo de la investigación es comparar los hongos alérgenos presentes en el material particulado procedente de aire exterior en dos sitios en la ZMVT.

Objetivo General

Comparar los hongos alérgenos presentes en el material particulado procedente de aire exterior en dos sitios en la ZMVT

Objetivos particulares

- Aislar e identificar los hongos presentes en el aire exterior
- Caracterizar los hongos asociados a enfermedades respiratorias.

Materiales y métodos

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), se ubica en la región centro del país, cuenta con una superficie territorial de 2,410.5 km². La ZMVT comenzó su proceso de metropolización a partir de la década de los 60's y actualmente es considerada la quinta metrópoli más poblada del país donde habitan 2,202,886 personas, lo que representa el 13.1% de la población total de la entidad (SEIM, 2010).

El muestreo se realizó en exterior cada tercer día durante los periodos de diciembre 2021 a mayo 2022, correspondientes a la época seca-fría en dos sitios de la ZMVT: San Mateo Atenco (SM) y Metepec (MT). Para ambos sitios se utilizaron filtros de Nucleopore de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.4 micrómetros (Nucleopore #WHA111137). Se empleó muestreo activo con dos equipos diferentes, para SM fue el modelo TCR TECORA de flujo de 16.7 l/min (TCR-TECORA, 2022), mientras que para MT se utilizó el OMNI BGI con un flujo de 5 l/min (INTERCON.INC, 2022).

En la Figura 1 y tabla 1, se presenta la ubicación de los sitios de muestreo establecidos en la ZMVT.

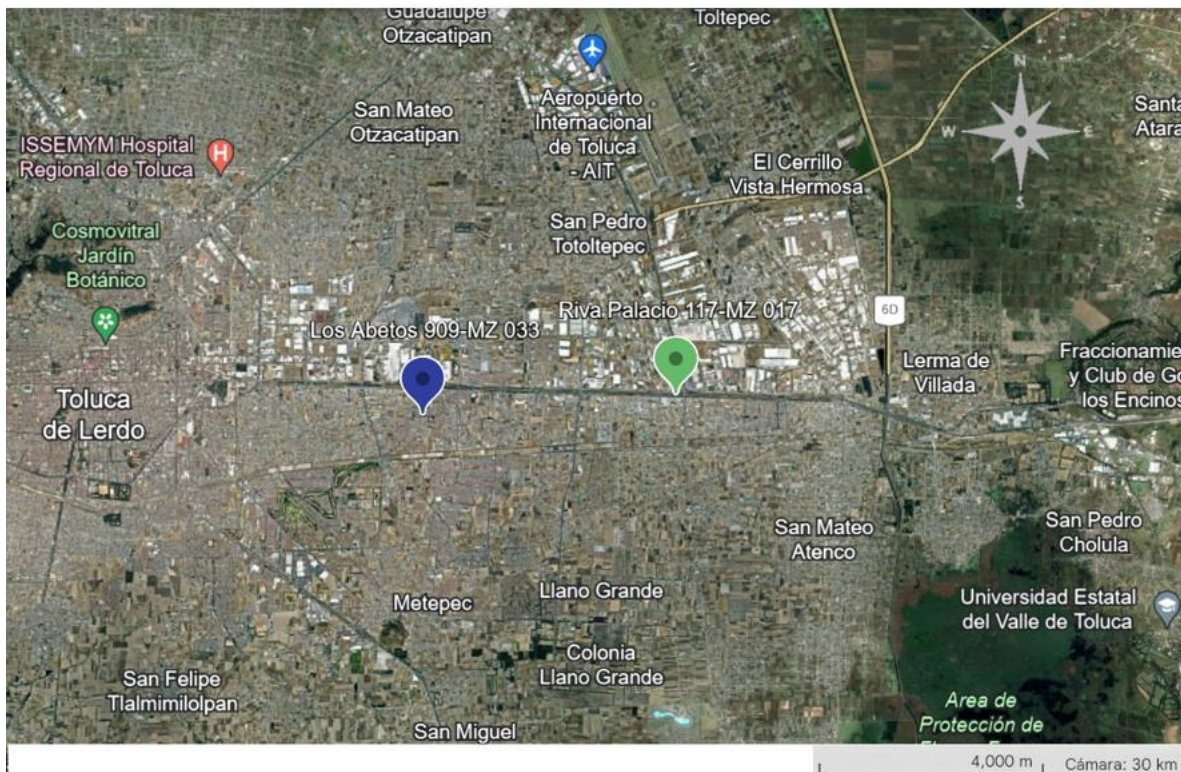


Figura 1 Ubicación de SM y MT en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Tabla 1: Sitios de muestreo en la ZMVT

	Metepec (MT)		San Mateo Atenco (SM)	
Domicilio	Los abetos No. 909, Col. Casa Blanca, 52175, Metepec, México		Riva Palacio No. 117, Col. Álvaro Obregón, 52105 San Mateo Atenco, México	
Coordenadas	Latitud Norte	19.28217	Latitud Norte	19.285353
	Longitud Oeste	-99.59455	Longitud oeste	-99.560376

En los sitios de muestreo se obtuvieron las siguientes muestras:

- San Mateo Atenco: Exterior: 78 muestras
- Metepec: Exterior: 78 muestras

De los cuales se seleccionaron 15 filtros de cada sitio. Los filtros se deben transportar cómo se maneja el material biológico, es decir, bajo condiciones estériles para evitar contaminación y adicionalmente se deben mantener a una temperatura estable de 4°C hasta su uso (Galindo-Martínez et al., 2018). El procesamiento y análisis de muestras se realizó de acuerdo con lo establecido por Galindo-Martínez et al. (2018). Para identificar a los hongos se utilizaron las características macromorfológicas como tamaño, color, forma, consistencia y pigmentación, mientras que para la identificación micromorfológica se utilizó un microscopio para observar las estructuras reproductivas, septos o si están ausentes en las hifas y mediante la ayuda de las claves taxonómicas como la de Barnett y Hunter (1972) y Barron (1968).

Por último, se realizó la determinación de la actividad proteolítica de acuerdo con Mejía-Gochéz et al. (2021) como un indicador de patogenicidad presente en algunos géneros aislados para conocer la relación de una posible infección en individuos susceptibles, utilizando el índice enzimático para el cual se requiere tomar medidas del diámetro de la colonia y del halo cada 24 horas durante 3 días seguidos.

$$\text{Índice enzimático} = \frac{\bar{x} \text{ halo}}{\bar{x} \text{ colonia}}$$

Adicionalmente, se realizó un análisis estadístico conforme a la prueba de Tukey para comparar la media de los índices enzimáticos de las diferentes morfologías coloniales de hongos encontrados en los sitios SM y MT de la ZMVT, utilizando el programa IBM® SPSS Statistics versión 29.0.1.0. (IMB, 2023).

Resultados

En la tabla 2 y 3 se observan los géneros encontrados en San Mateo Atenco (SM) y Metepec (MT) respectivamente y sus unidades formadoras de colonias (UFC) registradas. En ambos sitios se observan características compartidas como géneros en común y que en ambos el género más abundante es *Penicillium* y después *Aspergillus*. Se observó una mayor diversidad de géneros en el sitio MT.

