

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

**Identificación de hongos aerotransportados en el aire  
interior de casas habitación de la Zona  
Metropolitana del valle de Toluca estado de México**

QUE PRESENTA EL ALUMNO (A)

**Cecilia García Ibarra**

Matrícula  
2172043731

ASESOR

**Dra: Judith Castellanos-Moguel  
No. Eco. 28248**

**Laboratorio de Micología  
Ciencias biológicas y de la salud  
UAM-X**

México, D.F.

Fecha 21 de mayo de 2024

## Índice

➤ <b>Resumen</b> .....	3
➤ <b>Introducción</b> .....	3
❖ <b>Objetivos</b> .....	4
❖ <b>Objetivo General</b> .....	4
❖ <b>Objetivos Específicos</b> .....	4
➤ <b>Marco teórico</b> .....	4
❖ <b>Antecedentes</b> .....	6
➤ <b>Metodología</b> .....	7
❖ <b>Campo</b> .....	7
❖ <b>Laboratorio</b> .....	8
❖ <b>Índices estadísticos</b> .....	9
➤ <b>Resultados y discusión</b> .....	9
➤ <b>Conclusión</b> .....	17
➤ <b>Referencias bibliográficas</b> .....	18
➤ <b>Anexos</b> .....	21

## Resumen

La Microbiología del aire surgió en el siglo XIX, con Pasteur y Miquel, estos científicos diseñaron métodos para estudiar a los microorganismos aerotransportados y revelar la causa de algunas enfermedades. Se determinó como área de estudio la Zona Metropolitana del Valle de Toluca en el estado de México, las muestras fueron tomadas en dos casas habitación, donde se utilizaron filtros de Nucleopore de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.4 micrómetros (Nucleopore #WHA111137), así mismo se empleó muestreo activo con los equipos modelo OMNI BGI con un flujo de 5 l/min (INTERCON.INC 2022), y TCR TECORA de flujo de 16.7 l/min. Los filtros que se utilizaron en la recolección de muestras se manipularon como muestras biológicas, donde se lavaron, sembraron e identificaron los hongos que crecieron, se determinó la capacidad proteolítica de las especies identificadas, donde este medio contiene caseína, una proteína de la leche y gracias a esta, se observó una degradación proteolítica por parte del hongos, lo que les permite penetrar en sustratos proteicos como el cabello y la piel lo que les da el potencial de ser patógenos oportunistas. Como índices estadísticos se utiliza la clasificación de Yadav y Medelin para determinar la frecuencia del porcentaje de varias especies Para los índices de biodiversidad se utilizan los índices de Shannon Weaver, Margalef para transformar el número de especies de la muestra a una proporción y para dominancia el de Simpson. Se sembró un total de 420 cajas, en el periodo de muestreo llevado a cabo en diciembre de 2021 a mayo de 2022, se obtuvieron 851 colonias de hongos, en donde se identificaron 9 géneros diferentes de hongos y 89 levaduras, entre ellos *Penicillium sp*, *Aspergillus sp*, *Fusarium sp*, *Acremonium*, *Eurotium sp*, *Scopulariopsis sp*, *Cordyceps sp*, *Cladosporium sp*, *Rizopus sp* y levaduras. Donde los géneros identificados como patógenos potenciales fueron: *Fusarium sp*, *Acremonium sp*, *Rizopus sp*, *Aspergillus sp*, y *Scopulariopsis sp*. La zona de San Mateo Atenco fue la de mayor riqueza en cuanto a distribución, donde se obtuvieron 6 géneros fúngicos, siendo *Penicillium* el más abundante. Metepec tuvo mayor diversidad debido a que se obtuvieron más colonias de los 6 diferentes géneros fúngicos encontrados en esta zona, aunque *Penicillium* continuó siendo el más abundante. Cabe destacar la importancia de seguir realizando investigaciones centradas en la diversidad del microbiota aéreo, con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre los diferentes géneros, su comportamiento, enfermedades que pueden causar en los humanos y su función en el medio ambiente.

**Palabras clave:** microbiología, hongos, géneros, microbiota, aéreo.

## Introducción

“El aire que se respira en las principales ciudades del mundo, como México, están contaminadas tanto por procesos naturales como por las diversas actividades humanas” (Yañez et al., 2020)

La Microbiología del aire surgió en el siglo XIX, con Pasteur y Miquel, estos científicos diseñaron métodos para estudiar a los microorganismos aerotransportados y revelar la causa de algunas enfermedades. Siendo así Pasteur quien realizó primeros estudios precisos de las

bacterias y hongos del aire, perfeccionando los procedimientos empleados y demostrando la no existencia de la generación espontánea. Sin embargo, Pierre Miquel fue el investigador que más estudió los microorganismos del aire, en el observatorio de Montsouris ubicado en París, desde 1879 y durante más de 25 años, realizó múltiples ensayos creando y perfeccionando una gran diversidad de métodos, descubriendo la naturaleza y sus propiedades patógenas, así como la influencia de los factores físicos (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, etc.) y los medios de transmisión por el aire generando enfermedades contagiosas (De la Rosa y Ulloa 2002).

Actualmente el estudio del microbiota en los ambientes es de interés para los especialistas, ya que algunos microorganismos producen afectaciones a la salud de las personas (Borrego et al.,2009). Donde se contempla que la exposición a contaminantes de manera continua puede causar daños irreversibles en la salud (Yañez et al., 2020). Es por lo que la atención y el impacto de la investigación sobre el microbiota aerotransportado se han amenizado y han crecido a medida que han reformado los conocimientos. Principalmente se han centrado en las enfermedades humanas globales que han sido transmitidas por el aire, las infecciones bacterianas por ejemplo legionelosis. (Núñez et al.,2016). Esto a través de estudios aerobiológicos donde se evalúa la diversidad de las partículas biológicas aerotransportadas, así como su liberación, transporte, emisión, deposición e impacto (García et al., 2016).

### **Objetivo general.**

Identificar los hongos aerotransportados presentes en el interior de dos sitios ubicados en la zona metropolitana en el valle de Toluca, Estado de México.

### **Objetivos específicos.**

Identificar la presencia de los hongos: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Monilia* y *Curvularia*

Determinar cuál especie de hongo es la más abundante en el aire.

Determinar bibliográficamente que enfermedades están relacionadas con la presencia de los hongos aerotransportados.

### **Marco teórico.**

“El aire que se respira en las principales ciudades del mundo, como México, están contaminadas tanto por procesos naturales como por las diversas actividades humanas” (Yañez et al., 2020)

La Microbiología del aire surgió en el siglo XIX, con Pasteur y Miquel, estos científicos diseñaron métodos para estudiar a los microorganismos aerotransportados y revelar la causa de algunas enfermedades. Siendo así Pasteur quien realizó primeros estudios precisos de las bacterias y hongos del aire, perfeccionando los procedimientos empleados y demostrando la no existencia de la generación espontánea. Sin embargo, Pierre Miquel fue el investigador

que más estudió los microorganismos del aire, en el observatorio de Montsouris ubicado en París, desde 1879 y durante más de 25 años, realizó múltiples ensayos creando y perfeccionando una gran diversidad de métodos, descubriendo la naturaleza y sus propiedades patógenas, así como la influencia de los factores físicos (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, etc.) y los medios de transmisión por el aire generando enfermedades contagiosas (De la Rosa y Ulloa 2002).

