



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

---

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA APLICADA

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

**"Relación entre la calidad del aire y los conidios  
del género *Cladosporium* en la Zona  
Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de  
México"**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN ECOLOGÍA APLICADA  
PRESENTA

**Biol. Antonio Lozada Canudas**

Matrícula: 2172800629

COMITÉ TUTORAL

**Dra. María Judith Castellanos  
Moguel**

Directora

**Dr. Raúl Venancio Díaz Godoy**

Codirector

**Dra. Martha Patricia Sierra Vargas**

Asesora

## Agradecimientos

“Lograr aquello que has soñado te hace feliz, pero sobre todo, te hace feliz recordar el esfuerzo empleado para lograrlo”. Rafael Nadal después de su ganar su grand slam 19.

A mi familia porque aún en los momentos más oscuros sé que cuento con ellos...

A mi mamá por alentarme, apoyarme en todas las traspasadas y ser ese pilar incondicional que me ayudó a no claudicar y me guió para llegar a la meta.

A mi papá por sus constantes palabras de aliento, su apoyo incondicional, sus enseñanzas y su inmensa ayuda.

A mi hermana por ser mi mejor amiga, mi ejemplo a seguir y una de las personas más increíbles del universo con un corazón enorme y las palabras más sabias que tuve. A mi cuñado por ser ese hermano que siempre quise, que me regañó pero me orientó en toda ocasión posible; además de ser junto con mi hermana, parte fundamental del “tripod”; y a Suri, por su compañía y ladridos de apoyo constante.

A la Dra. Judith, por abrirme las puertas del laboratorio y a la micología; así como enseñarme tanto, no solo en lo académico y ayudarme a enamorarme de mi carrera siendo una Gran Maestra. Al Dr. Raúl y a la Dra. Sierra, no solo por aceptarme en el proyecto y asesorarme aún sin conocerme; gracias por todo el apoyo y recibirme en sus laboratorios. Al Dr. Jaime Moreno por su importante participación en el proyecto y al Dr. Gamaliel, por sus jalones de orejas que siempre iban acompañados de una amable invitación a solucionarlo.

A mis amigos/familia: Enrique por tus palabras, Verónica por tu apoyo incondicional, Fer Ascobereta por tu amistad, Jenny por que la maestría me dejó una de las mejores amigas que pude pedir, Arturo por guiarme y enseñarme tanto, G. Jensen por siempre echarme porras y estar presente, Vanessa por los jalones de orejas, Fernanda F. por las revisiones, Gordoman por enseñarme que “Bios=vida, Logos=estudio”, Marco del ININ por su amistad y apoyo, a Fany por su increíble talento como diseñadora y tantos más por la paciencia cuando me “desaparecí”. A mis compañeros generación de la maestría Jenny, Augusto, Ezel, Sarah, Esbeida y Lupe, por que sufrimos y disfrutamos esos 2 años.

A los profesores que conforman esta maestría, por compartirme cada uno su gran conocimiento y sus grandes personas: Dr. Luis Ayala, Dr. Facundo Rivera, Dra. Carmen Monroy, Dra. Patricia Castilla, Dra. Aida Malpica, Dra. Guadalupe Figueroa, Dr. Jorge Castro, Mto. Germán Castro, Dr. Roberto Ángeles y Dra. Leonor Téllez. Un agradecimiento especial al M. en C. Alfonso Esquivel, no solo por las clases en el módulo, también las innumerables horas de asesorías y apoyo extra clase que me brindó siempre con una sonrisa. También a la Dra. Ma. Elena Castellanos, Dra. Gabriela Garza, Dra. Marcela Benítez, Dra. Paty Castilla y Dra. Estela Méndez por creer en mí y brindarme su apoyo con las cartas de recomendación.

A todos los que participaron en la realización de este proyecto, personal del ININ: Marco, Alejandro, Daniel, Laura, Arturo; personal de la RAMAT: Rodrigo y Luis; Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado por el “Fondo Sectorial de Investigación para la Educación”, CB-2015-01-256751.

El jurado asignado por la Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana aprobó la Idónea Comunicación de Resultados titulada:

**Relación entre la calidad del aire y los conidios del genero *Cladosporium* en la zona metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México**

Que presentó y defendió en examen público:

**Biol. Antonio Lozada Canudas**

El día 13 de diciembre de 2019 en la Ciudad de México para obtener el Grado de Maestro en Ecología Aplicada

**JURADO DE EXAMEN**

Presidenta

Dra. Martha Patricia Sierra Vargas

Secretario

Dr. Jaime Moreno Alcántara

Vocal

M. en C. Alfonso Esquivel Herrera

# INDICE

## CAPITULO I

### PRESENCIA DE PROPÁGULOS FÚNGICOS EN LA ATMÓSFERA DE SEIS SITIOS DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA.

	1
1.1. RESUMEN	2
1.2. ABSTRACT	3
1.3. INTRODUCCIÓN	4
1.4. REVISION BIBLIOGRÁFICA	5
1.4.1. <i>Material particulado en el aire</i>	6
1.4.2. <i>Partículas de origen químico</i>	7
1.4.3. <i>Partículas de origen biológico</i>	7
1.4.4. <i>Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT</i>	8
1.5. BIOAEROSOLES	11
1.5.1. <i>Hongos como agente causal de enfermedades</i>	11
1.6. PARTÍCULAS FÚNGICAS EN EL AIRE	12
1.6.1. <i>Estudios a nivel mundial</i>	12
1.6.2. <i>Partículas fúngicas aerotransportadas en México</i>	13
1.6.3. <i>Presencia de propágulos fúngicos en la ZMVT</i>	14
1.7. OBJETIVOS	16
1.7.1. <i>General</i>	16
1.7.2. <i>Particulares</i>	16
1.8. MATERIAL Y METODOS	17
1.8.1. <i>Zona Metropolitana del Valle de Toluca</i>	17
1.8.2. <i>San Mateo Atenco, Estado de México</i>	18
1.8.3. <i>Ceboruco, Ampliación Lázaro Cárdenas, Estado de México</i>	19
1.8.4. <i>San Cristóbal Huichochitlán, Estado de México</i>	20
1.8.5. <i>Nueva Oxtotitlán, Estado de México</i>	21
1.8.6. <i>San Lorenzo Tepaltitlán, Estado de México</i>	22
1.8.7. <i>San Miguel Zinacantepec, Estado de México</i>	23
1.8.8. <i>Propágulos fúngicos suspendidos en el aire</i>	24
1.8.8.1. <i>Obtención de UFC</i>	24
1.8.8.2. <i>Identificación y cuantificación</i>	24
1.8.8.3. <i>Criterio de Yadav y Madelin</i>	25
1.8.9. <i>Índices de diversidad y similitud</i>	25
1.8.9.1. <i>Índice de Simpson</i>	25
1.8.9.2. <i>Índice de Shannon</i>	26
1.8.9.3. <i>Índice de Jaccard</i>	26
1.9. RESULTADOS	27
1.9.1. <i>UFC registrados</i>	27
1.9.1.1. <i>Conteos totales de UFC y otras estructuras</i>	27
1.9.1.2. <i>Conteos de UFC por sitios</i>	28
1.9.2. <i>Criterio de Yadav y Madelin</i>	28
1.9.2.1. <i>Clasificación de UFC utilizando el criterio de Yadav y Madelin</i>	29

1.9.3.	<i>Estacionalidad de las UFC</i>	30
1.9.3.1.	Estacionalidad de las UFC durante el muestreo	30
1.9.3.2.	Estacionalidad de las UFC por sitios de muestreo	31
1.9.4.	<i>Análisis estadístico</i>	31
1.9.4.1.	Índice de Shannon	31
1.9.4.2.	Índice de Simpson	31
1.9.4.3.	Índice de Jaccard	32
1.10.	DISCUSIÓN	33
1.11.	CONCLUSIONES	37
1.12.	LITERATURA CITADA	38

**CAPITULO II**  
**COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DEL GÉNERO CLADOSPORIUM EN TRES**  
**TEMPORADAS CLIMÁTICAS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA.**

		42
2.1	RESUMEN	43
2.2.	ABSTRACT	44
2.3.	INTRODUCCIÓN	45
2.4.	REVISION BIBLIOGRÁFICA	46
2.4.1.	<i>Cladosporium como agente causal de enfermedades</i>	46
2.4.1.1.	Morfología y Ecología de <i>Alternaria</i> spp.	46
2.4.1.2.	Taxonomía	48
2.4.2.	<i>Importancia de propágulos fúngicos en el aire</i>	48
2.4.3.	<i>Parámetros ambientales</i>	49
2.4.3.1.	Humedad relativa	49
2.4.3.2.	Temperatura	50
2.4.3.3.	Radiación UV	50
2.4.3.4.	Dinámica de Vientos	51
2.5.	OBJETIVOS	53
2.5.1.	<i>General</i>	53
2.5.2.	<i>Particulares</i>	53
2.6.	MATERIAL Y METODOS	54
2.6.1.	<i>Propágulos fúngicos suspendidos en el aire</i>	54
2.6.2.	<i>Obtención de UFC</i>	54
2.6.3.	<i>Identificación y cuantificación</i>	54
2.6.4.	<i>Análisis estadístico</i>	54
2.6.4.1.	Coeficiente de correlación de Spearman	55
2.6.4.2.	Análisis de componentes principales	55
2.6.4.3.	Análisis de variabilidad	55
2.7.	RESULTADOS	56
2.7.1.	<i>Estacionalidad de las UFC</i>	56
2.7.1.1.	Estacionalidad de las UFC del género <i>Cladosporium</i>	56
2.7.1.2.	Variabilidad de las UFC del género <i>Cladosporium</i>	57
2.7.2.	<i>Conteos del género Cladosporium por sitio</i>	57
2.7.2.1.	Conteo de las UFC del género <i>Cladosporium</i> en los seis sitios de	

colecta	58
2.7.3. <i>Relación con parámetros ambientales</i>	59
2.7.3.1. Humedad relativa	61
2.7.3.2. Radiación - rayos UV	61
2.7.3.3. Temperatura	62
2.7.3.4. Velocidad del Viento	63
2.8. DISCUSIÓN	65
2.9. CONCLUSIONES	71
2.10. LITERATURA CITADA	72
<b>CAPITULO III</b>	
<b>ANÁLISIS DE RIESGO A LA SALUD ASOCIADO CON LA EXPOSICIÓN DE CONTAMINANTES QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN SEIS SITIOS DE LA ZMVT</b>	76
3.1. RESUMEN	77
3.2. ABSTRACT	78
3.3. INTRODUCCIÓN	79
3.4. REVISION BIBLIOGRÁFICA	80
3.4.1. <i>Material particulado atmosférico (MPA)</i>	80
3.4.2. <i>Material Particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub></i>	81
3.4.3. <i>Contaminantes criterio</i>	82
3.4.4. <i>Índice de Calidad del Aire (ICA)</i>	83
3.4.5. <i>Reactividad a propágulos fúngicos aerotransportados</i>	84
3.4.6. <i>Cladosporium</i>	84
3.4.7. <i>Penicillium</i>	85
3.4.8. <i>Aspergillus</i>	86
3.5. OBJETIVOS	87
3.5.1. <i>General</i>	87
3.5.2. <i>Particulares</i>	87
3.6. MATERIAL Y METODOS	88
3.6.1. <i>Propágulos fúngicos suspendidos en el aire</i>	88
3.6.2. <i>Obtención de UFC</i>	88
3.6.3. <i>Identificación y cuantificación</i>	88
3.6.4. <i>Criterio de Yadav y Madelin</i>	88
3.6.5. <i>Identificación del potencial patógeno de los géneros fúngicos encontrados</i>	89
3.6.6. <i>Análisis Estadístico</i>	89
3.6.7. <i>Análisis de componentes principales</i>	89
3.6.8. <i>Coeficiente de correlación de Spearman</i>	89
3.6.9. <i>Análisis de sintomatologías</i>	90
3.7. RESULTADOS	90
3.7.1. <i>Comportamiento estacional de los tres contaminantes criterio</i>	90
3.7.2. <i>Análisis de componentes principales</i>	91
3.7.3. <i>Nueva Oxtotitlan</i>	92