Tabla 2: Registro del sitio del SM

Identificación de géneros	Suma de UFC
<i>Penicillium</i>	325
<i>Aspergillus</i>	63
<i>Scopulariopsis</i>	8
<i>Eurotium</i>	5
<i>Hyalodendron</i>	5
<i>Conoplea</i>	4
<i>Litchtheimia</i>	3
<i>Trichoderma</i>	2
<i>Paecilomyces</i>	1
	416

Tabla 3: Registro del sitio MT

Identificación de géneros	Suma de UFC
<i>Penicillium</i>	362
<i>Aspergillus</i>	17
<i>Scopulariopsis</i>	3
<i>Micelio estéril</i>	3
<i>Aureobasidium</i>	2
<i>Eurotium</i>	2
<i>Torula</i>	2
<i>Alternaria</i>	1
<i>Cordyceps</i>	1
<i>Fusarium</i>	1
<i>Hirsutella</i>	1
<i>Papulospora</i>	1
<i>Phytophthora</i>	1
<i>Pythium</i>	1
<i>Rhizopus</i>	1
<i>Wiesneriomyces</i>	1
	400

En la tabla 4 se observa la comparación entre los dos sitios de medición establecidos en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, conforme a los datos obtenidos se observa que ambos tienen un tamaño poblacional similar (ver tabla 2 y 3). Es importante resaltar que MT tiene un mayor número de géneros encontrados pero menor número de morfologías coloniales, en comparación con los registros obtenidos en SM donde se observan más morfologías coloniales de *Penicillium* y *Aspergillus*.

Tabla 4: Comparativa de sitio SM y MT

Sitio	San Mateo Atenco (SM)	Metepéc (MT)
UFC	416	400
Géneros encontrados	9 - <i>Penicillium</i> - <i>Aspergillus</i> - <i>Scopulariopsis</i> - <i>Eurotium</i> - <i>Hyalodendron</i> - <i>Conoplea</i> - <i>Litchtheimia</i> - <i>Trichoderma</i> - <i>Paecilomyces</i>	15 - <i>Penicillium</i> - <i>Aspergillus</i> - <i>Scopulariopsis</i> - <i>Aureobasidium</i> - <i>Eurotium</i> - <i>Torula</i> - <i>Alternaria</i> - <i>Cordyceps</i> - <i>Fusarium</i> - <i>Hirsutella</i> - <i>Papulospora</i> - <i>Phytophthora</i> - <i>Pythium</i> - <i>Rhizopus</i> - <i>Wiesneriomyces</i>
Morfologías coloniales (se reportan las diferentes, si no se menciona solamente se observó una para cada género)	20 -7 de <i>Penicillium</i> -5 de <i>Aspergillus</i> -2 de <i>Conoplea</i>	18 -4 de <i>Penicillium</i>

De los géneros obtenidos y las diferentes morfologías coloniales se prosiguió a seleccionar una colonia para determinar la actividad proteolítica cada 24 horas durante 3 días (72 horas), ya que, es considerado el tiempo crítico donde puede ocurrir una infección en un individuo, de las medidas obtenidas se obtuvo el índice enzimático y se calculó su media, así mismo se hizo uso de una prueba Tukey para comparar las medias de cada par de grupos y así identificar donde se producen diferencias significativas.

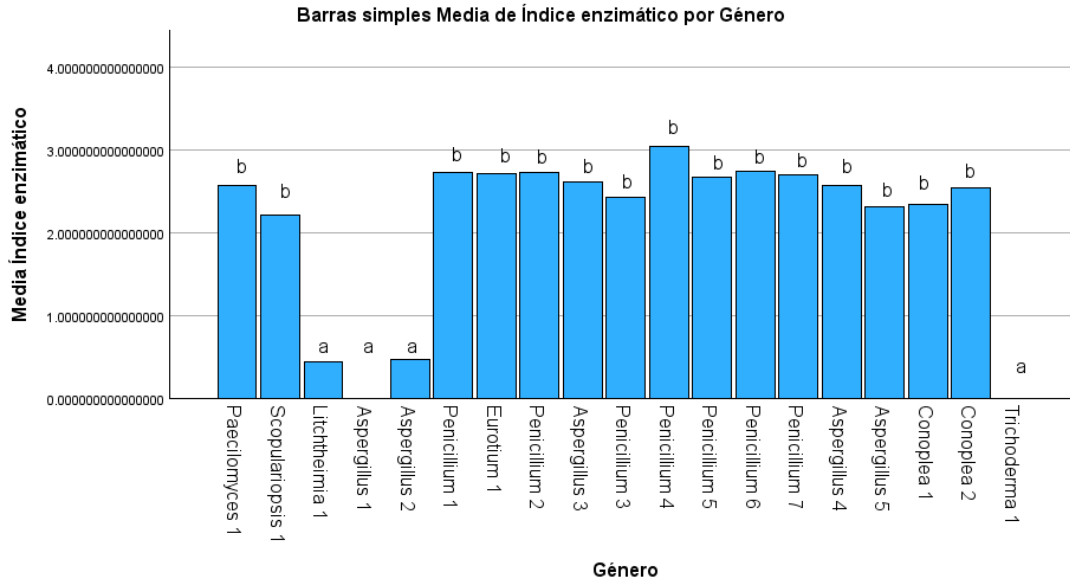
En la tabla 5 y gráfica 1 se observan los dos grupos obtenidos en la primera medición establecida para las proteasas a las 24 horas en el sitio de San Mateo Atenco resultante de la prueba de Tukey.

Conforme a la prueba de Tukey se obtienen dos grupos “a” y “b”, es decir, que entre los géneros reportados a las 24 horas en SM no hay diferencias significativas entre los géneros pertenecientes al mismo grupo, por lo que su actividad enzimática es estadísticamente similar. Por ejemplo, los géneros *Aspergillus 1*, *Trichoderma 1*, *Litchtheimia 1* y *Aspergillus 2* se encuentran ubicados en el grupo “a” dado que su actividad enzimática es baja o nula (0 a 0.44).

Tabla 5: Índice enzimático a las 24 horas en SM

Género	Índice enzimático
<i>Aspergillus 1</i>	0.00 ^a
<i>Trichoderma 1</i>	0.00 ^a
<i>Litchtheimia 1</i>	0.44 ^a
<i>Aspergillus 2</i>	0.4722 ^a
<i>Scopulariopsis 1</i>	2.2083 ^b
<i>Aspergillus 5</i>	2.3194 ^b
<i>Conoplea 1</i>	2.3472 ^b
<i>Penicillium 3</i>	2.4305 ^b
<i>Conoplea 2</i>	2.5416 ^b
<i>Paecilomyces 1</i>	2.5694 ^b
<i>Aspergillus 4</i>	2.5694 ^b
<i>Aspergillus 3</i>	2.6111 ^b
<i>Penicillium 5</i>	2.66 ^b
<i>Penicillium 7</i>	2.6944 ^b
<i>Eurotium 1</i>	2.7083 ^b
<i>Penicillium 1</i>	2.7222 ^b
<i>Penicillium 2</i>	2.7222 ^b
<i>Penicillium 6</i>	2.7361 ^b
<i>Penicillium 4</i>	3.0416 ^b

Nota. Las letras a y b se refieren a diferentes grupos obtenidos en la prueba de Tukey.