Actualmente el estudio del microbiota en los ambientes es de interés para los especialistas, ya que algunos microorganismos producen afectaciones a la salud de las personas (Borrego et al., 2009). Donde se contempla que la exposición a contaminantes de manera continua puede causar daños irreversibles en la salud (Yañez et al., 2020). Es por lo que la atención y el impacto de la investigación sobre el microbiota aerotransportado se han amenizado y han crecido a medida que han reformado los conocimientos. Principalmente se han centrado en las enfermedades humanas globales que han sido transmitidas por el aire, las infecciones bacterianas por ejemplo legionelosis. (Núñez et al., 2016). Esto por medio de los estudios aerobiológicos donde se evalúa la diversidad de las partículas biológicas aerotransportadas, así como su liberación, transporte, emisión, deposición e impacto (García et al., 2016)

Es fundamental mencionar que la atmósfera no cuenta con un microbiota autóctona, sin embargo, es un medio para la dispersión de muchos tipos de microorganismos, entre ellos los hongos y las bacterias, estos son procedentes de otros ambientes, las cuales tienen una gran importancia biológica y económica (De la Rosa y Ulloa 2002). “Se dice que la atmósfera no es su hábitat, sino que simplemente les sirve para dispersarse, pero hay controversia porque algunos microorganismos pueden tener actividades metabólicas en el aire” (De la Rosa y Ulloa 2002).

Estos microorganismos son transportados rápidamente, en forma de bioaerosoles, esto a través de largas distancias gracias al movimiento del aire que representa el mejor camino de dispersión (De la Rosa y Ulloa 2002). Los transportes de bacterias en la atmósfera se relacionan con el clima y los ciclos hidrológicos globales al actuar como núcleos de formación de nubes de hielo, y afectan a los ecosistemas y a la salud pública a favor del viento (Hara y Zhang 2012). Por otra parte, algunos microorganismos, incluidos los hongos son capaces de viajar grandes distancias sin perder viabilidad (De la Rosa y Ulloa 2002). Los géneros de hongos encontrados con más frecuencia en el aire son: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Monilia* y *Curvularia* (Gil et al., 2013)

Cabe destacar que todos los microorganismos que se encuentran presentes en el aire, los hongos son el grupo más representativo. Es por ello por lo que la Aeromicología una rama de la aerobiología, se encarga de estudiar la variación temporal y espacial del contenido fúngico atmosférico, Ya hace varios años se ha creado una progresión constante en el desarrollo y crecimiento de la Aeromicología en países latinoamericanos, en los cuales destacan Argentina, Brasil y México. Considerando que la mayoría de los estudios de hongos del aire a lo largo de todo el mundo se han realizado en áreas urbanas. (Sanchez y Almaguer 2014).

## Antecedentes

En el siglo XVI fueron vistas por primera vez las esporas de los hongos, esto por un botánico napolitano, Valerius Cordus,, sin embargo fue Micheli (1679-1737) quien primero las dibujó observando las esporas de los mohos que se transmitían por el aire. Posteriormente en la década de los años cincuenta ha sido caracterizada por la aparición de una Ciencia multidisciplinar, la Aerobiología, esta se encarga de estudiar los microorganismos del aire desde todos sus aspectos: identidad, comportamiento, movimientos y supervivencia, así como sus implicaciones con otros microorganismos, el hombre, los animales y la vegetación. Donde se destacó el botánico inglés Philip Gregory, siendo uno de sus principales cultivadores que durante más de veinte años realizó múltiples investigaciones sobre la propagación de esporas de los hongos, gracias a esto varios autores se han encargado de estudiar la supervivencia de los microorganismos en los aerosoles, siendo uno de ellos los hongos como *Aspergillus*, *Pestalotia* (De la Rosa y Ulloa 2002).

Castellanos et al.,2013. Mencionan que los hongos y otros microorganismos en el aire causan diversas enfermedades como lo son alergias, asma, conjuntivitis y diversos padecimientos de la piel, donde los factores principales relacionados con la aparición de síntomas alérgicos, es la cantidad y el tipo de esporas en la atmósfera, por lo tanto si se conoce el tipo de esporas y los géneros de hongos presentes en el ambiente, podría predecirse su aumento en la atmósfera bajo condiciones meteorológicas específicas, y así se pueden establecer una estrategia preventiva apropiada para quienes padecen alergias.

Por otra parte, Adhikari et al.,2006. Nos dice que se ha prestado poca atención a las interrelaciones entre los bioaerosoles alérgicos, por lo tanto, su objetivo fue examinar las relación entre los hongos inhalables en el aire ambiente y el polen (representados por sus concentraciones totales, así como las concentraciones individuales de los géneros prevalentes) con las  $PM^{10}$ ,  $PM^{2.5}$ , como resultados obtuvieron un total de 28 géneros de hongos donde la carga fúngica en el aire durante todo el periodo de muestreo fueron del grupo *Aspergillus/Penicillium* (41,6%), *Cladosporium* (28,4%), Ascosporas (10,6%), Basidiosporas (9,8%) esporas de tizón (2,6%), *Alternaria* (1,4%), *Epicoccum* (0,7%) y esporas de roya (0,2%).

Cortes y Gómez 2014. Mencionan que el número de contaminantes presentes en el aire interior es extenso y variable, los cuales cuentan niveles de concentración bajos, estos van a variar según las condiciones atmosféricas y climatológicas, estos microorganismos son de gran importancia para la salud como, ya que como lo son virus, bacterias, tiene una distribución en el aire no es uniforme, ni en el espacio ni en el tiempo.

Sin embargo, Yáñez et al.,2020. Indican que se han demostrado que la presencia de microorganismos como bacterias y hongos presentes en el aire pueden causar patologías en plantas, animales y los humano, esto los hace responsables de enfermedades respiratorias como los son el asma, bronquitis, pulmonías, neumonías, así mismo causan infecciones cutáneas.

Lozada 2019. Identifico los géneros fúngicos encontrados en seis sitios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Donde se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días a lo largo de 11 meses, abarcando las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida, lluvias y seca-fría, observando que los conteos fúngicos dependieron de la estacionalidad y mostraron una mayor presencia en la temporada climática seca fría, reportando una diversidad fúngica alta.

## Metodología.

### Campo

Se determinó como área de estudio la Zona Metropolitana del Valle de Toluca en el estado de México, las muestras fueron tomadas en las casas habitación ubicadas en Riva Palacio No. 117, Col. Álvaro Obregón, 52105 San Mateo Atenco, Méx. Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte: 19.285353, Longitud Oeste: -99.560376.