3.7.4.	<i>Ceboruco</i>	92
3.7.5.	<i>Zinacantepec</i>	93
3.7.6.	<i>San Mateo</i>	93
3.7.7.	<i>San Cristóbal</i>	94
3.7.8.	<i>San Lorenzo</i>	94
3.7.9.	<i>Clasificación de los géneros fúngicos</i>	97
3.7.10.	<i>Análisis de sintomatologías</i>	98
3.8.	DISCUSIÓN	99
3.9.	CONCLUSIONES	104
3.10.	LITERATURA CITADA	105
<b>CAPITULO IV</b>		
<b>TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TICS) COMO HERRAMIENTA PARA LA TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DE HONGOS AEROTRANSPORTADOS.</b>		
		110
4.1.	RESUMEN	111
4.2.	ABSTRACT	112
4.3.	INTRODUCCIÓN	113
4.4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	114
4.4.1.	<i>Relación humano - tecnología</i>	114
4.4.2.	<i>Tecnologías de la información y comunicación (TIC)</i>	115
4.4.3.	<i>Informar a la población de la presencia de propágulos fúngicos</i>	117
4.4.4.	<i>Divulgación científica</i>	117
4.4.5.	<i>Aplicaciones digitales (app) como herramienta de información</i>	118
4.5.	OBJETIVOS	120
4.5.1.	<i>General</i>	120
4.5.2.	<i>Particulares</i>	120
4.6.	MATERIAL Y MÉTODOS	121
4.6.1.	<i>Obtención de UFC</i>	121
4.6.2.	Identificación y cuantificación	121
4.6.3.	Desarrollo de las secciones	121
4.6.4.	Desarrollo de la interfaz.	122
4.7.	RESULTADOS	122
4.8.	DISCUSIÓN	126
4.9.	CONCLUSIONES	128
4.10.	LITERATURA CITADA	130
4.11.	ANEXOS	133

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Mapa reportado con las zonas Metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire	9
<b>Figura 2.</b>	Zonas de impactación de las partículas inhaladas en el cuerpo humano, de acuerdo con su diámetro	11
<b>Figura 3.</b>	Delimitación de la ZMVT y ubicación de los seis sitios de muestreo	17
<b>Figura 4.</b>	Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Mateo	19

<b>Figura 5.</b> Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta Ceboruco	20
<b>Figura 6.</b> Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Cristobal Huichochitlán	21
<b>Figura 7.</b> Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta Nueva Oxtotitlan	22
<b>Figura 8.</b> Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Lorenzo Tepaltitlán	23
<b>Figura 9.</b> Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Miguel Zinacantepec	24
<b>Figura 10.</b> Formula índice de Simpson	26
<b>Figura 11.</b> Formula índice de Shannon	26
<b>Figura 12.</b> Formula índice de Jaccard	26
<b>Figura 13.</b> Comportamiento estacional de las UFC durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo en cada sitio de muestreo	31
<b>Figura 14.</b> Morfología de <i>Cladosporium cladosporioides</i>	47
<b>Figura 15.</b> Imagen de la morfología de <i>Cladosporium sp.</i> con microscopia electrónica de barrido	47
<b>Figura 16.</b> Imagen de la morfología de <i>Cladosporium sp.</i> con microscopia electrónica de barrido	48
<b>Figura 17.</b> Relación entre el vapor de agua y la temperatura, traducido a porcentaje de humedad relativa	49
<b>Figura 18.</b> Composición de la luz solar de acuerdo con su longitud de onda	51
<b>Figura 19.</b> Comportamiento estacional en cada sitio de las UFC del género <i>Cladosporium</i> durante las temporadas climáticas	59
<b>Figura 20.</b> Fuentes de generación de material particulado	81
<b>Figura 21.</b> Captura de pantalla de la ventana de trabajo del software InVision Studio®	122
<b>Figura 22.</b> Pantalla inicial	123
<b>Figura 23.</b> Sección de acervo bibliográfico	123
<b>Figura 24.</b> Ficha Fúngica Simplificada	124
<b>Figura 25.</b> Ficha Fúngica detallada	124
<b>Figura 26.</b> Datos estadísticos	125
<b>Figura 27.</b> Semáforo de riesgo	125
<b>Figura 28.</b> Galería fúngica general	125
<b>Figura 29.</b> Selección de un género	125

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Conteos de UFC por sitios reportados durante la campaña de muestreo	28
<b>Gráfica 2.</b> Estacionalidad de las UFC durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo	30
<b>Gráfica 3.</b> Estacionalidad de las UFC del género <i>Cladosporium</i> durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo	56
<b>Gráfica 4.</b> Variabilidad de las UFC del género <i>Cladosporium</i> durante las temporadas climáticas	57
<b>Gráfica 5.</b> Conteo de las UFC del género <i>Cladosporium</i> en los seis sitios de	



colecta	58
<b>Gráfica 6.</b> Variabilidad de las UFC del género <i>Cladosporium</i> en los seis sitios de colecta	58
<b>Gráfica 7.</b> Análisis de componentes principales del género <i>Cladosporium</i> y los parámetros ambientales reportados	60
<b>Gráfica 8.</b> Variabilidad de la humedad relativa en las temporadas climáticas	61
<b>Gráfica 9.</b> Variabilidad de la radiación (UV) en las temporadas climáticas	62
<b>Gráfica 10.</b> Variabilidad de la temperatura en las temporadas climáticas	63
<b>Gráfica 11.</b> Variabilidad de la velocidad del viento en las temporadas climáticas	64
<b>Gráfica 12.</b> Comportamiento estacional de los tres contaminantes criterio	90
<b>Gráfica 13.</b> Análisis de componentes principales. Géneros fúngicos, contaminantes de origen químico y parámetros ambientales	91
<b>Gráfica 14.</b> Registro de sintomatologías respiratorias de la ZMVT	98
<b>Gráfica 15.</b> Recurrencia de los cuadros de tos en la ZMVT	98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Normatividad Mexicana que establece límites para contaminantes criterio	10
<b>Tabla 2.</b> Clasificación del material particulado por sus diámetros, clasificación propuesta en la NOM-025-SSA1-2014	12
<b>Tabla 3.</b> Criterios de frecuencia propuestos por Yadav y Madelin	25
<b>Tabla 4.</b> Conteos totales de UFC y otras estructuras reportadas durante la campaña de muestreo	27
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de UFC utilizando el criterio de frecuencia propuesto por Yadav y Madelin	29
<b>Tabla 6.</b> Porcentajes de similitud calculados con el Coeficiente de Jaccard	32
<b>Tabla 7.</b> Clasificación taxonómica del género <i>Cladosporium</i>	48
<b>Tabla 8.</b> Correlación del género <i>Cladosporium</i> con los parámetros ambientales	60
<b>Tabla 9.</b> Correlación de Spearman. Género <i>Cladosporium</i> y humedad relativa	61
<b>Tabla 10.</b> Correlación de Spearman. Género <i>Cladosporium</i> y radiación (UV)	62
<b>Tabla 11.</b> Correlación de Spearman. Género <i>Cladosporium</i> y Temperatura	63
<b>Tabla 12.</b> Correlación de Spearman. Género <i>Cladosporium</i> y velocidad del viento	64
<b>Tabla 13.</b> Valores y descripción de la clasificación del ICA	84
<b>Tabla 14.</b> Criterios de frecuencia propuestos por Yadav y Madelin	89
<b>Tabla 15.</b> Análisis de frecuencia fúngico en Nueva Oxtotitlan	92
<b>Tabla 16.</b> Análisis de frecuencia fúngico en Ceboruco	92
<b>Tabla 17.</b> Análisis de frecuencia fúngico en Zinacantepec	93
<b>Tabla 18.</b> Análisis de frecuencia fúngico en San Mateo	93
<b>Tabla 19.</b> Análisis de frecuencia fúngico en San Cristobal	94
<b>Tabla 20.</b> Análisis de frecuencia fúngico en San Lorenzo	94
<b>Tabla 21.</b> Análisis de frecuencia por sitio de UFC	95
<b>Tabla 22.</b> Clasificación de los géneros fúngicos	97

# **CAPÍTULO I**

## **PRESENCIA DE PROPÁGULOS FÚNGICOS EN LA ATMÓSFERA DE SEIS SITIOS DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA**

## 1.1 RESUMEN

La presencia de hongos aerotransportados se ha relacionado con la incidencia de diversas sintomatologías respiratorias, las cuales representan un riesgo para la salud del ser humano. En la actualidad se han reportado aproximadamente más de 100 géneros reconocidos como alérgenos debido a algunos de sus componentes moleculares antigénicos. Esto cobra mayor relevancia debido a su prevalencia ambiental y diámetro, que le permite ingresar al cuerpo por el tracto respiratorio. De igual manera, otro aspecto a considerar, son los diferentes comportamientos de estas partículas presentes en el aire, que pueden estar sujetos a cambios constantes asociados a la localización, clima, estacionalidad y hora del día donde se realicen los estudios (Lacey y West 2006). Debido a estas cualidades asociadas a la presencia de estos organismos en el aire que respiramos diariamente, se identifica un factor de riesgo a la salud pública que ha resaltado una de las problemáticas con mayor relevancia para la sociedad en la actualidad.

El objetivo de este estudio fue identificar los géneros fúngicos encontrados en seis sitios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). 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. Los datos obtenidos se analizaron empleando el criterio de Yadav y Madelin; así como los índices de diversidad de Shannon y Simpson, además del índice de Similitud de Jaccard. Se observó que los conteos fúngicos dependieron de la estacionalidad y mostraron una mayor presencia en la temporada climática seca fría, mientras que la temporada con menos registros de UFC fue la seca cálida; asimismo se reportó una diversidad fúngica alta en la ZMVT.

Palabras Clave: Bioaerosoles, Propágulos fúngicos, Toluca, Contaminación atmosférica

## 1.2 ABSTRACT

Airborne fungi have been associated to the incidence of various respiratory illnesses, as a human health risk. Nowadays, there are approximately more than 100 genera recognized as allergens that have been reported due to some of their antigenic molecular components. This becomes relevant due to its environmental prevalence and diameter, which allows it to enter the body through the respiratory tract. Another aspect to consider, are the different behaviors of these particles in the air, which may be subject to constant changes associated with the location, climate, seasonality and time of day where the studies are conducted (Lacey and West 2006). Due to these characteristics associated with the prevalence of these individuals in the air that we breathe daily, a public health risk factor is identified that has highlighted one of the most relevant problems for society today.