Gráfica 1: Media de índice enzimático por género a las 24 horas en SM.

Nota. Las letras a y b se refieren a diferentes grupos obtenidos en la prueba de Tukey.

En la tabla 6 y gráfica 2 se muestra la segunda medición de proteasas establecida a las 48 horas en el sitio SM. Conforme a la prueba de Tukey, los datos obtenidos muestran una mayor presencia de grupos, (a, b, c, d, e, f, g, h). Cuando un género tiene más de una letra se debe a que comparte características con más de un grupo, pero no son tan diferentes como para formar un grupo individual.

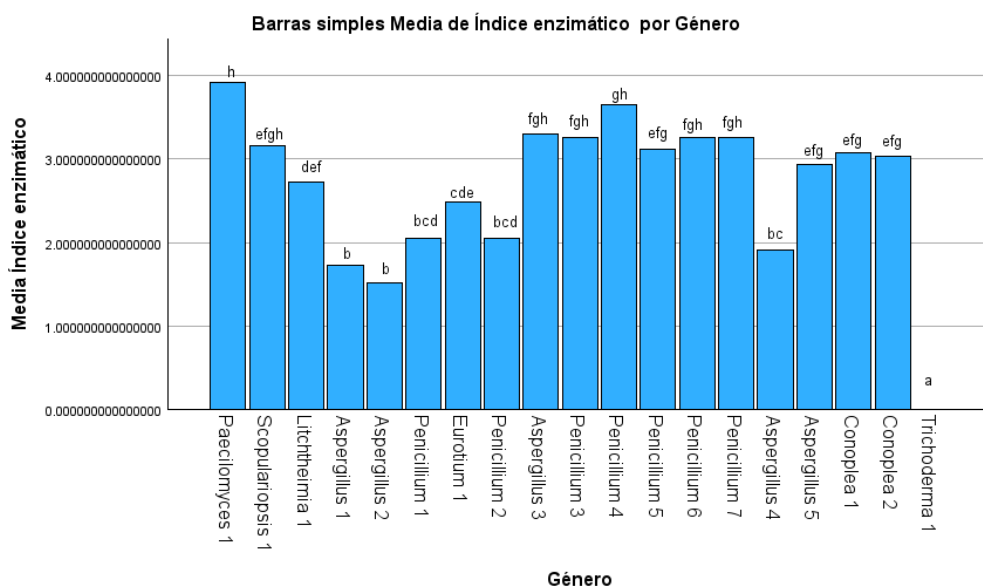
A diferencia de la primera medición a las 24 horas donde dos grupos se reportaron, en esta segunda toma aumentó el número, ya que, la actividad enzimática es más variable entre los géneros debido a los mecanismos presentes en las diferentes especies. Es importante resaltar a *Paecilomyces* por su mayor actividad enzimática a diferencia de los demás, siendo de gran importancia al ser reportado como un género alérgeno.

Tabla 6: Índice enzimático a las 48 horas en SM

Género	Índice enzimático
<i>Trichoderma 1</i>	0.00 ^a
<i>Aspergillus 2</i>	1.5161 ^b
<i>Aspergillus 1</i>	1.7222 ^b
<i>Aspergillus 4</i>	1.9142 ^{b, c}
<i>Penicillium 1</i>	2.0539 ^{b, c, d}
<i>Penicillium 2</i>	2.0539 ^{b, c, d}
<i>Eurotium 1</i>	2.4851 ^{c, d, e}
<i>Litchtheimia 1</i>	2.7222 ^{d, e, f}

<i>Aspergillus 5</i>	2.9305 ^{e, f, g}
<i>Conoplea 2</i>	3.0277 ^{e, f, g}
<i>Conoplea 1</i>	3.0833 ^{e, f, g}
<i>Penicillium 5</i>	3.125 ^{e, f, g}
<i>Scopulariopsis 1</i>	3.1666 ^{e, f, g, h}
<i>Penicillium 3</i>	3.2638 ^{f, g, h}
<i>Penicillium 6</i>	3.2638 ^{f, g, h}
<i>Penicillium 7</i>	3.2638 ^{f, g, h}
<i>Aspergillus 3</i>	3.3055 ^{f, g, h}
<i>Penicillium 4</i>	3.6527 ^{g, h}
<i>Paecilomyces 1</i>	3.9166 ^h

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.



Gráfica 2: Media de índice enzimático por género a las 48 horas en SM.

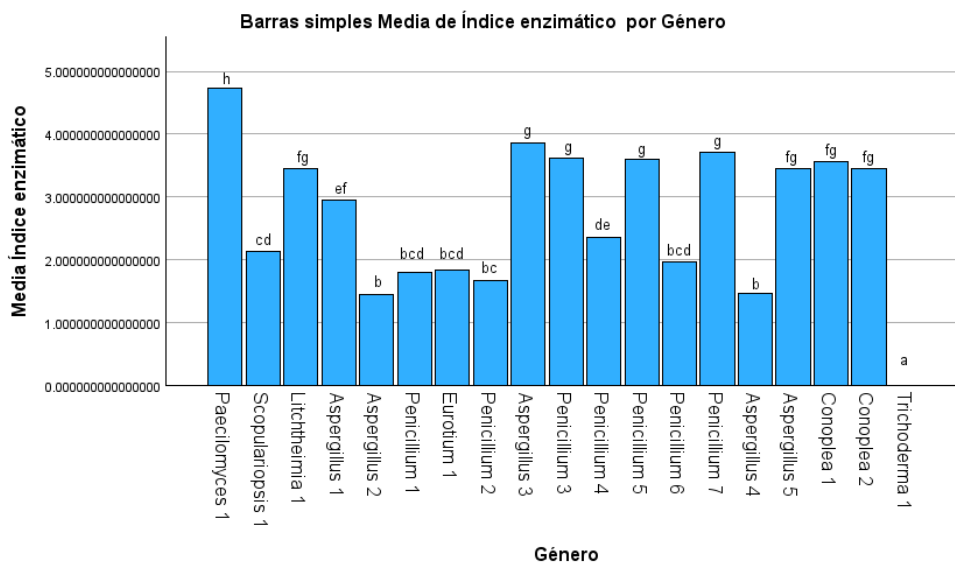
Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.

En el tercer periodo de mediciones de proteasas establecida a las 72 horas en el sitio SM se observa en la tabla 7 y gráfica 3 que siguen presente los ocho grupos y que *Paecilomyces 1* (4.7361) sigue siendo el género con mayor actividad enzimática y esta vez presenta una mayor diferencia respecto a los demás. Por otra parte, a lo largo de las 72 horas *Trichoderma* fue el único género sin presentar actividad enzimática.