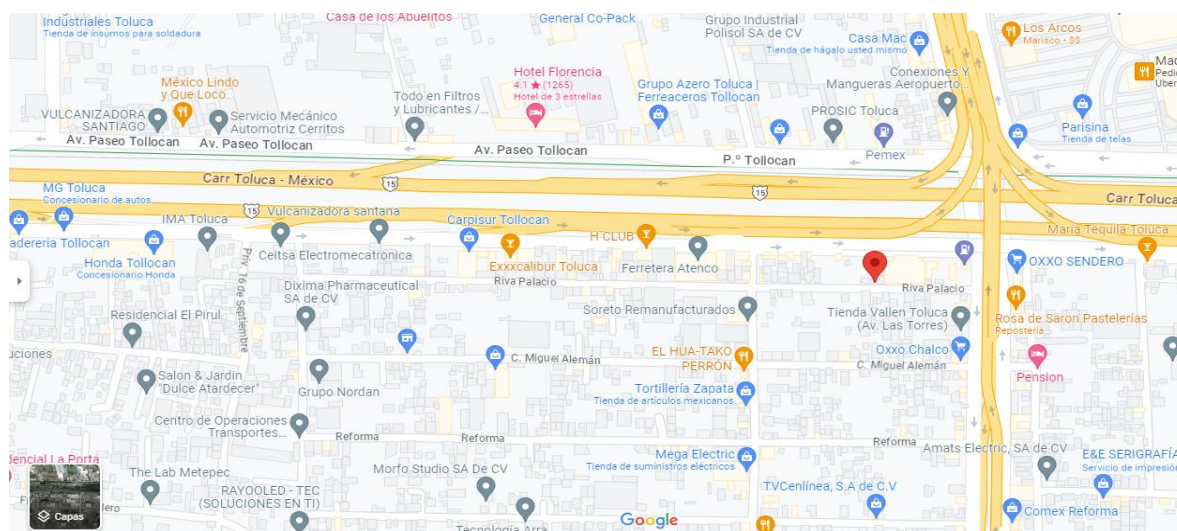


Imagen 1: mapa del sitio de muestreo en San Mateo Atenco

El sitio de muestreo en Metepec se encuentra en la dirección: Los abetos, Col. Casa Blanca, 52175, Metepec, Méx. Sus coordenadas geográficas son Latitud norte 19,28217, Longitud oeste -99.59455. al interior y exterior de estas casas habitación.

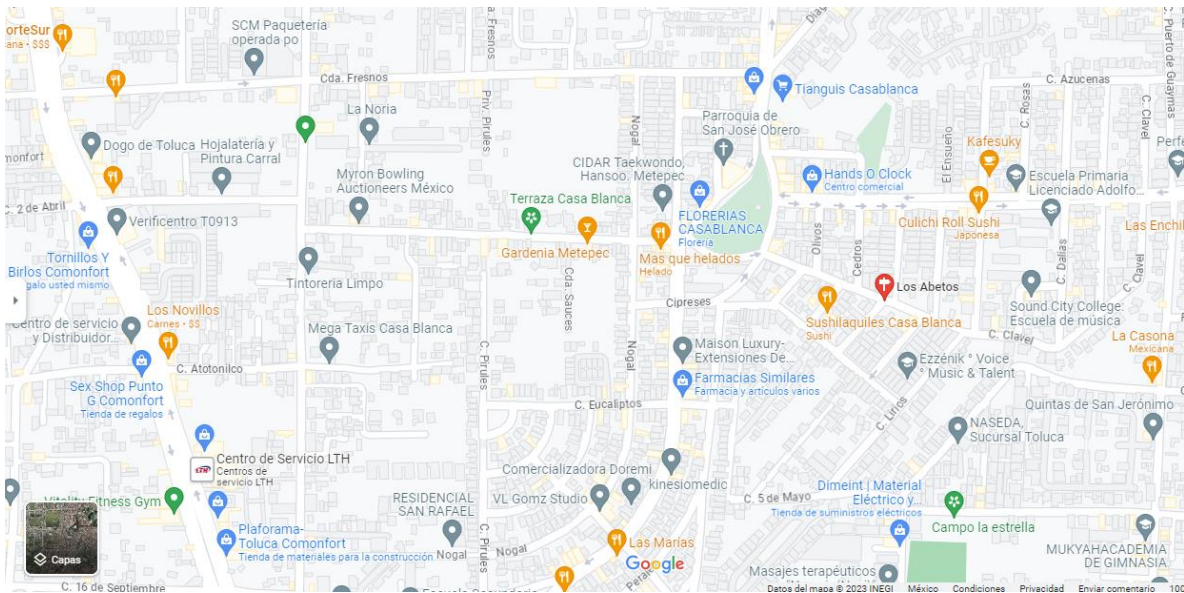


Imagen 2: mapa del sitio de muestreo en Metepec

La recolección de muestras se desarrolló en el periodo de diciembre de 2021 a mayo de 2022, en la transición de las temporadas de frías a calurosas, esto con una frecuencia de 3 días con un tiempo de 24 horas. Se utilizaron filtros de Nucleopore de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.4 micrómetros (Nucleopore #WHA111137), así mismo se empleó muestreo activo con los equipos modelo OMNI BGI con un flujo de 5 l/min (INTERCON.INC 2022), y TCR TECORA de flujo de 16.7 l/min.

## Laboratorio

Los filtros que se utilizaron en la recolección de muestras se manipularon como muestras biológicas, en condiciones estériles una parte del filtro aprox. 2 cm<sup>2</sup> es colocada en Tween 80 estéril al 0,05 %, para ser agitado en un vortex durante 1 minuto, sacando el sobrenadante y repitiendo el proceso de agitación, a esto se le llama lavado de filtro.



Imagen 3: fotos del procedimiento en laboratorio.

Posteriormente se colocó en cajas de Petri con medio SGPE (en gramos por litro: sacarosa 10; glucosa, 5; peptona, 0.5; extracto de levadura, 5; agar, 23) adicionado con Cloranfenicol, esto para aislar y preservar los hongos filamentosos cultivables (Castellanos-Moguel et al. 2007). Una vez tomada la muestra, se trasladaron las cajas de Petri a la estufa de cultivo a 28°C de 5 a 7 días). Una vez hecho esto se efectuó la cuantificación de hongos (solé y del Carmen 1999).



Una vez pasado el tiempo de incubación, se hizo directamente la observación del crecimiento de las colonias de hongos y se procedió al recuento de estas (Solé y del Carmen 1999). Al finalizar este proceso se llevaron las muestras al microscopio para poder hacer la observación e identificación de las especies de hongos aerotransportados recolectados utilizando la literatura de Barnett y Hunter (1998).

Para finalizar se determinó la capacidad proteolítica de las especies identificadas, esto a través de un medio de cultivo el cual contiene leche descremada 20g por un litro, agar, 16 g, fosfato monobásico de sodio 27.8g, fosfato dibásico de sodio 71.7g, los componentes se vierten uno por uno hasta que quede disuelto en su totalidad, posteriormente es llevado a esterilizar, para que después sea vaciado en cajas Petri, una vez frío el medio con una pipeta Pasteur se toma parte del medio dejando un hueco circular para que con esta misma se tome una parte del hongo y sea colocada en ese hueco, pasando las 24 horas se puede medir el halo que va formando el hongo, esto durante 3 días cada 24 horas, este medio contiene caseína, una proteína de la leche y gracias a esta, se observó una degradación proteolítica por parte del hongos, lo que les permite penetrar en sustratos protéicos como el cabello y la piel lo que les da el potencial de ser patógenos oportunistas.