The objective of this study was to identify the fungal genera found in six sites in the Metropolitan Zone of the Toluca Valley (ZMVT). A sampling campaign was conducted with a periodicity of 15 days over 11 months, covering three climatic periods reported for the area: dry-warm, rainy and dry-cold. The data was analyzed using the Yadav and Madelin criteria; as well as the Shannon and Simpson diversity index, in addition to the Jaccard similarity index. It was observed that fungal counts depended on seasonality and showed a greater presence in the cold dry climatic season, while the season with fewer records of CFUs was warm dry; a high fungal diversity was also reported in the ZMVT..

Keywords: Bioaerosols, fungal propagules, Toluca, Air Pollution

## 1.3 INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de los tiempos los hongos se han caracterizado por ser organismos que cumplen funciones determinantes en los ecosistemas y han evolucionado conjuntamente con diversos organismos, incluso con el ser humano. Por lo antes mencionado, hace aproximadamente 500 años surgió una rama de la ciencia denominada Micología, para el estudio de dichos organismos, que constituyen uno de los más grandes acervos de biodiversidad en el planeta. En 2014, Aguirre-Acosta et al., con referencia al trabajo realizado por Kirk et al. (2008), hicieron un estimado de aproximadamente 97,861 especies descritas de hongos en el mundo. Posteriormente, Blackwell (2011) tomó en cuenta estos datos, realizó una comparación con lo registrado en la primera edición del Diccionario de los Hongos (Ainsworth y Bisby, 1943) y estimó que en los últimos 65 años el número de especies se ha triplicado, lo que equivale a cerca de 60,000 especies en este período.

Debido a esta amplia diversidad de géneros fúngicos y características, se puede observar que estos individuos cuentan con una gran distribución y presencia en el ambiente, desempeñan diversas actividades de importancia ecológica en todos los ecosistemas y son cruciales para mantener el equilibrio, pues participan en la prestación de varios servicios ecosistémicos. Marín-Ávila (2018) define estos servicios provistos por éstos organismos como:

- Servicio de Sostenimiento: se puede identificar como su acción principal, consiste en la transformación de compuestos orgánicos y minerales a formas químicamente simples, que se liberan al suelo en forma de nutrientes, así como en su balance y asimilación por las plantas. Se estima que estos organismos degradan anualmente millones de toneladas de residuos a minerales y carbono.
- Servicio de Regulación: al participar de manera directa en los procesos de control de plagas, externalan su potencial como entomopatógenos (contra insectos) y/o fitopatógenos (contra plantas) para controlar el crecimiento de estas poblaciones a umbrales por debajo de lo considerado como económicamente dañino.
- Servicios Culturales: forman parte de la composición del paisaje, como fuente de ecoturismo y de uso tradicional, principalmente para la cura de enfermedades y también como sustancias alucinógenas en fiestas y ceremonias religiosas.
- Servicio de Aprovechamiento: gracias a estos organismos se pueden obtener ciertos alimentos como setas, champiñones, quesos, yogures, panes, bebidas alcohólicas (cerveza, vino, etc.), así como la producción de ciertos antibióticos, vitaminas, etc.

No obstante lo anterior, es importante mencionar que dichos beneficios contrastan con algunos daños potenciales que pueden causar a otros organismos, pues además de saprófitos, pueden actuar como patógenos de plantas utilizadas por el ser humano y por diversos animales. Esto fundamenta la importancia de monitorear la presencia de partículas fúngicas suspendidas en el aire, con objeto de conocer sus características y su comportamiento ante diferentes variables.

En el aire se encuentran partículas que pueden tener origen químico o biológico, éstas últimas que se denominan bioaerosoles, están conformadas por polen, virus, bacterias y hongos, principalmente y pueden afectar a seres humanos causándoles algún tipo de patología (Cox y Wathes, 1995). La presencia de bioaerosoles supone algún tipo de incidencia de estos organismos en los habitantes de una zona determinada, como lo mencionan Borrego Alonso et al. (2017), quienes refieren la importancia de evaluar la concentración fúngica ambiental, además de la diversidad y dinámica de la aeromicobiota para predecir el riesgo potencial de biodeterioro y enfermedades ocupacionales.

Para los fines de este trabajo, nos referiremos a la fracción que comprende cualquier tipo de propágulo fúngico asociado a diversos padecimientos, pues como fue reportado por Newson et al. (2000), en un estudio sobre los conteos de conidios en exteriores y los casos de asma registrados para la región de Trent, Reino Unido, hay una relación entre ambos eventos, pues dicho padecimiento fue diez veces más frecuente en días con alta prevalencia de hongos. Se observa así que la presencia de estos organismos en el aire que respiramos diariamente, constituye un factor de riesgo a la salud pública y una de las problemáticas con mayor relevancia para la sociedad en la actualidad, toda vez que los efectos de los bioaerosoles sobre la salud están asociados con disminución de los días de actividad laboral y aumentos en el ausentismo escolar y en el número de consultas médicas o asistencia a las salas de emergencias por síntomas de asma y otras patologías respiratorias (COMEAP, 1998, WHO, 2000).

En este contexto, dada la importancia de conocer el comportamiento de las fracciones fúngicas y su transporte en el aire surge una rama científica denominada Aerobiología, la cual se especializa no solo en el comportamiento de partículas presentes en el aire, sino en las dinámicas que pueden presentarse en las corrientes de aire de acuerdo con la ubicación, clima, estacionalidad y hora del día donde se realicen los estudios (Lacey y West 2006).

## **1.4 REVISION BIBLIOGRÁFICA**

### **1.4.1 Material particulado en el aire**

Este componente de la atmósfera se puede definir como el conjunto de partículas suspendidas en el aire y puede estar formado por una mezcla de productos de origen químico y elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Billet et al., 2007). En virtud de que tienen tamaños, formas y composiciones variadas, se ideó una clasificación con base en su diámetro aerodinámico, el cual está determinado por la forma y densidad de la partícula, elementos que influyen en su dinámica de transporte.

Algunos autores han mencionado que el diámetro del material particulado presente en el aire va desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras ( $\mu\text{m}$ ) (Arciniegas, 2012). Celis et al., (2007) mencionan que para el caso de Latinoamérica hay pocos estudios sobre contaminación por aerosoles atmosféricos; sin embargo, diversos estudios alrededor del mundo sugieren que esta problemática no es exclusiva de esta región geográfica o que esté relacionada con el nivel de desarrollo del país, ya que se encuentra en todos los países en diferentes escalas debido al crecimiento urbano y al aumento de las actividades antropogénicas que tienen una gran incidencia en la presencia de estos materiales en la atmósfera.

El aumento en la presencia de estos contaminantes conlleva diversos impactos para la salud de los habitantes y de orden económico pues incide en una baja productividad de los empleados; esto último se puede medir a través del índice de calidad de vida de un centro urbano que contempla: las condiciones materiales colectivas (equipamiento deportivo, cultural, educativo, etc), las condiciones económicas (mercado laboral, rendimiento y consumo), factores sociales (población, problemas sociales, salud, etc) y condiciones ambientales (espacios verdes, ruido, calidad del agua y del aire). Para los fines de este trabajo haremos referencia a la calidad del aire, definida por Rojas (2007) como: "aquella que produce una evidencia perceptible o medida de bienestar, ej: visibilidad reducida, suciedad en edificaciones, afectaciones a la naturaleza o perjuicios sobre la salud"; siendo esta última la consecuencia donde se ubica el impacto más importante de la presencia de contaminantes en el aire. Esto deriva en que una ciudad que tenga una buena calidad del aire presente un mayor atractivo para las inversiones al ser comparada con otras como un sitio preferible para la actividad económica y la vivienda.

Con base en los datos reportados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se estima que en un año la contaminación atmosférica exterior puede llegar a producir cerca de 3,7 millones de muertes a causa de fuentes de

emisión urbanas y rurales en todo el mundo (OMS, 2012), lo que lleva a reiterar la importancia de vigilar de manera constante los niveles de los contaminantes presentes en el aire. Debido a lo antes mencionado, surge una clasificación de estos contaminantes con base en la información publicada en los sitios web de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA por sus siglas en inglés, 1991) y de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2019) de México, la cual consta de:

- Contaminantes criterio - partículas de origen químico
- Contaminantes tóxicos - partículas de origen químico y biológico (BTX)
- Contaminantes biológicos - partículas de origen biológico

#### **1.4.2 Partículas de origen químico**

Esta fracción se puede clasificar en dos grupos:

1. El primero que consta de los llamados contaminantes criterio, que se encuentran normados y cuya concentración tiene un límite máximo permisible en el aire; con la finalidad de proteger la salud humana de la población susceptible mediante un monitoreo oportuno con base en los valores normados. Actualmente estos contaminantes criterio son: ozono ( $O_3$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), partículas en suspensión ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) y plomo (Pb).
2. El segundo grupo engloba a los contaminantes tóxicos, definidos como sustancias venenosas en el aire que vienen de fuentes naturales (gas radón proveniente de la tierra) o de fuentes antropogénicas (compuestos químicos como amoníaco, cloro, metales pesados, etc.) y que pueden dañar el ambiente o la salud. Esto se debe a que la inhalación de estos contaminantes del aire, puede aumentar las posibilidades de generar problemas de salud con efectos (agudos o crónicos) ya sea a corto o largo plazo; y los efectos dependerán de la concentración y tiempo de exposición.

#### **1.4.3 Partículas de origen biológico**

La fracción referente a las partículas biológicas está compuesta por propágulos fúngicos, partes de insectos y restos de piel humana o animal; adicionalmente, se ha empleado el término bioaerosoles, que se enfoca a la presencia de diversos componentes biológicos como polen, virus, bacterias y hongos, microorganismos que pueden representar un riesgo significativo en la calidad del aire, tanto en exteriores como en interiores. Molina (2015) menciona que la contaminación biológica del aire constituye una importante causa de morbilidad y malestar frecuente, ya que puede interactuar con los efectos de los contaminantes químicos y con los cuales a menudo comparten causas comunes.



En este contexto, en los últimos años ha aumentado el interés por monitorear estos contaminantes en el aire, ejemplo de esto es la Red Mexicana de Aerobiología (REMA) que mide de forma continua los granos de polen presentes en la atmósfera de la Ciudad de México y de los estados de la República Mexicana. Estos datos permiten informar a la población en tiempo real y a través de diversos medios de comunicación, sobre las concentraciones atmosféricas de los diferentes alérgenos polínicos, cuantificar riesgos para la salud y los ecosistemas así como, a lo largo del tiempo (>10 años), obtener bases de datos suficientes para estimar los posibles efectos del cambio climático sobre la vegetación (REMA, 2019). Otros factores que se consideran son las fuentes de origen de estas partículas y elementos ambientales como: humedad relativa, ventilación natural en interiores, irradiación, temperatura, entre otros; los cuales pueden influir en la presencia y/o prevalencia de esos componentes. De acuerdo con lo antes mencionado, se resalta la importancia de vigilar la cantidad de hongos microscópicos en la atmósfera y sus efectos, ya que no existe un monitoreo constante de estos microorganismos.

#### **1.4.4 Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT**

La contaminación atmosférica ha estado presente a lo largo de la historia del ser humano pues está ligada a las diversas actividades que desarrolla en búsqueda de mejorar su calidad de vida. Uno de los eventos históricos que marca un parte aguas es la Revolución Industrial (siglo XVIII), ya que a partir de ésta se observó un incremento constante de emisiones asociadas a diversos procesos industriales, generando altos niveles de contaminantes del aire, principalmente en algunas ciudades tales como: México, Río de Janeiro, Milán, Ankara, Melbourne, Búfalo, Tokio y Moscú, entre otras. Fue en 1952, en la ciudad de Londres, donde se dio el primer caso de efectos severos reconocido históricamente, ya que los altos niveles de contaminantes se asociaron con un alarmante incremento en el número de muertes (alrededor de 4,000). Desde entonces, debido a este evento, y algunos otros subsecuentes, surgió el interés por monitorear la calidad del aire, lo que ha ido en aumento, generando una mayor vigilancia que se traduce en que las altas concentraciones de contaminantes observadas en los años 60 y 70 ya no se presentan de la misma manera. La OMS menciona que “la contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud” y que, “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” (OMS, 2016).