Tabla 7: Índice enzimático a las 72 horas en SM

Género	Índice enzimático
<i>Trichoderma 1</i>	0.00 ^a
<i>Aspergillus 2</i>	1.45 ^b
<i>Aspergillus 4</i>	1.4678 ^b
<i>Penicillium 2</i>	1.6746 ^{b, c}
<i>Penicillium 1</i>	1.7973 ^{b, c, d}
<i>Eurotium 1</i>	1.8403 ^{b, c, d}
<i>Penicillium 6</i>	1.9679 ^{b, c, d}
<i>Scopulariopsis 1</i>	2.1383 ^{c, d}
<i>Penicillium 4</i>	2.3498 ^{d, e}
<i>Aspergillus 1</i>	2.9583 ^{e, f}
<i>Conopsea 2</i>	3.44 ^{f, g}
<i>Litchtheimia 1</i>	3.4583 ^{f, g}
<i>Aspergillus 5</i>	3.4583 ^{f, g}
<i>Conopsea 1</i>	3.55 ^{f, g}
<i>Penicillium 5</i>	3.5972 ^g
<i>Penicillium 3</i>	3.625 ^g
<i>Penicillium 7</i>	3.7083 ^g
<i>Aspergillus 3</i>	3.8611 ^g
<i>Paecilomyces 1</i>	4.7361 ^h

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.



Gráfica 3: Media de índice enzimático por género a las 72 horas en SM.

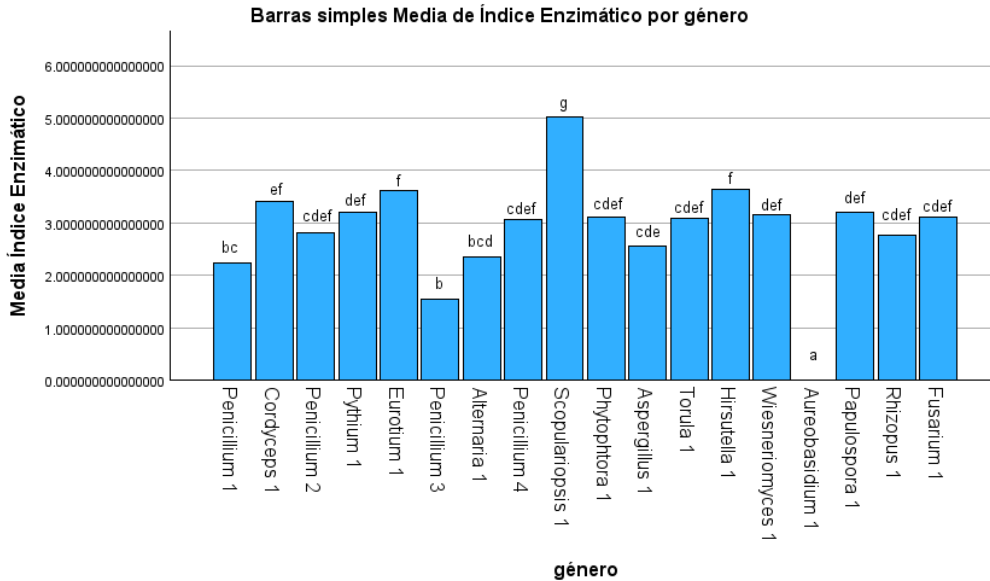
Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.

En el segundo sitio que corresponde a Metepec se observa en la tabla 8 y gráfica 4 la primera medición de proteasas establecida a las 24 horas, donde se observa la presencia de siete grupos (a, b, c, d, e, f, g), resaltando a *Scopulariopsis* por ser el que posee mayor actividad enzimática y siendo muy relevante al ser un género que causa diversas enfermedades en los humanos (Tabla 11).

Tabla 8: Índice enzimático a las 24 horas en MT

Género	Índice enzimático
<i>Aureobasidium 1</i>	.00 ^a
<i>Penicillium 3</i>	1.55 ^b
<i>Penicillium 1</i>	2.2361 ^{b, c}
<i>Alternaria 1</i>	2.3611 ^{b, c, d}
<i>Aspergillus 1</i>	2.55 ^{c, d, e}
<i>Rhizopus 1</i>	2.7638 ^{c, d, e, f}
<i>Penicillium 2</i>	2.8055 ^{c, d, e, f}
<i>Penicillium 4</i>	3.0694 ^{c, d, e, f}
<i>Torula 1</i>	3.0833 ^{c, d, e, f}
<i>Phytophthora 1</i>	3.11 ^{c, d, e, f}
<i>Fusarium 1</i>	3.11 ^{c, d, e, f}
<i>Wiesneriomyces 1</i>	3.1527 ^{d, e, f}
<i>Pythium 1</i>	3.1944 ^{d, e, f}
<i>Papulospora 1</i>	3.1944 ^{d, e, f}
<i>Cordyceps 1</i>	3.4027 ^{e, f}
<i>Eurotium 1</i>	3.6111 ^f
<i>Hirsutella 1</i>	3.6527 ^f
<i>Scopulariopsis 1</i>	5.0138 ^g

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.



Gráfica 4: Media de índice enzimático por género a las 24 horas en MT.

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.

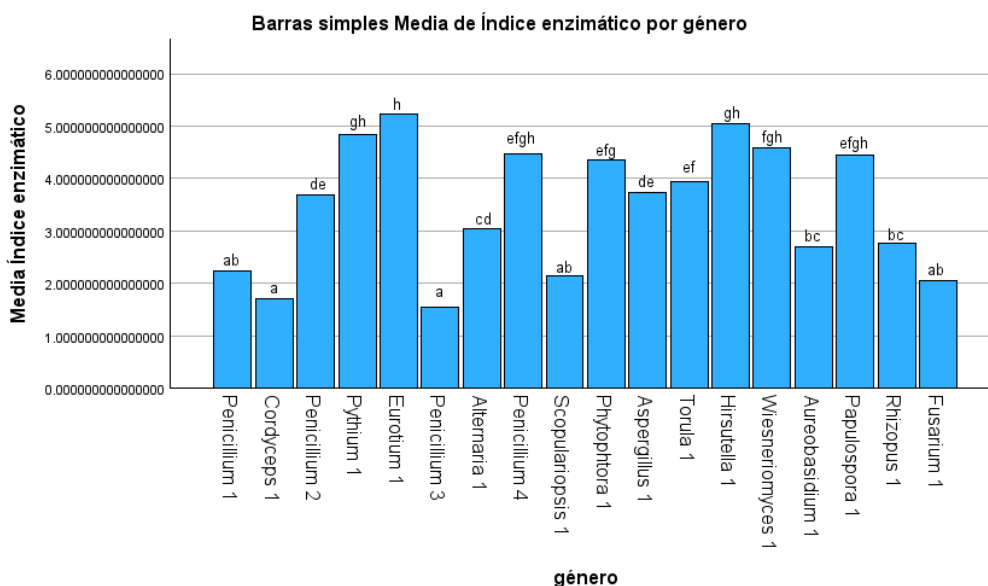
En la tabla 9 y gráfica 5 se presentan los datos obtenidos de la segunda medición de proteasas a las 48 horas en MT. Es necesario resaltar que sigue existiendo un gran número de grupos y en este caso se aumentó un grupo obteniendo ocho (a, b, c, d, e, f, g, h), siendo *Eurotium* el de mayor actividad enzimática y por ser un género alérgeno. Sin embargo, no es el único con una actividad alta pues se pueden observar como muchos géneros están dentro del mismo grupo.