### Índices estadísticos

Como índices estadísticos se utiliza la clasificación de Yadav y Medelin para determinar la frecuencia del porcentaje de varias especies (Esquivel et al. 2003). Para los índices de biodiversidad se utilizan los índices de Shannon Weaver, Margalef para transformar el número de especies de la muestra a una proporción y para dominancia el de Simpson (Valdez et al. 2018).

$$H' = -\sum (p_{yo} \ln p_{yo})$$

$p_i$  = nº de organismos de la especie  
 $n_i$  = nº de individuos en el sistema de la especie  $i$   
 $N$  = nº total de individuos

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N.$$

$S$  = número total de especies presentes  
 $N$  = número total de individuos.

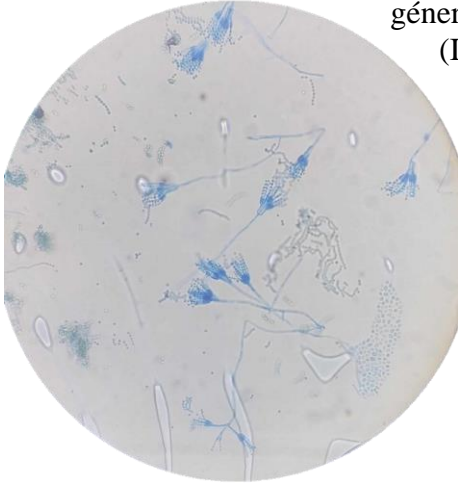
$$\lambda = \sum (p_{iyo}^2)$$

$p_i$  = la abundancia proporcional de la especie  
 $i_y$  = se obtiene mediante el número de individuos de la especie  $i$  entre el número total de individuos de la muestra.

Imagen 4: índices de Shannon Weaver, Margalef y Simpson

### Resultados y discusión:

Se sembró un total de 420 cajas, en el periodo de muestreo llevado a cabo en diciembre de 2021 a mayo de 2022, se obtuvieron 851 colonias de hongos, en donde se identificaron 9



géneros diferentes de hongos y 89 levaduras, entre ellos *Penicillium sp* (Imagen 5), *Aspergillus sp* (Imagen 6), *Fusarium sp* (Imagen 7), *Acremonium* (Imagen 8), *Eurotium sp* (Imagen 9), *Scopulariopsis sp* (Imagen 10), *Cordyceps sp* (imagen 11), *Cladosporium sp* (Imagen 12), *Rhizopus sp* (imagen 13) y levaduras (imagen 14); (tabla 1). Donde los géneros identificados como patógenos potenciales fueron *Fusarium sp*, *Acremonium sp*, *Rhizopus sp*, *Aspergillus sp*, y *Scopulariopsis sp*.

Imagen 5: *Penicillium sp*

Número	San Mateo Atenco		Metepc	
	Especie	Frecuencia	Especie	Frecuencia
1	<i>Penicillium</i>	383	<i>Penicillium</i>	169
2	<i>Aspergillus</i>	46	<i>Aspergillus</i>	76
3	<i>Fusarium</i>	1	<i>Cordyceps</i>	50
4	<i>Acremonium</i>	1	<i>Fusarium</i>	24
5	<i>Eurotium</i>	5	<i>Cladosporium</i>	1
6	<i>Scopulariopsis</i>	5	<i>Rhizopus</i>	1
7	Levaduras	42	Levaduras	47
		<b>483</b>		<b>368</b>

Tabla 1: frecuencias por género en dos sitios de la ZMVT

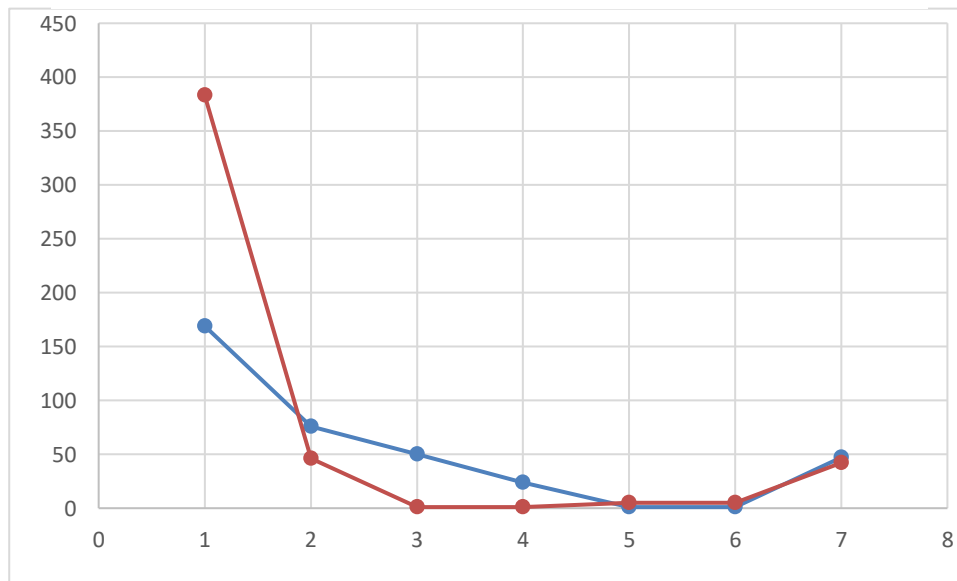


Figura 1: Comparativo de la frecuencia de aislamiento por sitios, los números indican las especies en la tabla 1

San Mateo Atenco

Metepc

Para analizar los géneros aislados se utilizó la clasificación de Yadav y Madelin (Esquivel et al, 2003) la cual muestra la frecuencia de aparición de los géneros aislados (tabla 2).

En Mateo Atenco se obtuvo un total de 441 colonias, en las cuales se encontraron los siguientes géneros, *Penicillium* con un porcentaje del 100% siendo muy común, seguido por *Aspergillus sp* con un porcentaje de 12%, *Eurotium sp* 1% y *Scopulariopsis sp* con 1.3%, mientras tanto *Fusarium* y *Acremonium* con un 0.2%, en cuanto a las levaduras con un 10.9% todos en la categoría de raros (tabla 3).