En México, este monitoreo se realiza mediante el uso del Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual vigila y evalúa los niveles de la contaminación del aire con un

valor de referencia que permite a la población conocer la peligrosidad que exhibe la atmósfera en un tiempo y lugar determinado. Este índice, que establece en 100 puntos el límite de protección a la salud para cada contaminante, tiene como fundamento el Índice Estándar de Contaminantes (Pollutant Standard Index o PSI por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (EUA), el cual contempla las normas primarias de calidad del aire y las normas mexicanas de protección a la salud vigentes. En este contexto, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en su Artículo 112, Fracción VI, establece que “los gobiernos de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios establecerán y operarán, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, sistemas de monitoreo de la calidad del aire” (Justia México, 2008) y la NOM-156-SEMARNAT-2012, “Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire” define las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire en todo el territorio nacional, siendo de observancia obligatoria para los gobiernos locales.



Figura 1. Mapa reportado con las zonas Metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire (Modificado de: Semarnat, 2011)

Se cuenta así con redes de monitoreo importantes y con registros desde mediados de los años noventa del siglo XX en sedes como: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez, entre otras.

Por lo anterior, para este estudio, la obtención de información referente a la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) deriva de lo reportado por la Red de Monitoreo Atmosférico del Valle de Toluca (RAMAT) y la información publicada en su página de internet (<http://rama.edomex.gob.mx/calidad-aire/reporte-diario>).

La ZMVT cuenta con 7 estaciones de monitoreo atmosférico que miden los parámetros meteorológicos de: temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar total y precipitación pluvial; abarcando la zona sur (Metepac, Ceboruco, San Mateo Atenco), norte (Aeropuerto, San Cristóbal Huichochitlán) y centro (Toluca Centro y Oxtotitlán) del valle, las cuales operan los 365 días del año (RAMA, 2017). De acuerdo con la RAMAT, los contaminantes atmosféricos que mostraron mayor concentración en el período 2017-2018 fueron: PM<sub>2.5</sub> (material particulado de  $\mu$ 2.5 m), PM<sub>10</sub> (material particulado de 10  $\mu$ m) y O<sub>3</sub> (Ozono), constituyendo uno de los principales problemas de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. De acuerdo con lo reportado en Almanaque (2010) (como se cita por López-Urbina, 2017) algunos de los problemas de salud pública que se han relacionado con la prevalencia de PM son:

- Afectaciones al sistema respiratorio
- Reducción de la función pulmonar
- Incremento de sintomatología de bronquitis y asma en niños
- Irritación en los ojos
- Inflamación en el tracto respiratorio
- Cáncer de pulmón

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) mide 6 contaminantes y los regula a través de NOM's específicas para cada uno donde se establecen las concentraciones que no deberían ser excedidas por estos contaminantes, ya sea en promedio por hora o por día (López-Urbina, 2017; SEMARNAT, 2014).

<b>Contaminante criterio</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>
<b>Ozono (O3)</b>	<b>NOM-020-SSA1-1993</b>
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	<b>NOM-021-SSA1-1993</b>
<b>Bióxido de Azufre (SO2)</b>	<b>NOM-022-SSA1-1993</b>
<b>Bióxido de Nitrógeno (NO2)</b>	<b>NOM-023-SSA1-1993</b>
<b>Partículas Suspendidas Totales (PST)</b>	<b>NOM-024-SSA1-1993</b>
<b>Partículas Menores de 10 y 2.5 <math>\mu</math>m (PM10 Y PM2.5)</b>	<b>NOM-025-SSA1-1993</b>
<b>Plomo (Pb)</b>	<b>NOM-026-SSA1-1993</b>

Tabla 1. Normatividad Mexicana que establece límites para contaminantes criterio (López-Urbina, 2017).

Al respecto, López-Urbina (2017) destaca que la normatividad en México, únicamente establece los límites para contaminantes inorgánicos, no se hace ningún tipo de referencia respecto a los límites permisibles para contaminantes biológicos.

## 1.5 Bioaerosoles

### 1.5.1 Hongos como agente causal de enfermedades

Otra perspectiva a considerar sobre el material fúngico, es el efecto que pudiese incidir de forma perjudicial en la salud del ser humano. El contacto que tiene el ser humano con los propágulos fúngicos presentes en el aire es a través de la inhalación, ingestión y contacto directo con la epidermis; la inhalación como la ruta predominante de exposición trae consigo resultados adversos para la salud (Pepper y Gerba 2004). La mayor parte de las partículas de diámetro mayor que  $10\ \mu\text{m}$  son retenidas en la boca o en la nariz impidiendo que ingresen a las secciones más profundas del sistema respiratorio humano; sin embargo, se considera que entre el 10 y el 60% de las PM<sub>10</sub> que atraviesan la tráquea se pueden depositar en los pulmones, (Swift D.L. and Proctor D.F., 1982). Las partículas gruesas tienen mayor probabilidad de ser depositadas en la región bronquial (Miller F.J. et. al., 1979), mientras que las finas se depositan especialmente en los bronquiolos y alvéolos donde su eliminación es más lenta, (Pinkerton K.E. et al., 1995).

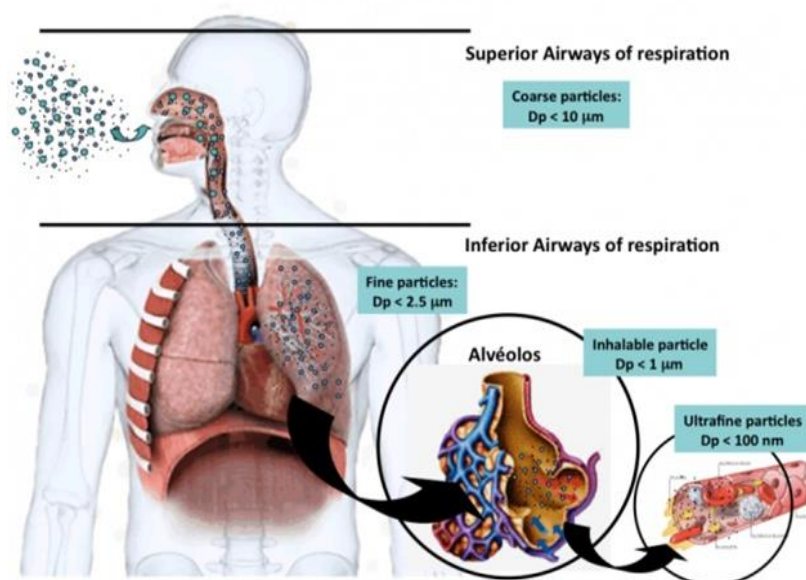


Figura 2. Zonas de impactación de las partículas inhaladas en el cuerpo humano, de acuerdo con su diámetro. Imagen consultada en <http://www.health.utah.gov/utahair/pollutants/PM/>

Lo anterior se relaciona con lo reportado por Rosales-Castillo et. al. (2001), quienes observaron que las partículas finas y ultrafinas logran impactar tanto en el tracto superior como el inferior y pueden desarrollar una respuesta alérgica

de tipo I, II y IV, así como bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, etc. o bien colonizar el tejido y provocar micosis. En los últimos 20 años, la incidencia de enfermedades alérgicas se ha incrementado alrededor del mundo (Chang et al., 2013), aunado a esto, la sensibilización contra los alérgenos se encuentra en aumento, comprometiendo hasta un 30% de los individuos en algunas comunidades; cabe señalar que más de 6.5 millones de personas asmáticas presentan sensibilidad a los hongos (Denning et. al., 2014).

La presencia de alérgenos fúngicos persiste tanto en espacios abiertos como cerrados, la exposición intensa y prolongada contribuye a la cronicidad y severidad del asma y alergias en personas sensibilizadas. El grupo más relevante corresponde a aquellos géneros que cuentan con el potencial de desencadenar una reacción alérgica o de ser patógenos, los cuales pueden crecer en diferentes zonas del cuerpo produciendo infecciones, fundamentalmente de tipo superficial o cutáneo, llamadas micosis superficiales, excepcionalmente de forma sistémica, como micosis profundas. Al poder ingresar al cuerpo mediante la inhalación, el material fúngico aerotransportado se puede identificar como un riesgo hacia las vías respiratorias, dependiendo del tamaño del material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).

<b>Gruesas o PM<sub>10</sub></b> <b>(= ó &lt; a 10 µm)</b>	<b>Finas o PM<sub>2.5</sub></b> <b>(= ó &lt; a 2.5 µm)</b>	<b>Ultra finas o PM<sub>0.1</sub></b> <b>(= ó &lt; a 0.1 µm)</b>
Se depositan en la región extratorácica del tracto respiratorio (nariz, boca, naso, oro y laringofarínge)	Se depositan fundamentalmente en la región traqueobronquial (tráquea hasta bronquiolo terminal), aunque pueden ingresar a los alvéolos.	Se depositan mayormente en la región alveolar, incrementando la posibilidad de atravesar la membrana alvéolo capilar hacia el torrente sanguíneo y migrar hacia otros órganos.

Tabla 2. Clasificación del material particulado por sus diámetros, clasificación propuesta en la NOM-025-SSA1-2014 del Diario Oficial de la Federación.

## 1.6 Partículas fúngicas en el aire

### 1.6.1 Estudios a nivel mundial

Numerosas investigaciones se han realizado con la intención de ampliar el conocimiento de este tema; varias disciplinas han trabajado de forma conjunta para analizarlo desde diversas ópticas. Un ejemplo es el estudio realizado por el grupo de Calderón et. al. (2015), conformado por médicos alergólogos, el cual realizó un estudio para identificar hongos alergénicos aerotransportados, así como su sensibilización y exposición en dos ciudades de Perú; se analizaron las fluctuaciones estacionales y anuales de estos contaminantes, con el objetivo de

identificar los aeroalérgenos importantes en la atmósfera. Otro estudio, es el realizado por Molina (2015) en La Habana, Cuba, en el cual se midió la presencia de contaminantes biológicos en el aire interior de una vivienda; se analizaron las fuentes y factores que contribuyen en la prevalencia de los hongos, esto con objeto de desarrollar medidas de prevención para disminuir una alta exposición a estos microorganismos.

En la Republica China, en la ciudad de Xi'an, ante una problemática denominada Días de Bruma (Haze Days), relacionada con la mala calidad de aire como una consecuencia de la alta concentración de material particulado que formaba una "nata" de contaminación fácil de identificar visiblemente, Li et. al. (2015) decidieron medir las concentraciones de bacterias y hongos durante esos días de bruma, encontrando una concentración de bioaerosoles que excedía los niveles permitidos en la legislación, lo que sugiere un mayor riesgo a la salud del ser humano. Por su parte, Calvo-Torras et. al. (1976) analizaron la contaminación atmosférica y el papel que desempeñan estos contaminantes sobre la salud y el bienestar público y al efecto realizaron estudios aeromicológicos y alergopatológicos sobre la microbiota fúngica del aire de la ciudad de Barcelona y la incidencia de algunos factores climáticos que caracterizan a esta ciudad como uno de los climas más suaves de la Cataluña húmeda. Dicho proyecto resaltó, desde hace poco más de 40 años, la problemática que cuenta con un gran interés de estudio en la actualidad. En efecto, como lo refieren Riojas y Zúñiga-Bello (2017) en el informe del Día Interamericano de Calidad del Aire, "la contaminación del aire es el principal riesgo ambiental a la salud a nivel mundial".