Tabla 9: Índice enzimático a las 48 horas en MT

Género	Índice enzimático
<i>Penicillium 3</i>	1.55 ^a
<i>Cordyceps 1</i>	1.7036 ^a
<i>Fusarium 1</i>	2.0483 ^{a, b}
<i>Scopulariopsis 1</i>	2.1439 ^{a, b}
<i>Penicillium 1</i>	2.2361 ^{a, b}
<i>Aureobasidium 1</i>	2.6944 ^{b, c}
<i>Rhizopus 1</i>	2.7638 ^{b, c}
<i>Alternaria 1</i>	3.0416 ^{c, d}
<i>Penicillium 2</i>	3.6944 ^{d, e}
<i>Aspergillus 1</i>	3.7222 ^{d, e}
<i>Torula 1</i>	3.9444 ^{e, f}
<i>Phytophthora 1</i>	4.3472 ^{e, f, g}

<i>Papulospora 1</i>	4.4583 ^{e, f, g, h}
<i>Penicillium 4</i>	4.4722 ^{e, f, g, h}
<i>Wiesneriomyces 1</i>	4.5833 ^{f, g, h}
<i>Pythium 1</i>	4.8472 ^{g, h}
<i>Hirsutella 1</i>	5.0416 ^{g, h}
<i>Eurotium 1</i>	5.2361 ^h

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey



Gráfica 5: Media de índice enzimático por género a las 48 horas en MT.

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.

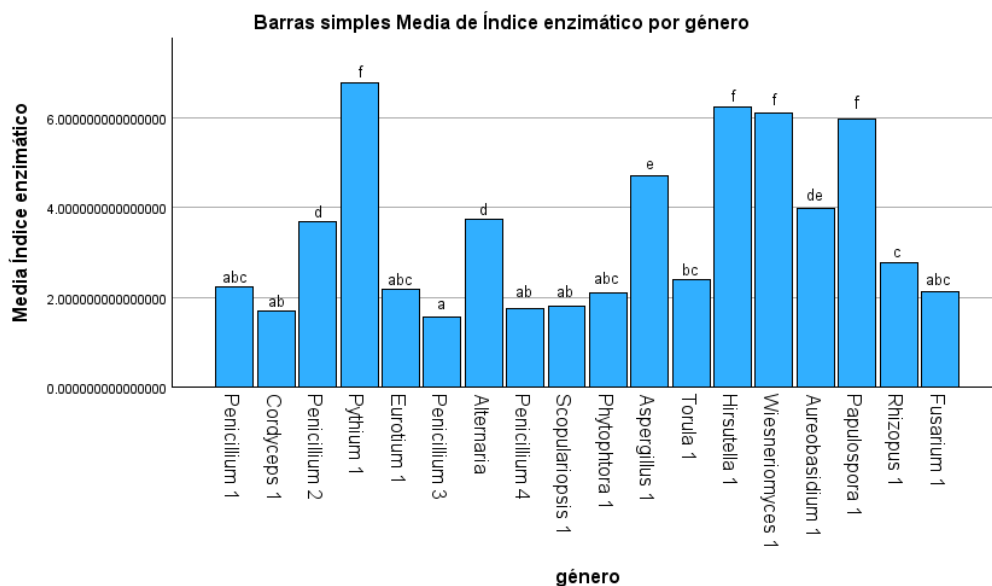
En la última medición de proteasas establecida a las 72 horas en MT se observan cambios como la disminución de grupos a seis (a, b, c, d, e, f). En los géneros pues *Pythium*, *Hirsutella*, *Wiesneriomyces* y *Papulospora* son el grupo que presenta una mayor actividad enzimática (tabla 10 y gráfica 6), mientras que otros disminuyeron como es el caso de *Eurotium*, ya que, tuvo un mayor crecimiento en la colonia y el crecimiento del halo fue más lento.

Tabla 10: Índice enzimático a las 72 horas en MT

Género	Índice enzimático
<i>Penicillium 3</i>	1.55 ^a
<i>Cordyceps 1</i>	1.7036 ^{a, b}
<i>Penicillium 4</i>	1.7436 ^{a, b}

<i>Scopulariopsis 1</i>	1.8050 ^{a, b}
<i>Phytophthora 1</i>	2.0880 ^{a, b, c}
<i>Fusarium 1</i>	2.1238 ^{a, b, c}
<i>Eurotium 1</i>	2.1826 ^{a, b, c}
<i>Penicillium 1</i>	2.2361 ^{a, b, c}
<i>Torula 1</i>	2.3934 ^{b, c}
<i>Rhizopus 1</i>	2.7638 ^c
<i>Penicillium 2</i>	3.6944 ^d
<i>Alternaria 1</i>	3.7361 ^d
<i>Aureobasidium 1</i>	3.9722 ^{d, e}
<i>Aspergillus 1</i>	4.7083 ^e
<i>Papulospora 1</i>	5.9722 ^f
<i>Wiesneriomyces 1</i>	6.0972 ^f
<i>Hirsutella 1</i>	6.2361 ^f
<i>Pythium 1</i>	6.7638 ^f

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.



Gráfica 6: Media de índice enzimático por género a las 72 horas.

Nota. Cada letra representa a un grupo obtenido de acuerdo con la prueba de Tukey.

En las figuras 2 y 3 se observan como las colonias tuvieron diferente crecimiento en el medio agar-leche, mientras que en las figuras 4 y 5 se observan ejemplos de la actividad enzimática donde hay presencia del halo, en la mayoría de los casos el halo no es completamente circular por lo cual se tomó la medida del diámetro uno y dos para obtener el promedio y así disminuir el error.



Figura 2. Colonia con poco crecimiento.



Figura 3. Colonia con mayor crecimiento.



Figura 4. Ejemplo 1 de actividad enzimática.