Clasificación de Yadav y Madelin		
	Categoría	Frecuencia de aparición
	Muy común	80%-100%
	Común	61%-80%
	Frecuente	41%-60%
	Ocasional	21-40%
	Raro	0.1-20%
	No encontrado	

Tabla 2: clasificación de Yadav y Madelin

En cambio, en Metepec en el muestreo llevado a cabo en el mismo periodo, se obtuvo un total de 368 colonias, en las cuales se encontraron *Penicillium sp*, *Fusarium sp*, *Aspergillus*, *Cordyceps sp*, *Cladosporium sp*, *Rhizopus sp* y levaduras. Donde de igual forma predominó el género de *Penicillium sp* con un porcentaje del 100% encontrándose en la escala de muy común, seguido por *Aspergillus sp* con el 44.9% siendo frecuente, *Cordyceps sp* con el 29.58% siendo ocasional, *Fusarium* con el 14.2%, *Cladosporium sp* y *Rhizopus sp* con el 0.5%, encontrándose en la escala de raros, y levaduras con el 27.8% en ocasional. Cabe destacar que, en esta zona, hubo un total de 6 cajas con levaduras contaron con el crecimiento de larvas blancas, pudiendo ser producto de algún huevecillo atorado entre los filtros Nucleopore (tabla 3).

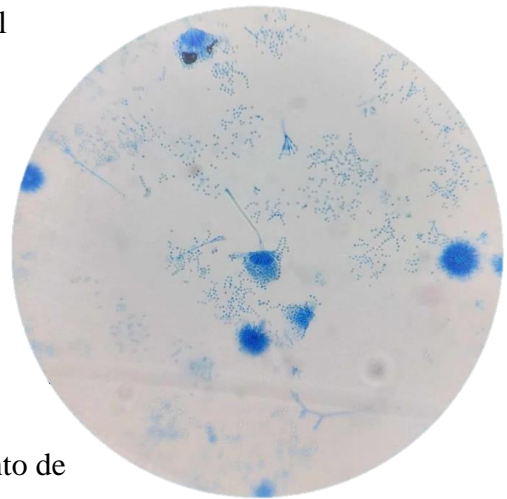


Figura 6: *Aspergillus sp*

Genero	San Mateo Atenco			Metepec		
	Numero	%		Numero	%	
<i>Penicillium</i>	383	100%		169	100%	
<i>Aspergillus</i>	46	12.01%		76	44.97%	
<i>Cordyceps</i>	0			50	29.58%	
<i>Fusarium</i>	1	0.2%		24	14.2%	

<i>Scopulariopsis</i>	5	1.3%				
<i>Cladosporium</i>	0			1	0.5%	
<i>Eurotium</i>	5	1%				
<i>Acremonium</i>	1	0.2%				
<i>Rhizopus</i>	0			1	0.5%	
<i>Levaduras</i>	42	10.9%		47	27.8%	

Tabla 3: frecuencia de Yadav y Medellin San Mateo Atenco y Metepec.



Mejía et al (2021), obtuvieron *Aspergillus sp* (24%), *Penicillium sp* (18%), *Cladosporium sp* (15%), *Fusarium sp* (9%) y *Alternaria sp* (4%), donde una de las zonas de trabajo fue San Mateo, donde coinciden la presencia de *Aspergillus sp*, *Penicillium sp* y *Fusarium sp* en distintos porcentajes.

Lozada (2019); Obtuvo en la zona de San Mateo en categoría muy común el género de *Cladosporium sp*, seguido de *Alternaria sp*, *Penicillium sp* estando en la categoría de raro.

En cuanto al índice de Shannon en esta zona se obtuvo el resultado de 0.74, ya que este número es menor a 2, indica que hay una baja diversidad en la zona de San Mateo Atenco (tabla 4).

Imagen 7: *Fusarium sp*

Especie	Frecuencia	pi (in/ml)	Ln (pi)	pi*Ln (pi)
<i>Penicillium</i>	383	0.79296066	-0.23198166	-0.18395233
<i>Aspergillus</i>	46	0.0952381	-2.35137526	-0.2239405
<i>Fusarium</i>	1	0.00207039	-6.18001665	-0.01279507
<i>Acremonium</i>	1	0.00207039	-6.18001665	-0.01279507
<i>Eurotium</i>	5	0.01035197	-4.57057874	-0.04731448
<i>Scopulariopsis</i>	5	0.01035197	-4.57057874	-0.04731448
<i>Levaduras</i>	42	0.08695652	-2.44234704	-0.212378
	<b>483</b>		<b>H</b>	<b>0.74048993</b>

Tabla 4: índice de Shannon de San Mateo Atenco.

Sin embargo, el índice de Shannon en esta zona de Metepec se obtuvo el resultado de 1.42, lo que indica que hay una baja diversidad de hongos en la zona de Metepec. A comparación de SMA, Metepec presento una mayor diversidad por *Cordyceps sp* (Tabla 5).

Especie	Frecuencia	pi	ln (pi)	pi*ln (pi)
<i>Penicillium</i>	169	0.45923913	-0.77818422	-0.35737265
<i>Aspergillus</i>	76	0.20652174	-1.5773496	-0.32575698
<i>Cordyceps</i>	50	0.13586957	-1.99605993	-0.2712038
<i>Fusarium</i>	24	0.06521739	-2.73002911	-0.17804538
<i>Cladosporium</i>	1	0.00271739	-5.90808294	-0.01605457
<i>Rhizopus</i>	1	0.00271739	-5.90808294	-0.01605457
Levaduras	47	0.12771739	-2.05793534	-0.26283413
	368			1.42732208

Tabla 5: índice de Shannon en Metepec.

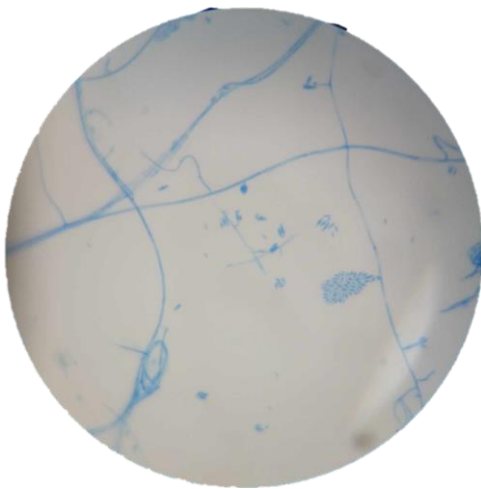


Figura 8: *Acremonium sp*

En el resultado obtenido en el índice de Margalef, nos dice que ambas zonas cuentan con un índice de baja biodiversidad, ya que San Mateo Atenco se obtuvo el valor de 0.97 y Metepec 1.01, valores por debajo de 5 (tabla 6), coincidiendo así con el índice de Shannon, siendo así Metepec la zona con mayor diversidad.

Zona	Numero total de especies	Numero de total de la frecuencia de especies	D=s-1/Ln(N)
San Mateo Atenco	7	483	0.97
Metepec	7	368	1.01

Tabla 6: Índice de Margalef de las zonas de Metepec y San Mateo Atenco.

En cuanto a dominancia de especies San Mateo Atenco tuvo un resultado de 0.64, mientras que Metepec tuvo 0.29.

El índice de Simpson nos dice que cuanto más se acerque a 1 más diversa es la comunidad, en este caso obtuvimos que San Mateo Atenco fue la zona que obtuvo mayor dominancia y riqueza (tabla 7).