### **1.6.2 Partículas fúngicas aerotransportadas en México**

México no es ajeno al interés de estudiar la presencia de los propágulos fúngicos presentes en la atmósfera y en años recientes el interés por este tema ha ido en aumento. Tal es el caso del proyecto de Rocha-Estrada et al. (2013) quienes estudiaron la variación temporal de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el aire del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) durante el período comprendido entre noviembre del 2007 a octubre del 2008. Entre los resultados destaca un índice de 33,576 conidios, de los cuales el 83% pertenece a los siguientes géneros: *Alternaria* (6 %), *Cladosporium* (69 %), *Coprinus* (3 %), *Curvularia* (2 %) y *Venturia* (3 %). Otro estudio fue el realizado por Maldonado-Vega et. al. (2014), en el cual se midió la presencia de bioaerosoles y se evaluó la calidad del aire en dos centros hospitalarios en León, Guanajuato, debido a que la contaminación biológica (hongos y bacterias) dentro de los hospitales es de gran preocupación, pues representa un alto riesgo de salud, ya que puede incrementar el riesgo de complicaciones en los pacientes hospitalizados. Para esto, identificaron,

midieron y caracterizaron los propágulos fúngicos, aerobacterias y agentes patógenos dentro de las áreas donde permanecen pacientes vulnerables sometidos a cirugía, quimioterapia y terapia intensiva. Para ambos hospitales se reportaron áreas determinadas que presentaban contaminación debido a que las concentraciones registradas de estos microorganismos, fueron bastante elevados con intervalos de 32 a 442 UFC/m<sup>3</sup>, reportando una mayor presencia del género *Fusarium*, asociado a infecciones oculares.

Castañeda et. al. (2006), realizaron un estudio con el objeto de analizar el tipo de poblaciones microbianas presentes como bioaerosoles en el aire de cuatro áreas de proceso de elaboración de calzado y su relación con la salud de los trabajadores. En el estudio se obtuvo registro tanto de bacterias como de hongos, los cuales se relacionaron con la sintomatología presentada por los trabajadores y el tipo de población aislada en los bioaerosoles; dentro de los signos y síntomas reportados se encuentran: laringitis, cefalea, conjuntivitis y faringitis. Otro estudio es el de Bedolla y Hernández (2010), quienes buscaron identificar aeroalergenos en la Zona Metropolitana de Guadalajara en sujetos con rinitis alérgica, que es la enfermedad alérgica más común en todo el mundo. Observaron pruebas cutáneas en 965 pacientes: las cuales se mostraron más frecuentes en el sexo masculino y se asoció la presencia de estas partículas con potencial de desencadenar este padecimiento a través de los ácaros, polen y hongos. Es importante mencionar que los proyectos referidos en los párrafos anteriores, enfocan estudios en exteriores e interiores, resaltando la relevancia que implica el análisis de ambos, ya que las concentraciones en el exterior pueden ser uno de los factores que incide en los microorganismos presentes en interiores.

### **1.6.3 Presencia de propágulos fúngicos en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)**

La ZMVT cuenta con escasos estudios realizados sobre el tema; sin embargo, en los últimos años ha ido aumentando el interés y los monitoreos en la zona.

Galindo (2011) realizó una colecta de muestras en dos sitios de la ZMVT en el período de diciembre de 2008 a noviembre de 2009, utilizando un muestreador de la marca TCR TECORA para PM<sub>2.5</sub>; se identificaron 17 géneros fúngicos presentes en los filtros del equipo, los más abundantes fueron *Penicillium*, *Cladosporium* y *Epicoccum*. De igual manera Rivera-Pérez (2011) llevó a cabo un estudio durante el mismo período que Galindo-Martínez y reportó la presencia de 10 géneros fúngicos, resaltando como los más abundantes: *Geotrichum*, *Monascus*, *Sepedonium*, *Cladosporium* e *Isaria*. Romero y Reyes (2008), analizaron la influencia de diferentes fuentes (naturales y antropogénicas) en el material aerotransportado de Toluca, encontrando principalmente partículas de origen biológico emitidas por fuentes naturales, entre las que destacan: partículas de polen, esporas de hongos, así como

fragmentos de insectos y amebas. López-Urbina (2017), realizó una colecta del género *Alternaria*, debido a su importancia como patógeno plantas y el elevado potencial alérgeno hacia el ser humano, inducido por las proteínas estructurales alérgenas y los metabolitos tóxicos que secreta. La identificación de este género puede ayudar como una de las estrategias para el control de un alérgeno de gran importancia para el ser humano.



## **1.7 OBJETIVOS**

### **General**

Identificar los géneros fúngicos encontrados en seis sitios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT).

### **Particulares**

- Identificación y cuantificación de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) fúngicas suspendidas en el aire de la ZMVT.
- Analizar el comportamiento de las UFC registradas en las tres temporadas climáticas reportadas para la ZMVT.
- Analizar la frecuencia de aparición de los géneros identificados en la ZMVT.

## 1.8 MATERIAL Y MÉTODOS

### 1.8.1 Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)

La Zona Metropolitana está ubicada en la Zona Sur del Valle de Toluca, cuenta con 2,387,371 habitantes distribuidos en 22 municipios de la entidad y abarca el 12.1% del territorio estatal. Se localiza a una altura de 2,650 MSNM, entre los paralelos 19°05' y 19°27' latitud norte y los meridianos 99°23' y 99°53' longitud oeste (INEGI, 2015). Algunos de los atractivos de la zona son el centro histórico con sus plazas, jardines y museo, la Catedral de Toluca, el templo de la Santa Veracruz y la zona arqueológica de Calixtlahuaca. Geológicamente cuenta con la presencia del Xinantécatl o Nevado de Toluca, así como con un sistema de cerros con ramificaciones. Una sección se caracteriza por suelos de tipo andosol, litosol y regosol, característicos de las zonas volcánicas; la otra sección (centro norte) presenta feozem, vertisol y planosol, de mediana fertilidad agrícola. En relación a la hidrografía, se observa el río Xicualtenco que desemboca en el río Lerma, así como algunos arroyos.

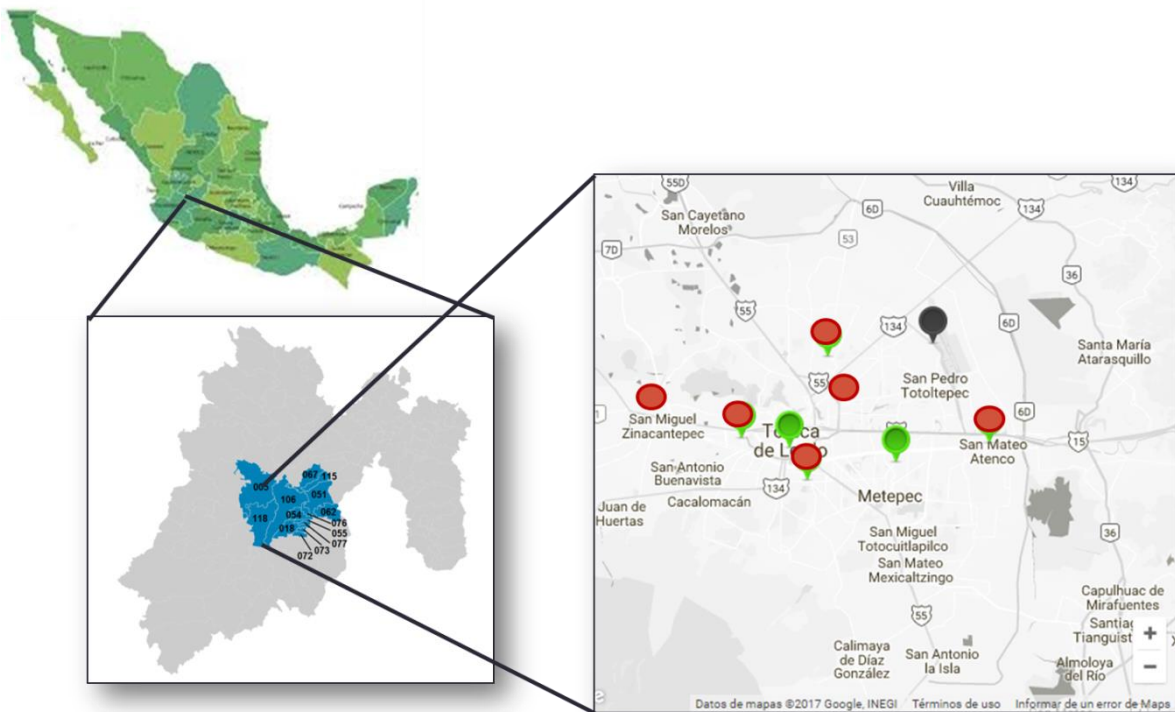


Figura 3 Delimitación de la ZMVT y ubicación de los seis sitios de muestreo, identificados en color rojo.

Pérez *et al.* (2010) mencionan que la ZMVT se caracteriza por contar con condiciones geográficas peculiares como: altitudes mayores a 2,500 MSNM, heterogeneidad topográfica, diversas geoformas, presencia de cuerpos de agua (contaminados), diversos climas (templados y fríos), circulación de vientos de

las montañas hacia las planicies y una alta concentración de asentamientos humanos, industriales y de servicios. En los ambientes de la ZMVT y sus colindancias se presentan diversos climas, condicionados por la heterogeneidad topográfica y otros elementos geográficos. De acuerdo con lo reportado con el Gobierno del Estado de México, las características climáticas de esta zona, conforme a la modificación realizada del Sistema de Clasificación Climática de Köppen por García y CONABIO (1998), comprenden dos tipos de clima:

- a) clima semifrío subhúmedo con régimen de lluvias en verano, cuatro meses o más con temperaturas superiores a 10 °C (verano largo), poca oscilación térmica (entre 5 y 7 °C), la temperatura más alta se presenta después del solsticio de verano.
- b) frío con temperatura media anual entre -2 °C y -5 °C, característico de grandes altitudes, con régimen de lluvias en verano.

Aunado a lo anterior, se reportan tres épocas climáticas:

1. Época seca-fría, registra la temperatura promedio mensual más baja durante el año, comprende los meses de noviembre a febrero oscilando entre los 9° y 11°C.
2. Época seca-cálida, comprende los meses de marzo a mayo presentando un ascenso en la temperatura hasta llegar a los 15° C.
3. Época de lluvia, está definida por los meses de junio a octubre, registra una disminución en la temperatura llegando a los 11° y 13° C.

En cuanto al comportamiento del viento hay una marcada dominancia de aquéllos provenientes del sur y suroeste; a diferencia del Valle de México, la ZMVT no está encerrada por barreras naturales, lo cual favorece los patrones de circulación del viento que se observa la mayor parte del año (Sistema de Monitoreo Atmosférico 2007, en López Urbina, 2017).