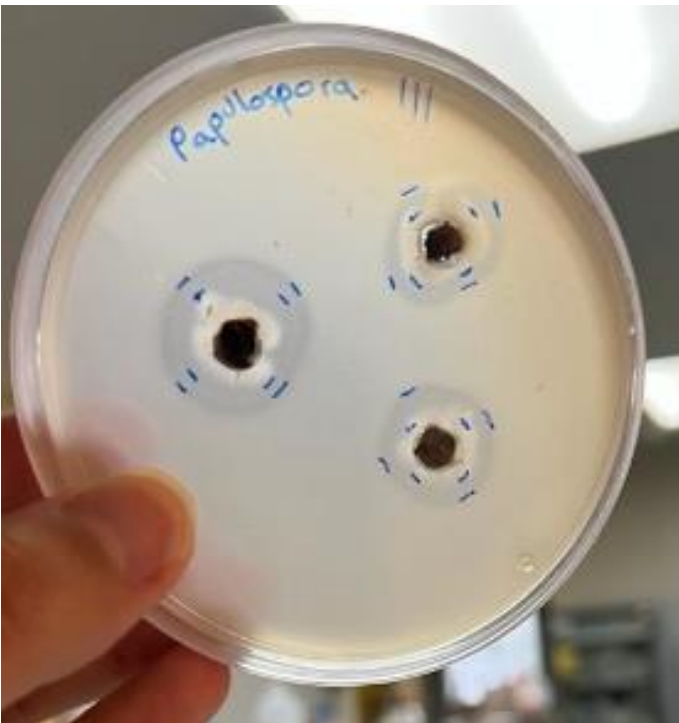


Figura 5. Ejemplo 2 de actividad enzimática.

En la tabla 11 se encuentran hongos descritos con potencial alérgeno y sus posibles afecciones a la salud de los humanos, sobre todo siendo más susceptibles aquellas personas con un sistema inmune débil.

Tabla 11: Enfermedades causadas por hongos

Género fúngico	Efectos a la salud humana	Referencias
<i>Alternaria</i>	Feohifomicosis, rinitis alérgica, alveolitis alérgica o neumonitis por hipersensibilidad. Alternariosis cutánea, queratomycosis y endoftalmitis en personas que han sufrido un traumatismo ocular.	INSST, 2022 Pavón et al., 2012
<i>Aspergillus</i>	Aspergilosis con mayor riesgo en personas con el sistema inmunitario débil, reacciones alérgicas e infección en los pulmones u otros órganos. Aspergiloma o bola fúngica que se puede desarrollar en una cavidad como una lesión pulmonar. Efectos tóxicos como consecuencia de la ingesta de alimentos contaminados con micotoxinas.	CDC, 2021 INSST, 2021
<i>Aureobasidium</i>	Neumonitis y alveolitis alérgica. Feohifomicosis.	Pettigrew et al., 2010 Nordness et al., 2003
<i>Fusarium</i>	Las infecciones más frecuentes son la onicomycosis y la queratitis, pero también se puede desarrollar una infección invasiva como la fungemia. Infecciones como sinusitis y lesiones en la piel.	Rodríguez-Grimaldo et al., 2022 Sánchez y Almaguer, 2014
<i>Litchtheimia</i>	De los principales responsables de mucormycosis. La infección puede ser cerebral, pulmonar, cutánea, digestiva o diseminada.	Carnovale y López, 2014 Martín y Salavert, 2021.
<i>Paecilomyces</i>	Queratitis	Del Castillo et al., 2015

	En pacientes inmunocomprometidos se han reportado casos de endoftalmitis,	Montes et al., 2011
<i>Penicillium</i>	Causa infecciones respiratorias e infecciones locales o superficiales como neumonías, queratitis, endoftalmitis, otomicosis, endocarditis y esofagitis. Efectos tóxicos causados por micotoxinas.	INSST, 2022 Abarca et al., 2000
<i>Rhizopus</i>	Sinusitis invasiva en pacientes inmunocomprometidos. Alta incidencia en mucormicosis.	Pérez et al., 2023 Tiraboschi et al., 2012
<i>Scopulariopsis</i>	Onicomycosis. Infecciones invasivas como endocarditis, sinusitis, cutáneas, cerebrales o pulmonares.	Sanz et al., 2023. Iwen et al., 2012.

Discusión

La ONU en 2022 reveló que los datos muestran que los habitantes de los países de ingresos bajos y medios son los más expuestos a la contaminación atmosférica, pero también son los menos cubiertos en cuanto a la medición de la calidad del aire, por lo cual es importante seguir realizando más estudios en países en vías de desarrollo como México. De acuerdo con lo anterior, es importante realizar muestreos de la calidad del aire porque los géneros fúngicos encontrados se obtuvieron de las muestras PM_{2.5} colectadas en los sitios de SM y MT de la ZMVT. El tamaño de estas partículas es de gran importancia, ya que, los diámetros de 1 a 20 µm, son un rango que desde el punto de vista de la Salud Pública es de gran interés, eso indica que las mismas pueden llegar a ser nocivas para la salud humana generando reacciones alérgicas, enfermedades pulmonares, entre otras (SEMARNAT, 2021).

La atmósfera es un medio adecuado para la dispersión de muchos microorganismos donde los hongos representan uno de los grupos más diversos y alcanzan concentraciones elevadas en determinadas épocas del año (Sánchez y Almaguer, 2014). Sin embargo, en las últimas tres décadas, los estudios han mostrado cambios en la producción, contenido de polen y esporas, cambios que, en ambientes urbanos, pueden haber sido influenciados por contaminantes abióticos presentes en el aire que interactúan con ellos (Rendueles, 2015). Por lo que el Valle

de Toluca es una zona compleja al estar rodeado de bosques y ciertas áreas son aún consideradas rurales aun cuando están dentro de la Zona Metropolitana implicando una gran cantidad de vegetación que puede ser una fuente local de esporas (Galindo-Martínez et al. 2018). Por lo cual es importante el conocimiento de la composición del aire exterior, fundamentalmente de las especies consideradas más alergénicas, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Rendueles, 2015).

Conforme al análisis de los filtros en la época seca fría de la ZMVT, se observa que los géneros más abundantes fueron *Penicillium* y *Aspergillus*, los cuales son considerados cosmopolitas y de gran abundancia en todo el mundo (Rodríguez-Gómez et al., 2020). De acuerdo con la literatura la poca diversidad de géneros está relacionado a la estación del año, esto es reportado igualmente por Mejía-Gochéz en 2021 donde en su estudio encontró menor diversidad en invierno. Como se puede observar en esta investigación se dio una gran importancia a los géneros que se han descrito con potencial alérgico, se encontraron 9 géneros de hongos con potencial alérgico (tabla 10) que tienen una gran importancia en la salud humana sobre todo en pacientes inmunocomprometidos. En la zona se han encontrado algunos géneros en común en trabajos previamente realizados como el descrito por Galindo-Martínez et al. en 2018 donde encontró 14 géneros potencialmente alergénicos o patógenos teniendo en común *Penicillium*, *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Aspergillus* y *Paecilomyces*. Mientras que en el trabajo realizado por Lozada en 2019 los géneros en común destacando principalmente los que se han descrito como alérgicos, son *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Aureobasidium* y *Rhizopus*.

Los hongos patógenos tienen varios factores de virulencia que le permiten al hongo adherirse, penetrar e interferir con las funciones celulares de su hospedero (Ortoneda et al., 2004). Entre sus numerosos y variados factores de virulencia se destaca el papel de las enzimas que le permiten al hongo degradar constituyentes importantes de las barreras de protección externa de los hospederos, por lo cual pueden penetrar y colonizar tejidos (Valencia-Guerrero, et al. 2011). Siendo más frecuente las micosis por hongos filamentosos en grupos de pacientes muy concretos que habitualmente presentan una inmunodeficiencia en mayor o menor grado (Pemán y Quindós, 2014).