ZONA	$\lambda = \Sigma( \text{pags } y_o )$
San Mateo Atenco	0.64
Metepec	0.29

Tabla 7: resultados del índice de Simpson en San Mateo Atenco y Metepec

En la actividad enzimática, realizada en las muestras de hongos examinados, hubo presencia de un halo proteico a las 24 horas después de la siembra, por lo tanto, significa que estos hongos son patógenos potenciales, por lo tanto, pueden ingresar al cuerpo



humano siempre y cuando las condiciones ambientales y si la persona se encuentra inmunodeprimida. El tamaño de los halos es mayor a 0.05cm para todos los hongos, inclusive hubo hongos como *Rhizopus sp*, *Cordyceps sp* y *Fusarium sp*, donde ya no se pudieron medir (Np), ya que el hongo creció exponencialmente en el medio de cultivo de proteasas (tabla 8).

Imagen 9: *Eurotium sp*

Actividad Enzimática de los hongos del aire encontrados en dos casas habitación			
<i>Penicillium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	1cm	1cm	5mm
Aislado 2	5mm	5mm	1cm
Aislado 3	5mm	5mm	1cm
<i>Eurotium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	6mm	7mm	5mm
Aislado 2	7mm	5mm	5mm
Aislado 3	5mm	5mm	8mm
<i>Aspergillus</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	Np	Np	Np
Aislado 2	1cm	1cm	Np
Aislado 3	Np	Np	Np
<i>Fusarium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	7mm	7mm	1cm
Aislado 2	8mm	8mm	7mm
Aislado 3	8mm	8mm	7mm
<i>Acremonium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	8mm	8mm	1.2cm
Aislado 2	1.2cm	1.4cm	1.5cm
Aislado 3	2cm	2.5cm	2.4cm
<i>Scopulariopsis</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	5mm	7mm	7mm
Aislado 2	8mm	6mm	9mm
Aislado 3	5mm	6mm	8mm
<i>Cordyceps</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	5mm	7mm	1cm
Aislado 2	5mm	4mm	4mm
Aislado 3	5mm	5mm	5mm
<i>Fusarium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	1.7cm	1.3cm	1.4cm
Aislado 2	1cm	1.2cm	1.2cm
Aislado 3	1.2cm	1.4cm	1.3cm
<i>Cladosporium</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	6mm	6mm	1cm
Aislado 2	1.2cm	1cm	1.2cm



Aislado 3	5mm	5mm	1cm
<i>Rhizopus</i>	Día 1	Día 2	Día 3
Aislado 1	5mm	5mm	Np
Aislado 2	3cm	4cm	Np
Aislado 3	5mm	5mm	5mm

Tabla 8 Actividad enzimática de los hongos aerotransportados encontrados en dos casas habitación en la ZMVT  
Mm= milímetro cm= centímetros Np= No se puede medir

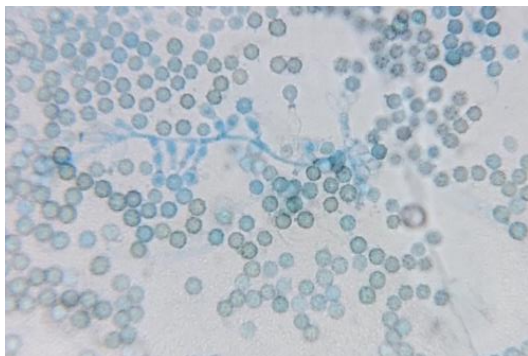


Imagen 10: *Scopulariopsis sp*

De acuerdo con Fernández y colaboradores (2013). La calidad ambiental la definen como la armonía de factores térmicos, acústicos, luminosos y del aire que se respira, que no presenta peligro para la salud y resulta fresco y agradable. El aire interior de una casa habitación no debe contener contaminantes en concentraciones superiores que puedan afectar a la salud o causar malestar a sus habitantes, ya que estos se han relacionado con múltiples enfermedades respiratorias entre ellas Asma, rinitis,

entre otras. De los hongos encontrados los causantes de enfermedades respiratorias son: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Rhizopus*, *Cladosporium*. Consultando la bibliografía de Chiapero (1996), Lozada (2019), Pemán y Salavert (2014), Tsuji y colaboradores (2011), Flores (2023), donde se describen las enfermedades causadas por los hongos entomopatógenos del aire, en la tabla 9 se muestran las enfermedades causadas por los hongos encontrados en las dos casas habitación de la ZMTVT, cabe destacar que las enfermedades que se mencionan, son de manera general, ya que se necesita un estudio molecular de los hongos para saber la especie exacta de estos para saber que enfermedades específicas causan y que tan mortales pueden llegar a ser en los humanos.

Hongo	Enfermedades
<i>Aspergillus</i>	Asma, aspergilosis sinusal alérgica, aspergilosis broncopulmonar, neumonía, rinosinusitis fúngica alérgica, micosis broncopulmonar alérgica
<i>Penicillium</i>	Penicilosis, asma, rinitis, lesiones, granulomas pulmonares, infecciones diseminadas, queratitis micótica, otomicosis, rinosinusitis fúngica alérgica, micosis broncopulmonar alérgica
<i>Fusarium</i>	Alergias respiratorias, fusariosis y neumonia
<i>Cladosporium</i>	Asma, rinosinusitis fúngica alérgica, micosis broncopulmonar alérgica.
<i>Rhizopus</i>	Micosis broncopulmonar, sinusitis fúngica invasiva, mucormicosis pulmonar.

Tabla 9: hongos encontrados al interior de casa habitación de la ZMTV y las enfermedades que causan.

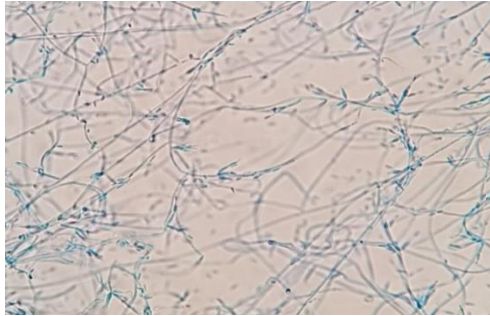


Imagen 11: *Cordyceps sp*

Valle y colaboradores (2010) nos dicen que “el *Aspergillus sp* puede causar varias enfermedades como son el aspergiloma, la aspergilosis broncopulmonar alérgica o la aspergilosis pulmonar invasiva” enfermedades mostradas en la tabla 9, cabe destacar que estas enfermedades tienen una alta tasa de mortalidad, Valle y colaboradores (2010) muestran un resultado de entre 91% y 95%<sup>2,3</sup>. Garnacho y colaboradores (2005) también mencionan que *Aspergillus sp*. Causan una amplia serie de enfermedades en personas con

inmunodepresión, estas pueden abarcar la colonización saprofita del árbol bronquial, inclusive enfermedades que llegan a ser rápidamente invasivas y diseminadas. así mismo expresan en sus resultados que las enfermedades causadas por *Aspergillus sp*, arroja una tasa de mortalidad hospitalaria del 80%, especialmente por una aspergilosis invasiva causando neumonía en las personas.