La recolección de muestras se realizó en seis sitios de la ZMVT, ubicando cuatro en estaciones pertenecientes a la RAMAT, las cuales fueron: San Mateo Atenco, Ceboruco, San Cristóbal Huichochitlán y Oxtotitlán, en las cuales los parámetros ambientales de humedad, temperatura, velocidad, dirección del viento y radiación UV fueron obtenidos con ayuda de los equipos TCR TECORA en las estaciones de la RAMAT. Los otros dos sitios se localizaron en San Lorenzo Tepaltitlán y San Miguel Zinacantepec en donde se colocaron otros muestreadores BGI Waltham.

### **1.8.2 San Mateo Atenco, Estado de México**

Este municipio tiene una superficie de 27.38 km<sup>2</sup> (1,258 ha); se localiza en el área central del Estado de México y en la ZMVT. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 19°14'14" y 19°17'08" Latitud Norte; 99°31'10" y 99°34 '05"

Longitud.Oeste Limita al norte con: Toluca y Lerma (Av. Paseo Tollocan); al sur: con los pueblos de San Lucas Tunco y San Gaspar; al este con el río Lerma; al oeste con Metepec (fraccionamiento La Asunción).

El municipio de San Mateo geológicamente se caracteriza por presentar suelo aluvial, formado por el depósito de materiales sueltos (gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes. También se ha reportado la presencia del feozem, que cubre 87% del municipio y debido a sus propiedades (rico en materia orgánica y en nutrientes) favorece al desarrollo de actividades agropecuarias. Aunado a lo anterior, se ha observado la presencia de histosol en el 13% del municipio (sureste), zonas propensas a inundación, que favorecen a la conservación de los desechos de plantas en la superficie, provocando la proliferación de natural de pastos. No presenta características topográficas relevantes como cadenas montañosas, sierras o mesetas. En cuanto a la flora se reporta una alta riqueza y variedad de especies, entre las que destacan: sauce llorón, pino, cedro gigante, saúco, jarilla, tepozán, escobilla, popote, trueno y cedrón; entre las plantas acuáticas el lirio acuático, berro, jara, lentejilla y tule.

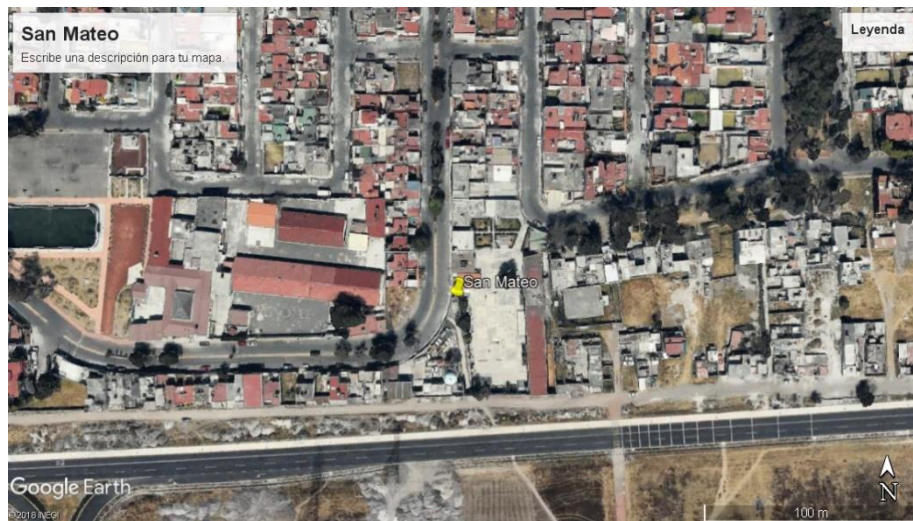


Figura 4. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Mateo, obtenida con el software Google Earth Pro®.

### 1.8.3 Ceboruco, Ampliación Lázaro Cárdenas, Estado de México.

Este sitio de muestreo, por su cercanía con la avenida del mismo nombre, se encuentra dentro de la colonia Amp. Lázaro Cárdenas, la cual tiene una superficie de 0.46 km<sup>2</sup>, pertenece a la zona central del Estado de México, dentro del municipio de Toluca (452.37 km<sup>2</sup>). Geográficamente se ubica entre las coordenadas 18°59'02" a los 19°27'09" Latitud Norte; 99°31'43" a los 99°46'58" Longitud Oeste. Limita al norte con: Temoaya y Oztolotepec; al noroeste con Almoloya de Juárez; al sur con Villa Guerrero, Coatepec Harinas,

Calimaya y Tenango del Valle; al sureste con Metepec; al este con Lerma y San Mateo Atenco y al oeste con Zinacantepec. Cercanos al sitio donde se localiza la estación de la RAMAT, se encuentran tres sitios de interés que son el Parque "18 de marzo", el Parque Metropolitano Bicentenario y el Panteón Municipal que cuenta con una fuente de agua de tamaño considerable. En los tres sitios antes mencionados cuentan hay una gran presencia de vegetación; dentro de la flora reportada se mencionan principalmente bosques de pino, aile, ocote y oyamel.



Figura 5. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta Ceboruco, Amp. Lázaro Cárdenas, obtenida con el software Google Earth Pro®.

#### **1.8.4 San Cristóbal Huichochitlán, Estado de México.**

El municipio de San Cristóbal Huichochitlán cuenta con una superficie de 4.2 km<sup>2</sup>, ubicada al oeste del centro del área central del Estado de México. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 19°20'16" Latitud Norte y 99°38'44" Longitud Oeste. Limita al norte con San Andrés Cuexcontitlán y San Pablo Autopan; al sur con San Lorenzo Tepaltitlán y Santiago Miltepec; al este con San Mateo Oztacatipan y al oeste con Santa Cruz Atzacapotzaltongo y Calixtlahuaca. Está cerca de la avenida López Portillo que cuenta con una gran afluencia vehicular de automóviles y camiones; además de ser una de las avenidas que conecta con Paseo Tollocan y con el Aeropuerto Internacional de Toluca.

Las principales actividades económicas de este sitio son la agricultura, actividad artesanal y talleres textiles, que trabajan con mayor intensidad en la época invernal, ya que ahí se elaboran productos para contrarrestar el frío. De igual manera se cuenta con la presencia de trabajadores de la Central de Abastos de Toluca, comerciantes de verdura, producción de tortillas hechas a mano, entre otros. Anteriormente se había identificado como una zona urbana, sin embargo

hay porciones que se conservan como parcelas agrícolas que le dan características de zona agro/urbana. Lo anterior puede deberse a que en este municipio se ubica una comunidad otomí que ha conservado sus tradiciones y costumbres, las cuales se expresan a través de fiestas religiosas y populares, su indumentaria, gastronomía, vivienda, organización social, medicina, tradición oral y artesanías; así como su resistencia ante los cambios sociales del municipio, esto se ve reflejado en la conservación de estas expresiones y lo que ha caracterizado a este lugar es su lengua el otomí, que ha sido uno de los pilares de su riqueza cultural.

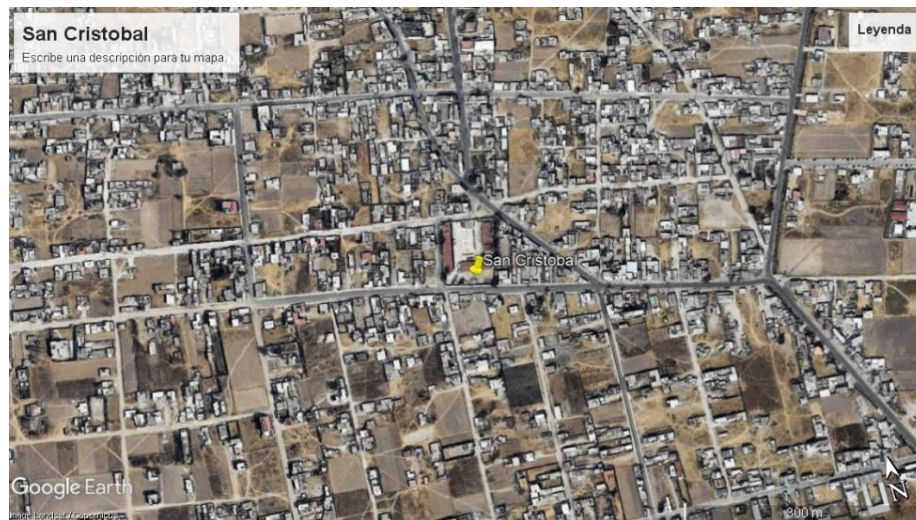


Figura 6. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Cristobal Huichochitlán, obtenida con el software Google Earth Pro®.

### **1.8.5 Nueva Oxtotitlán, Estado de México.**

La colonia Nueva Oxtotitlán es una localidad de Toluca, cuenta con una superficie de 0.9123 km<sup>2</sup>, en donde se ubican 9,942 habitantes de acuerdo al último censo realizado. Geográficamente se localiza entre las coordenadas: 19°23'40" Latitud Norte y 99°74'51" Longitud Oeste, donde se resalta la ausencia de áreas verdes, prevaleciendo la mancha urbana. Limita al norte con el Boulevard Adolfo López Mateos que lo separa del Parque Sierra Morelos en la sección que aloja el Cerro La Teresona; al este con la Universidad Autónoma del Estado de México, así como los estadios Nemesio Díez y el universitario Alberto "Chivo" Córdova; al sur con el Boulevard Solidaridad las Torres que lo separa al suroeste con el Parque Alameda 2000 y al sureste el parque Seminario; al oeste con San Miguel Zinacantepec.

Este sitio está reportado como urbano, gracias a que en la colonia se registran unos 580 establecimientos comerciales en operaciones (tanto públicas como privadas), que representan la mayoría del uso de suelo. De acuerdo con la estimación de Market Data México (2019), Nueva Oxtotitlán tiene un alto flujo económico (\$1,600 millones anuales MXN), los cuales provienen de los hogares

y establecimientos que allí operan. Adicionalmente, se estima que en la colonia laboran 3,000 personas, lo que eleva el total de residentes y trabajadores a 20,000.

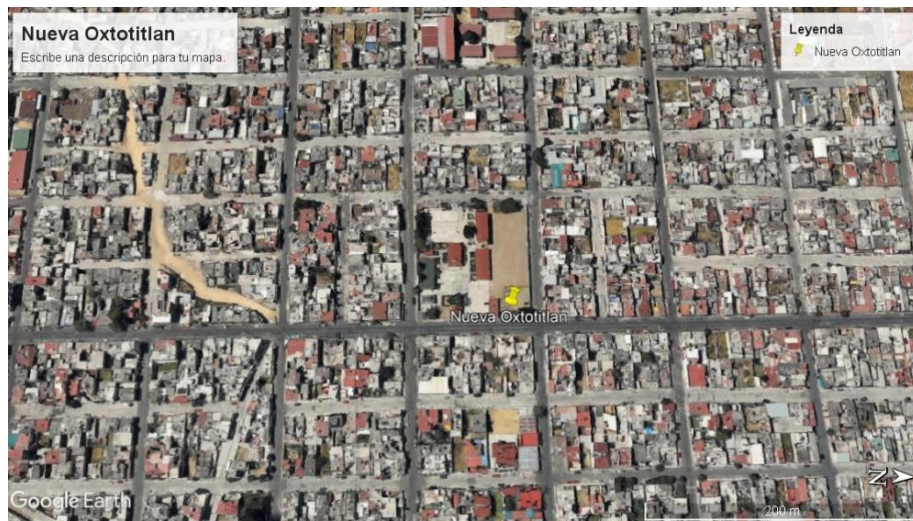


Figura 7. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta Nueva Oxtotitlan, obtenida con el software Google Earth Pro®.