Sin embargo, la información disponible solo se remite al registro de los casos, por lo que hay muy poca documentación conocida o estudiada de las enzimas asociadas, mecanismos de acción y protocolos para su estandarización (Mejía-Góchez, 2021). Saprófitos comunes como *Fusarium*, *Aspergillus*, *Scopulariopsis* y *Alternaria* poseen actividades enzimáticas complejas (Daines et al., 2020). Sin embargo, el desarrollo de las micosis invasivas por hongos filamentosos se

relaciona con una disfunción del sistema inmunitario. La capacidad del hongo de producir infección dependerá en muchas ocasiones de la aptitud, o de las carencias, del huésped para crear una buena respuesta inmunológica (García-Vidal y Salavert, 2014). Por lo cual el estudio de la actividad enzimática debe continuar para entender mejor la función de las enzimas en el proceso infeccioso, y tomar medidas para mejorar la calidad del aire. Aunque una mínima proporción de hongos filamentosos tienen la capacidad de ser patógenos en humanos, siendo los más frecuentes los géneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Scedosporium*, *Rhizopus*, *Mucor* y *Absidia* y solo algunas especies dentro de estos géneros tienen ese potencial patógeno (Lanternier et al., 2012), algunos de estos son comunes de encontrar en ambientes urbanos como en el caso de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca donde se observó la presencia de géneros alérgenos como *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Scopulariopsis*, y *Eurotium* que presentaron una alta actividad enzimática, lo que puede ser un indicador de patogenicidad. Así mismo se debe trabajar en el análisis del índice enzimático, ya que, solo toma medidas cuantitativas, pero falta tener consideraciones cualitativas como la transparencia del halo pues en algunos casos se puede observar como el diámetro del halo es muy grande, pero se puede observar residuos en el medio de cultivo, mientras que en otros casos el diámetro del halo es menor pero el medio de cultivo está más transparente (ejemplo en la imagen 3 y 4).

Conclusión

Mediante la identificación y análisis se comprobó la presencia en el Valle de Toluca de géneros fúngicos que se han descrito con potencial alérgeno y representan un riesgo a la salud humana, en ambos sitios hay muchas similitudes con respecto a los géneros alérgenos pues en ambos *Penicillium* y *Aspergillus* son los más abundantes, entre los géneros que comparten en común también se encuentran *Scopulariopsis* y *Eurotium*. De todas las morfologías coloniales es importante resaltar a *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Scopulariopsis* y *Eurotium* por ser descritos con potencial alérgeno y su alta actividad enzimática a lo largo de las 72 horas por lo que puede ser un indicador de patogenicidad y un riesgo a la salud de personas inmunodeprimidas que viven en la zona.

La contaminación aérea es un gran problema en la vida de las personas en países desarrollados y subdesarrollados sobre todo en las grandes zonas metropolitanas como lo es el Valle de Toluca, por lo cual se debe dar gran importancia a mejorar la calidad del aire y seguir estudiando en mayor medida los bioaerosoles con un gran énfasis en los hongos, ya que, son muy poco estudiados en México y en el resto del planeta, pues representan un desafío a la salud humana al provocar diferentes enfermedades que pueden incluso causar la muerte de personas inmunodeprimidas.

Recomendaciones

Es importante saber que al trabajar con organismos vivos que nos pueden causar enfermedades se debe tener un gran compromiso y cuidado al trabajar con ellos para estar preparados al realizar el estudio. Por otra parte, se debe tener un orden en todo momento y es altamente recomendable planificar la forma de trabajo. Al realizar el estudio se deben considerar principalmente algunos factores a cumplir: el material de trabajo debe estar esterilizado y el lugar de trabajo siempre limpio para no contaminar las muestras con la finalidad de evitar que el estudio arroje datos falsos.

Se recomienda continuar con los análisis de los demás filtros, ya que, la toma de mediciones se realizó a lo largo de seis meses con la finalidad de conocer la biota fúngica a lo largo del tiempo y de esta manera comparar cómo varían los géneros encontrados durante los meses y así mismo observar si tienen un cambio en la actividad proteolítica para saber cuándo las personas pueden ser más susceptibles a una infección fúngica, también observando otros trabajos realizados en el laboratorio de micología de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, se podría implementar los lavados nasales a voluntarios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca para una comparativa de lo que se encuentra en el aire y en las fosas nasales de las personas.

Referencias Bibliográficas

Abarca, M., Bragulat, M., Castellá, G., Accensi, F. y Cabañes, F. (2000). Hongos productores de micotoxinas emergentes. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17(2), 63-68.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2022). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medio ambiente. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

Carnovale, S., y López Daneri, G. (2014). *Lichtheimia* sp. en un paciente inmunocomprometido. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(2), 161-162.

Castellanos-Moguel, J., Núñez-Cardona, M., Falcón-Bárceñas, T. y Díaz Godoy, R., (2013). Enemigos invisibles: hongos y partículas en la atmósfera, efectos sobre la salud. *Entretextos*, 5(14), 18-23. <https://doi.org/10.59057/iberoleon.20075316.201314509>

Centro para el Control y la Prevención de enfermedades (CDC). (2021). *Aspergilosis*. Disponible en:

<https://www.cdc.gov/fungal/diseases/aspergillosis/spanish/index.html#:~:text=La%20aspergillosis%20es%20una%20infecci%C3%B3n,sin%20que%20lleguen%20a%20enfermarse.>

Clínica Universidad de Navarra. (2022). Alergia a hongos. Disponible en: <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/enfermedades/alergia-hongos#:~:text=Los%20hongos%20son%20al%C3%A9rgenos%20de,%2C%20Aspergillus%2C%20Cladosporium%20y%20Penicillium.>

Daines, M., Zhu L., Pereira, R., Zhou, X., Bondy, C., Pryor, B., Zhou, J. Y Chen, Y. (2020). Alternaria induces airway epithelial cytokine expression independent of protease-activated receptor. *Respirology*, 25(5), 502-510. <https://doi.org/10.1111/resp.13675>

Del Castillo Ruiz, A., Vazzini Zago, V., Alcántara Castro M. y Flores V. (2015). Queratitis Causada por Paecilomyces lilacinus. Reporte de un caso. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 90(1), 28-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mexoft.2015.04.008>

Galindo-Martínez, A., Rivera-Pérez, Z., Romero-Martínez, N., Núñez-Cardona, MT., Falcón-Bárceñas, T., Díaz-Godoy, RV y Castellanos-Moguel, J. (2018). Aislamiento e identificación de hongos aerotransportados colectados en el Valle de Toluca, México. *E-BIOS*. Vol. 1 (15): 11-19.