Las especies del género *Penicillium*, generan reacciones alérgicas, como asma y rinitis; lesiones granulomatosas pulmonares, así como infecciones diseminadas, casi siempre mortales, Cardoza y Araque (2015); también dicen que en individuos sanos se reportan más casos de esta patología por *Penicillium* que por *Aspergillus*, de manera opuesta a las personas inmunodeprimidas, donde el porcentaje es mayor por *Aspergillus* que por *Penicillium*, sin embargo Flores (2023) dice que *Penicillium*, eventualmente llega a inducir casos de infección en humanos, a esto se le conoce como peniciliosis y se llega a infectar a personas inmunodeprimidas, siendo uno de los alérgenos más prevalentes a nivel mundial.

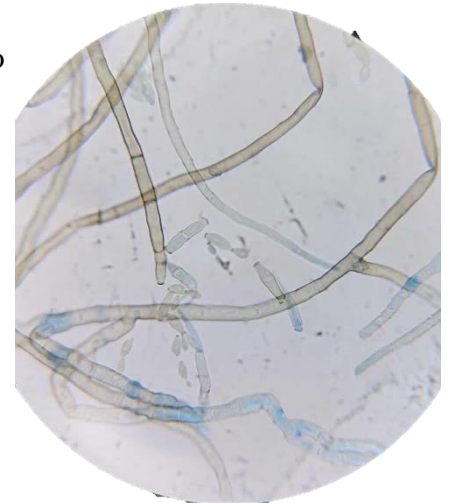


Imagen 12: *Cladosporium sp*

Como ya se mencionó antes las micosis invasivas causadas por hongos filamentosos más frecuentes son la infección causada por *Aspergillus*, seguida de las infecciones causadas por el hongo del género *Fusarium*, esto de acuerdo con lobatón y colaboradores (2016), donde también resaltan que los hongos del género *Fusarium* llegan a infectar a través de la inhalación de micropartículas provenientes del ambiente contaminado, donde el diagnóstico médico indica la inclusión de fiebre, lesiones cutáneas e infección de senos paranasales y pulmonar. Moreno y Saavedra (2008) resaltan que las fusariosis pulmonares tienen un 70%-80% de tasa de mortalidad, igualmente en personas que tienen inmunodepresión.





Imagen 13: *Rhizopus sp*

Chávez y colaboradores (2014) mencionan que los conidios del género *Cladosporium* llegan a penetrar a diferentes niveles del sistema respiratorio, esto a sus dimensiones y a su predominio en la atmósfera, causando lesiones neurotrópicas, siendo así este hongo el agente causal del asma (Torras et al 1976).

El género *Rhizopus*, es uno de los que más afecta la salud del hombre, causando cuadros de alergias respiratorias, en personas inmunodeprimidas (Canales et al 2009), siendo también un agente etiológico causante de micosis broncopulmonar alérgica, Flores (2023) define esta enfermedad como: una infección inflamatoria generada por antígenos micóticos que producen colonias en el árbol traqueobronquial. Otra de las enfermedades causadas por este hongo es la sinusitis fúngica, que aparece en pacientes inmunodeprimidos, esta afecta las estructuras no contiguas como son: pulmones, vísceras y cerebro, presentando una mortalidad muy elevada (Perea et al 1997).

## Conclusión

Se aislaron hongos del aire al interior de dos casas habitación en la zona metropolitana del valle de Toluca, con potencial alérgico y patógeno, los cuales se encontraron los géneros de *Penicillium sp*, *Aspergillus sp*, *Fusarium sp*, *Cordyceps sp*, entre otras. Los géneros que se esperaba encontrar como *Alternaria*, *Epicoccum*, *Monilia* y *Curvularia*; No fueron encontrados en ningún sitio, esto debido a que el hongo no pasó por el filtro o a que existe una buena higiene dentro de las casas habitación.

La zona de San Mateo Atenco fue la de mayor riqueza en cuanto a distribución, donde se obtuvieron 6 géneros fúngicos, siendo *Penicillium* el más abundante. Metepec tuvo mayor diversidad debido a que se obtuvieron más colonias de los 6 diferentes géneros fúngicos encontrados en esta zona, aunque *Penicillium* continuó siendo el más abundante.

Cabe destacar la importancia de seguir realizando investigaciones centradas en la diversidad del microbiota aéreo, con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre los diferentes géneros, su comportamiento, enfermedades que pueden causar en los humanos y su función en el medio ambiente, así mismo hacer el estudio molecular de los hongos, para tener la certeza de que especie en específico se trata y poder profundizar más en las enfermedades que pueden causar.

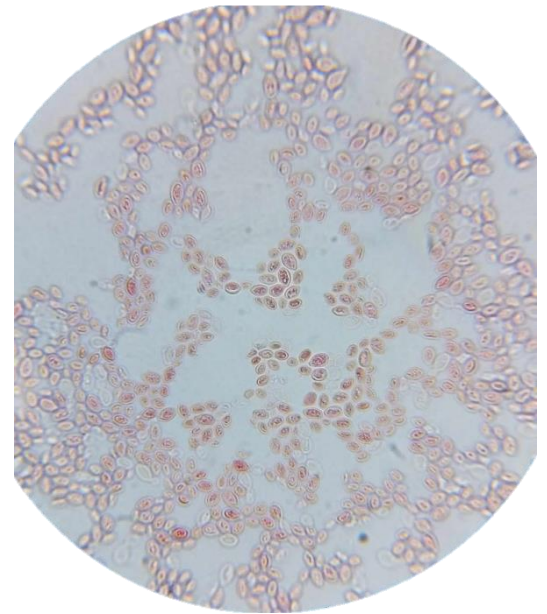


Imagen 14: levaduras

## Referencias Bibliográficas.

- Adhikari, A., T. Reponen, S. A. Grinshpun, D. Martuzevicius, y G. LeMasters. (2006). "Correlation of ambient inhalable bioaerosols with particulate matter and ozone: A two-year study" en *Environmental Pollution*. núm 140, pp. 16-28.
- Atlas, R., y Bartha, R. (2002): *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. Ed. Pearson Educación, Madrid.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi 4th (fourth) Edition*. Amer Phytopathological Society. 240p.
- Borrego, S., Perdomo, I., Guiamet, P., y Gómez de Saravia, S. G. (2009). Estudio de la concentración microbiana en el aire de depósitos del Archivo Nacional de Cuba. *Augmdomus*, 1.
- Cardozo Becerra, R. Y., & Araque Muñoz, L. G. (2015). Caracterización de bioaerosoles en tres edificaciones administrativas de Bogotá, 2012-2013. *Ciencia en Desarrollo*, 6(1), 41-54.
- Canales, D. A. M., Gaxiola, C. C. O., Mirabal, E. S. P., García, J. R., & Becerra, J. L. T. (2009). Mucormicosis pulmonar. Presentación de un caso. *Neumología y Cirugía de Tórax*, 68(2), 78-81.
- Castellanos-Moguel J, González-Barajas M, Mier T, Reyes-Montes M.R, Aranda E†, y Toriello C. (2007). Virulence testing yextracellular subtilisin-like (Pr1) ytrypsin-like (Pr2) activity during propagule production of *Paecilomyces fumosoroseus* isolates from whiteflies (Homoptera:Aleyrodidae). *Revista Iberoamericana de Micología* 24: 62-68.
- Castellanos-Moguel, J., Núñez-Cardona, M. T., Falcón-Bárcenas, T., y Godoy, R. V. D. (2013). Enemigos invisibles: Hongos y partículas en la atmósfera, efectos sobre la salud. *Entretextos*, (14).
- Chávez, M. A., Espinosa, K. C. S., & Flores, T. I. R. (2014). El género *Cladosporium* en la atmósfera del Occidente de Cuba: pasado, presente y futuro. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 3(3).
- Chiappero, M. E., Sánchez de González, L., & Avendaño, G. (1996). Variación anual de la microflora en la ciudad de San Juan y en hogares de pacientes con patología respiratoria IgE dependiente. *Arch. argent. alerg. inmunol. clín.*, 62-7.
- Cortés, M. E. T., y Gómez, R. J. S. (2014). Desarrollo sustentable y calidad del aire. *Desarrollo sustentable y finanzas*, 106.
- Esquivel, P., Mangiaterra, M., Giusiano, G., y Sosa, M. A. (2003). Microhongos anemófilos en ambientes abiertos de dos ciudades del nordeste argentino. *Boletín Micológico*, 18.