### **1.8.6 San Lorenzo Tepaltitlán, Estado de México.**

El municipio de San Lorenzo Tepaltitlán es una localidad del municipio de Toluca de Lerdo, cuenta con 25,000 habitantes de acuerdo al último censo realizado. Geográficamente se localiza entre las coordenadas: 19°23'45" Latitud Norte y 99°40'16" Longitud Oeste. Limita al sur con la calle Vicente Lombardo Toledano que la separa de la zona industrial; al oeste con la Avenida Alfredo del Mazo, cercana a la nueva zona comercial y Tlacopa; al norte con la Avenida López Portillo y San Cristóbal Huichochitlán; al nororiente colinda con San Mateo Oztacatipan y al Oriente con San Pedro Totoltepec. Esta comunidad es de las más antiguas y abarcaba lo que ahora se conoce como la Colonia La Cresa, Las Flores, La Cruz Comalco, Rincón de San Lorenzo y parte de la zona Industrial.

Una de las principales actividades económicas desempeñadas por la población era la agricultura con la siembra del maíz, sin embargo se fue dejando atrás para centrarse actualmente en el comercio. De igual manera se conservan diversos espacios educativos, culturales, campos deportivos, lugares de esparcimiento, un mercado fijo y sitios de interés religioso (templo de San Lorenzo Mártir, templo de San Antonio y templo de Nuestra Señora de Guadalupe). Actualmente se observa que la superficie territorial muestra rasgos relacionados con las actividades agrícolas y pecuarias; asimismo, se resalta su cercanía a una de las secciones de la zona industrial. Cabe mencionar que aun cuando varios poblados son absorbidos por la mancha urbana de la Ciudad de Toluca, San Lorenzo Tepaltitlán se caracteriza por ser uno de los pueblos que

conserva su esencia y la gran riqueza cultural que se refleja en sus tradiciones e identidad propia.



Figura 8. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Lorenzo Tepaltitlán, obtenida con el software Google Earth Pro®.

### **1.8.7 San Miguel Zinacantepec, Estado de México.**

El municipio de San Miguel Zinacantepec está situado en la porción occidental del Valle de Toluca y cuenta con una superficie de 308.62 km<sup>2</sup> y una población aproximada de 167,759 habitantes. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 19°17'00" Latitud Norte y los 99°44'00" Longitud Oeste. Limita al norte, con Almoloya de Juárez; al sur con Texcaltitlán, al este con Toluca y Calimaya; al oeste con Temascaltepec y Amanalco de Becerra; al sureste con Villa Guerrero y Coatepec Harinas. Este poblado se ubica en la meseta más elevada del país a una altura que va desde los 3,200 los 2,750 MSNM.

Su economía comprende diversas actividades, entre las que resaltan el comercio y el turismo, aunque conserva agricultura. Este municipio se encuentra dentro del programa estatal que se encarga de distinguir los municipios con vocación turística, esto debido a la presencia de diversos sitios educativos y culturales (Museo de Antropología e Historia, Museo de Historia Natural y el Centro Cultural Mexiquense), lugares de esparcimiento como el Museo Parque Alameda 2000, el Parque Estatal Sierra Morelos y el Parque Nacional del Nevado de Toluca. La vegetación es principalmente boscosa, con una mayor presencia de pinos, cedros, oyameles, sauce llorón, encinos y robles. El Nevado de Toluca y su bosque ha sido designado Parque Nacional, como reserva ecológica de la biósfera, dentro del territorio del municipio. La superficie de suelo agrícola es 14,933.00 km<sup>2</sup>, forestales 10,577.00 km<sup>2</sup>, para viviendas y espacios públicos 156.00 km<sup>2</sup>; también es importante mencionar que existe la presencia de minas de arena (San Juan de las Huertas y Loma Alta); así como



minas de grava y una mina de tezontle rojo (Cerro del Murciélago).

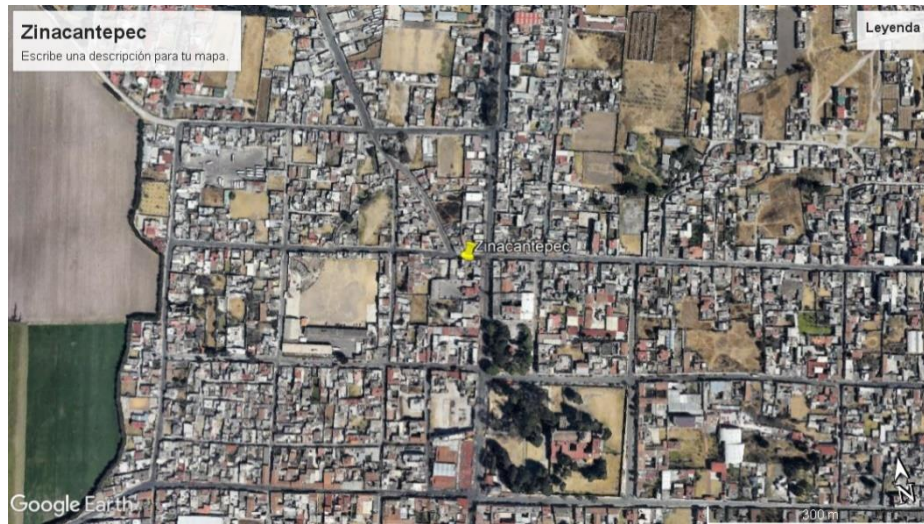


Figura 9. Imagen satelital con marcador en el sitio de colecta San Miguel Zinacantepec, obtenida con el software Google Earth Pro®.

### **1.8.8 Propágulos fúngicos suspendidos en el aire**

Del 25 de mayo de 2017 al 27 de marzo de 2018, se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días en los seis sitios indicados de la ZMVT, teniendo un total de 20 muestreos que abarcan las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida (marzo, mayo), lluvias (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) y seca-fría (noviembre, diciembre, enero y febrero).

#### **1.8.8.1 Obtención de UFC**

El muestreo se realizó de forma simultánea en los seis sitios, a las 12:00 hrs., empleando el método de sedimentación por gravedad, en el cual se expusieron por 15 minutos en cada sitio, tres cajas de Petri con medio de cultivo Rosa de Bengala (por su propiedad bacteriostática), adicionado con Cloranfenicol (500mg/1L) para inhibir el crecimiento de microorganismos diferentes a los hongos. El muestreo se realizó por triplicado, se colocaron 2 cajas a la altura del equipo a partir del que se obtuvieron los parámetros ambientales y que se utiliza para la medición del material particulado, para captar propágulos fúngicos cercanos a la corriente de viento y una más en la base del equipo para la captación de material fúngico inerte. Posterior a la toma de muestra las cajas se transportaron al laboratorio de la UAM-X, se incubaron a 28°C de 5 a 7 días para favorecer el crecimiento de las colonias y posteriormente se realizó la identificación.

#### **1.8.8.2 Identificación y cuantificación**

Una vez observado el crecimiento (macromorfología) de las colonias en las cajas, se realizaron preparaciones en fresco, extrayendo directamente de la caja una fracción de la colonia y colocándola en un portaobjetos con azul de lactofenol para facilitar la observación de estructuras (conidios, septos e hifas); finalmente se colocó un cubreobjetos y se procedió a la identificación, utilizando los microscopios ópticos Olympus CH30® y Nikon Alphaphot-2 YS2-H®, microscopio estereoscópico Olympus SZ-PT® microscopio de contraste de fases Olympus BX40® y mediante el uso de las Claves Dicotómicas de Barnett y Hunter 1987, Samson *et al.*, 1984 y Watanabe 2002; se identificaron a nivel de género, aquellas colonias que desarrollaron estructuras óptimas de crecimiento.

### 1.8.8.3 Criterio de Yadav y Madelin

Este criterio fue propuesto por Yadav y Madelin (1968), también es conocido como criterio de frecuencia o de presencia/ausencia. Permite clasificar los registros fúngicos de acuerdo con el número de incidencias observadas; asimismo, permite comparar los resultados en diferentes sitios con base en las categorías propuestas. Dichas categorías toman valores de 0 a 100%, en el cual al género con el valor más elevado de registros se le asigna el 100% y a los demás un valor en porcentaje al compararse con el género más abundante. Se presenta a continuación una tabla con los criterios de frecuencia propuestos por los autores para la comparación entre las cantidades de conidios encontrados:

<b>Criterios de frecuencia de Yadav y Madelin</b>		
	Muy común	100-80 %
	Común	79-61 %
	Frecuente	60-41 %
	Ocasional	40-21 %
	Raro	20-0.1 %
	No encontrado	0 %

Tabla 3. Criterios de frecuencia propuestos por Yadav y Madelin

### 1.8.9 Índices de diversidad y similitud

Para el manejo de los siguientes índices, cada UFC referente a los géneros fúngicos reportados fue considerada como un individuo.

#### 1.8.9.1 Índice de Simpson

Este índice propuesto por Simpson (1949), también conocido como el Índice de la Diversidad de las Especies o Índice de Dominancia, es uno de los más utilizados por los investigadores; permite calcular la dominancia de una especie y, en su forma inversa, permite cuantificar la diversidad de un hábitat, tomando el número de individuos presentes en la zona de estudio y su abundancia relativa. El índice toma valores entre 0 y 1, donde 1 indica

dominancia de una especie, mientras que un valor es cercano a 0 refiere que hay una mayor diversidad en la zona (Bouza, 2005). El índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$S = 1/\sum \left( \frac{n_1(n_1 - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

H = Índice de Simpson  
 ni = número de individuos de la misma especie  
 N = número total de individuos

Figura 10. Formula citada por Bouza (2005).

### 1.8.9.2 Índice de Shannon

El índice de Shannon es uno de los modelos empleados en Ecología y otras ciencias similares para medir la biodiversidad específica. Una de sus ventajas es la facilidad en el manejo de los datos, ya que basta con poder distinguirlos entre sí para indicar qué tan uniformes están representadas las especies muestreadas (Chao *et al.* 2004). Este índice se expresa con valores positivos que oscilan entre 0,5 y 5; dando valores bajos entre 0.5 y 1.9, valores normales entre 2 - 3 y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. El índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$H = -\sum_{i=1}^x pi * \log_2(pi) \quad \text{Dónde: } pi = \frac{n_1}{N}$$

H = Índice de Shannon  
 ni = número de individuos de una especie determinada  
 N = número total de individuos

Figura 11. Formula citada por Chao *et al.* (2004)

### 1.8.9.3 Índice de Jaccard

Este índice consta de una expresión matemática sencilla, definida como coeficiente de Jaccard, para expresar la semejanza entre comunidades. Contempla la relación de presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas y en el número total de especies. El índice toma valores entre 0 y 1; donde un valor de 1 indica una similitud alta entre los sitios, mientras que si el valor es cercano a 0 refiere que hay un grado elevado de disimilitud. El índice se expresa en porcentaje dado la multiplicación última que es por 100, lo que nos expresa el porcentaje de semejanza entre las comunidades comparadas (Badii *et al.* 2007). El índice se calculó con la siguiente fórmula:

$$IJ = \frac{C}{A + B - C} * 100$$

IJ = Índice de Jaccard  
 A = número de especies de la comunidad A  
 B = número de especies de la comunidad B  
 C = número de especies comunes en ambas comunidades

Figura 12. Formula citada por Badii *et al.* (2007).