García-Vidal, C. y Salavert Lletí, M. (2014). Inmunopatología de las micosis invasivas por hongos filamentosos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 31(4), 219-228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riam.2014.09.001>

<https://doi.org/10.7705/biomedica.6358>

IBM® SPSS Statistics (29.0.1.0.) [Software]. (2023). Recuperado de <https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics>

Instituto Nacional de Ecología (INE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2011). Guía Metodológica para la estimación de emisiones de PM_{2.5}. Gobierno Federal. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2019. Estado de la calidad del aire en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/es/articulos/estado-de-la-calidad-del-aire-en-mexico?idiom=es>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (INSST). (2022). *Alternaria* spp. Disponible: <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/alternaria-spp#:~:text=Alternaria%20es%20un%20hongo%20filamentoso,de%20forma%20alargada%20u%20ovoide>.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2021). *Aspergillus* spp. Disponible en: <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/aspergillus-spp>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2022). *Penicillium* spp. Disponible en: <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/hongos/penicillium-spp>

Instituto para la salud Geoambiental. 2022. Material particulado. Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado/>

INTERCON.INC (2022). Omni Manual In. <http://www.inteconinc.com/latam/index.php/productos?format=raw&task=download&fid=346>

Iwen, P., Schutte, S., Florescu, D., Noel-Hurst, R. y Sigler, L. (2012). Invasive *Scopulariopsis brevicaulis* infection in an immunocompromised patient and review of prior cases caused by *Scopulariopsis* and *Microascus* species. *Medical Mycology*, 50(6), 561-569. <https://doi.org/10.3109/13693786.2012.675629>

Lanternier, F., Dannaoui, E., Morizot, G., Elie, C., Garcia-Hermoso, D., Huerre, M., and French Mycosis Study Group. (2012). A global analysis of mucormycosis in France: The RetroZygo Study (2005–2007). *Clinical Infectious Diseases*, 54(1), 35-543.

López, A. A. (2016). Identificación de aislados de *Alternaria alternata* durante la primavera, verano y otoño para determinar zonas de riesgo a la salud en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). Tesis de maestría. UAM. 134 p.

Lozada, A. (2019). Relación entre la calidad del aire y los conidios del género *Cladosporium* en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México. Tesis de maestría. UAM. 151 p.

Martín Gómez, M. y Salavert Lletí, M. (2021). Mucormicosis: perspectiva de manejo actual y de futuro. *Revista Iberoamericana de Micología*, 38(2), 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2021.04.003>

Mejía-Gochéz, AG., Moreno, J., Díaz, RV. y Castellanos-Moguel, J. (2021). Actividad proteolítica de *Alternaria* spp. Obtenidos en las Zona Metropolitana del Valle de Toluca, México. *REMDIS*. Vol. 2 (13): 83-95.

Montes, A., Sánchez, I., Arroyave, J., Vásquez, L., Molina, V., de Bedouth, C., y Ruiz, A. (2011). Infección por *Paecilomyces lilacinus* y *Exophiala* spp. en un paciente con trasplante renal. *Revista de la Asociación Colombiana de Dermatología y Cirugía Dermatológica*, 19(4), 330-334.

Nordness M., Zacharisen M. y Fink J. (2003). Toxic and other non-IgE mediated effects of fungal exposures. *Current Allergy and Asthma Reports* 3, 438-446.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). El 99% de la población respira aire contaminado. Disponible en:
<https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Contaminación del aire ambiente (exterior). Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Contaminación atmosférica. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20puede,impac%20adversos%20en%20la%20salud.>

Ortoneda, M., Guarro, J., Madrid, M., Caracuel, Z., Roncero, M., Mayayo, E. y Di Pietro, A. (2004). *Fusarium oxysporum* as a multihost model for the genetic dissection of fungal virulence in plants and mammals. *Infection and immunity*, 72(3), 1760-1766. <https://doi.org/10.1128/iai.72.3.1760-1766.2004>

Páramo, F., V., (2019). Estado de la calidad del aire en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/articulos/estado-de-la-calidad-del-aire-en-mexico?idiom=es>

Pavón Moreno, M. Á., González Alonso, I., Martín de Santos, R., & García Lacarra, T., (2012). Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutrición Hospitalaria*, 27(6), 1772-1781. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6017>

Pemán, J. y Quindós, G. (2014). Aspectos actuales de las enfermedades invasivas por hongos filamentosos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 31(4), 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2014.07.003>

Pérez, M., Martínez, L., Bravo, J., Rodríguez, B., Quintero, P., y Moncada, P. (2023). Infección por *Aspergillus flavus* y *Rhizopus oryzae* complex en paciente con diabetes mellitus. *Biomédica*, 43(1), 27-36.

Pettigrew H., Selmi C., Teuber S. y Gershwin M. (2010). Mold and human health: separating the wheat from the chaff. *Clinical Reviews of Allergy and Immunology* 38, 148-155.

Peyton A. (2009). Complex interactions of pollutant and allergen exposures and their impact on people with asthma. *Pediatrics Official Journal of the American Academy of Pediatrics*. 123, 160-167.

Rendueles, B. (2015). Importancia del conocimiento de las esporas atmosféricas en zonas urbanas y su relación con la morbilidad por asma. *Salud ambiental*, 15, 49-52.

Rodriguez-Gomez, C., Ramirez-Romero, C., Cordoba, F., Raga, G. B., Salinas, E., Martínez, L. y Ladino, L. A. (2020). Characterization of culturable airborne microorganisms in the Yucatan Peninsula. *Atmospheric Environment*, 223, 117183.

Rodríguez-Grimaldo, J., González, G. y Montoya A. (2022). Fusarium: un fitopatógeno que amenaza la salud humana. *Ciencia UANL*, 25(114), 36-43. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl25.114-1>

Sánchez Espinosa, K. y Almaguer Chávez, M. (2014). Aeromicrología y Salud humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66(3), 322-337.

Sanz, A., Darlic, V., Cárcamo, I., Ñanco, C. y Yagnam, M. (2023). Onicomosis por *Scopulariopsis brevicaulis* a propósito de un caso. *Revista Médica Clínica las Condes*, 34(2), 165-168. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2023.02.004>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/particulas-suspendidas-pm10-y-pm2-5-danan-salud-y-medio-ambiente>

Sistema Estatal de Información Metropolitana (SEIM). (2010). Sistema Estatal de Información Urbana, Metropolitana y Vivienda. Disponible en: <https://plataforma.seduym.edomex.gob.mx/SIGZonasMetropolitanas/PEIM/descriptiva.do>

TCR-TECORA (2022). Echo PM. <https://www.tcr-tecora.com/product/echo-pm/>

Tiraboschi, I., Bravo, M., Fernández, N., Stecher, D., Melero, M., y Lasala, M. (2012). Mucormicosis: Una micosis emergente. *Medicina (Buenos Aires)*, 72(1), 23-27.

Valencia-Guerrero, M., Quevedo-Hidalgo, B., Franco-Correa, M., Díez-Ortega, H., Parra-Giraldo, C. y Rodríguez-Bocanegra, M. (2011). Evaluación de actividades enzimáticas de *Fusarium* spp., aislados de lesiones en humanos, animales y plantas. *Universitas Scientiarum*, 16(2), 147-159.