Flores, D. M. A. (2023). Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO).

Garnacho-Montero, J., Amaya-Villar, R., Ortiz-Leyba, C., León, C., Álvarez-Lerma, F., Nolla-Salas, J., ... & Barcenilla, F. (2005). Isolation of *Aspergillus* sp. from the respiratory tract in critically ill patients: risk factors, clinical presentation and outcome. *Critical Care*, 9, 1-9.

Mejía-Gochéz, A., Moreno Alcántara, J., Díaz Godoy, R., y Castellanos Moguel, J. (2021). Actividad proteolítica de *Alternaria* sp. obtenidos en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, México. *Revista mexicana de industria y salud*, 2(13), 83-95.

Rosa, M. M., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio medioambiental*, 5(2002), 375-402.

Moreno, N., Saavedra-Rodríguez, A., Sánchez-Morales, É. A., & García-Herreros, P. (2008). Fusariosis como nódulo pulmonar solitario. *Revista de la Facultad de Medicina*, 56(3), 257-261.

Galindo-Martínez, Rivera-Pérez, Romero-Martínez, Núñez-Cardona, Falcón-Bárceñas Díaz-Godoy, Castellanos-Moguel. (2018). Aislamiento e identificación de hongos aerotransportados colectados en el Valle de Toluca, México. *Revista digital E-bios*, 11-19.

García-Mena, J., Murugesan, S., Pérez-Muñoz, A. A., García-Espitia, M., Maya, O., Jacinto-Montiel, M., ... y Núñez-Cardona, M. T. (2016). Airborne bacterial diversity from the low atmosphere of greater Mexico City. *Microbial ecology*, 72(1), 70-84.

Gil, J. E. R., Monterrubio, R. L. F., y Martínez, A. C. (2013). Hongos del aire de una zona suburbana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. *Kuxulkab'*, 19(37).

Hara, K., y Zhang, D. (2012). Bacterial abundance and viability in long-range transported dust. *Atmospheric Environment*, 47, 20-25.

Lidwell, O. M. (1990): The microbiology of air. En: Linton, A. and Dick, H. M. (ed). Topley and Wilson's. Principles of bacteriology, virology and immunity, I. 8.a Edic. Ed. Edward Arnold, London.

Lobatón-Ramírez, J., Coronado-Negrete, A., Ramírez-Barranco, R., Rocha-Reyes, E., Pinto-Angarita, J. C., & Borré-Naranjo, D. (2016). Fusariosis diseminada por *Fusarium verticillioides* en un paciente con leucemia mieloide aguda. *Revista Ciencias Biomédicas*, 7(2), 316-322.

Lozada Canudas, 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 (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco).

Núñez, A., Amo de Paz, G., Rastrojo, A., García, AM, Alcamí, A., Gutiérrez-Bustillo, AM, y Moreno, DA (2016). Monitoreo de partículas biológicas en el aire en la atmósfera exterior. Parte 1: Importancia, variabilidad y ratios.

- Pemán, J., & Salavert, M. (2014). Enfermedad fúngica invasora por *Scedosporium*, *Fusarium* y *Mucor*. *Revista iberoamericana de micología*, 31(4), 242-248.
- Potts, M. (1994): Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiological Reviews*, 58, 755:805.
- Perea, S., del Palacio, A., Gil, R., de la Serna, J., Mata, R., y Arribi, A. (1997). Sinusitis maxilar invasiva por *Rhizopus oryzae*.
- Sánchez Espinosa, K. C., y Almaguer Chávez, M. (2014). Aeromicología y salud humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66(3), 322-337.
- Solé, M. D. C. M., y del Carmen, M. (1999). NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire.
- Torras, M. D. L. Á. C., Artigas, J. G., & Fernández, G. S. (1976). Los hongos como agentes etiológicos de alergias y enfermedades pulmonares: su incidencia en Barcelona. In *Anales de medicina y cirugía* (pp. 329-340).
- Tsuji, Ó. V., Rivera, T. C., & Fonseca, J. E. O. (2011). Micosis en vías respiratorias en niños. *Revista de Enfermedades Infecciosas en Pediatría*, 24(95), 88-89.
- Underwood, E. (1992): Ecology of microorganisms as it affects the pharmaceutical industry. En: Hugo, W. B. and Russell, A. D. (ed). *Pharmaceutical microbiology*. 5.a Edic. Ed. Blackwell Scientific Publication, London.
- Valdez, C. G., Guzmán, M. A., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M. A., y Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674-1682.
- VALLE, J., González-Barcala, F. J., ÁLVAREZ-DOBAÑO, J. O. S. É., y Valdés, L. (2010). La aspergilosis pulmonar invasiva en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Revista médica de Chile*, 138(5), 612-620.
- Yáñez Arellano, L.-Z., Núñez Cardona, M.-T., Chula Quinto, C., y Díaz Godoy, R.-V. (2020). Producción de gelatinasas (proteasas) por bacterias aerotransportadas. *Miscelánea Científica en México Centro De Investigaciones En Óptica, A. C.*, 1(Biología y Química), 144–149.



El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
y el Sindicato Único de Trabajadores de la Industria Nuclear

otorgan la presente

# CONSTANCIA

a:

Judith Castellanos, Raúl V. Díaz, Cecilia García  
y Fernando Torres

Por la presentación del trabajo:

Identificación de hongos aerotransportados en el aire interior de casas  
habitación de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México

**32** Congreso  
Técnico Científico  
**ININ-SUTIN**

17-19 abril, 2024

Ocoyoacac, Estado de México, abril de 2024.



  
Dr. Javier C. Palacios Hernández  
Director General del ININ

  
Lic. Ricardo Flores Bello  
Secretario General del SUTIN

Visto bueno del asesor



---

Judith Castellanos Moguel  
No. Eco. 28248