## 1.9 RESULTADOS

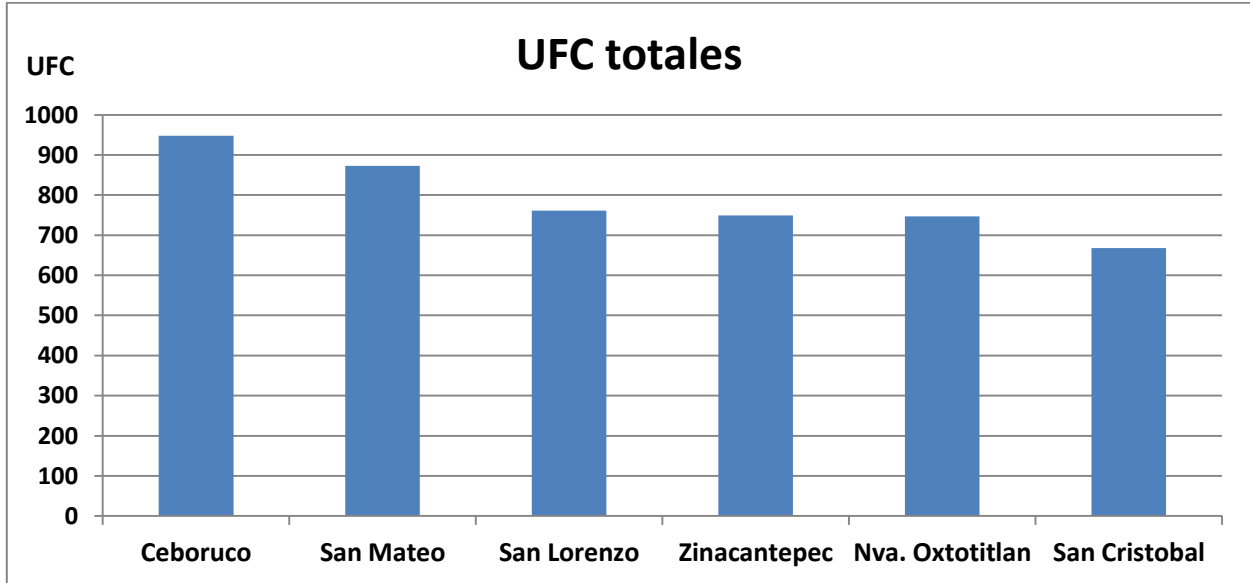
### 1.9.1 UFC registradas

En la campaña comprendida del 25 mayo del 2017 al 27 marzo del 2018 se realizaron 20 muestreos por sitio (San Mateo Atenco, Ceboruco, San Cristóbal Huichochitlán, Oxtotitlán, San Lorenzo Tepaltitlan y San Miguel Zinacantepec) y se procesaron 360 cajas, de las cuales se obtuvieron 4,780 registros y se reportaron 4,746 colonias fúngicas distribuidas en 75 géneros fúngicos, micelio estéril (328), picnidios (estructuras de resistencia, 9) y un hongo dematiaceo que mostró pigmentación, mas no estructuras suficientemente claras para identificarlo por género. Además de lo antes mencionado, también se registraron levaduras (22), cajas sin crecimiento (6), ácaros (4), bacteria (1) y un hongo degradado que no pudo identificarse (Tabla 5).

Género	N	Género	N	Género	N
<i>Cladosporium</i>	1024	<i>Ampelomyces</i>	16	<i>Eurotium</i>	2
<i>Alternaria</i>	743	<i>Arthrotrys</i>	15	<i>Genicularia</i>	2
<i>Fusarium</i>	437	<i>Dwayabeeja</i>	15	<i>Hirsutella</i>	2
Estéril	328	<i>Papulospora</i>	15	<i>Neosartorya</i>	2
<i>Epicoccum</i>	286	<i>Trichoderma</i>	15	<i>Rizophus</i>	2
<i>Acremonium</i>	260	<i>Geotrichum</i>	14	<i>Stachybotrys</i>	2
<i>Penicilium</i>	217	<i>Monilia</i>	14	<i>Amblyosporium</i>	1
<i>Gonatobotrys</i>	181	<i>Asteromella</i>	13	<i>Cacumisporium</i>	1
<i>Scopulariopsis</i>	105	<i>Monascus</i>	13	Dematiaceo	1
<i>Botrytis</i>	87	<i>Curvularia</i>	12	<i>Dreschlera</i>	1
<i>Verticilium</i>	87	<i>Hyalodendron</i>	12	<i>Exophiala</i>	1
<i>Peyronellaea</i>	71	<i>Absidia</i>	10	<i>Fusicladium</i>	1
<i>Ulocladium</i>	69	<i>Helicocephalum</i>	10	<i>Glicoccephalothricum</i>	1
<i>Pythium</i>	64	<i>Byssochlamys</i>	9	<i>Gonytrichum</i>	1
<i>Pithomyces</i>	58	<i>Cristulariella</i>	9	<i>Helicosporium</i>	1
<i>Trichocladium</i>	50	Picnidios	9	<i>Humicola</i>	1
<i>Bipolaris</i>	49	<i>Chrysosporium</i>	8	<i>Oidiodendron</i>	1
<i>Phoma</i>	48	<i>Chaetomium</i>	7	<i>Rynchosporium</i>	1
<i>Nigrospora</i>	47	<i>Wallemia</i>	7	<i>Scedosporium</i>	1
<i>Paecilomyces</i>	34	<i>Asteromyces</i>	5	<i>Umbelopsis</i>	1
<i>Torula</i>	28	<i>Chaetophoma</i>	5		4746
<i>Aspergillus</i>	26	<i>Phialophora</i>	5	<b>Estructuras</b>	<b>N</b>
<i>Basipeptospora</i>	26	<i>Sirosporium</i>	5	Levadura	22
<i>Bispora</i>	26	<i>Chalaropsis</i>	4	Caja vacía	6
<i>Wardomyces</i>	26	<i>Memnoniella</i>	4	Ácaros	4
<i>Oidium</i>	24	<i>Pseudotorula</i>	4	Bacterias	1
<i>Mucor</i>	19	<i>Dendryphion</i>	3	Degradado	1
<i>Periconia</i>	19	<i>Stemphylium</i>	3		34
<i>Aureobasidium</i>	18	<i>Cirrenalia</i>	2	<b>TOTAL</b>	<b>4780</b>

Tabla 4. Conteos totales de UFC y otras estructuras reportadas durante la campaña de muestreo.

Por sitio de registro, el conteo de las 4,746 UFC presentó el siguiente resultado: Ceboruco 948 (20%), San Mateo Atenco 873 (18%), San Lorenzo Tepaltitlan 761 (16%), San Miguel Zinacantepec 749 (16%), Oxtotitlán 747 (16%), y San Cristóbal Huichochitlán 668 (14%), respectivamente.



Gráfica 1. Conteos de UFC por sitios reportados durante la campaña de muestreo.

De los géneros registrados 19 han sido catalogados como alérgenos de acuerdo con la literatura, estos son:

- *Acremonium*
- *Alternaria*
- *Aspergillus*
- *Aureobasidium*
- *Bipolaris*
- *Botrytis*
- *Cladosporium*
- *Curvularia*
- *Epicoccum*
- *Fusarium*
- *Geotrichum*
- *Monilia*
- *Mucor*
- *Penicillium*
- *Phoma*
- *Rhizopus*
- *Stemphylium*
- *Trichoderma*
- *Verticillium*

### 1.9.2 Criterio de Yadav y Madelin

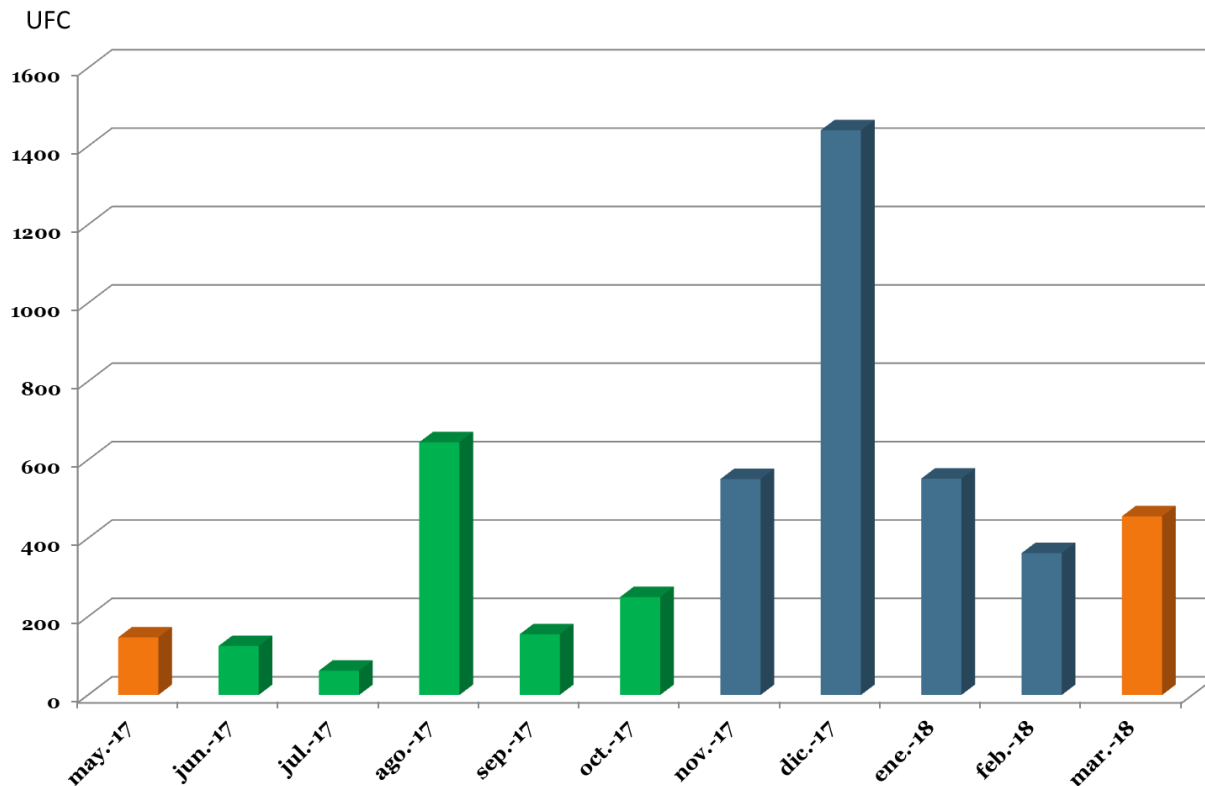
Los hongos se ubicaron en categorías de frecuencias según el criterio propuesto por Yadav y Madelin, identificando al género *Cladosporium* (1,024 UFC) como el de mayor prevalencia y, por lo tanto, muy común. *Alternaria* (743 UFC) se registró como un género común, mientras que *Fusarium* (437 UFC) se presentó como frecuente. Se registraron otros tres géneros dentro del criterio de ocasional, los cuales fueron *Epicoccum* (286 UFC), *Penicillium* (260 UFC) y *Acremonium* (217 UFC); así como también Micelio Estéril (328 UFC). Los géneros restantes se registraron como raros.

Género	N	%		Género	N	%	
<i>Cladosporium</i>	1024	100		<i>Hyalodendron</i>	12	1.17	
<i>Alternaria</i>	743	72.56		<i>Absidia</i>	10	0.98	
<i>Fusarium</i>	437	42.68		<i>Helicocephalium</i>	10	0.98	
<i>Esteril</i>	328	32.03		<i>Byssochlamys</i>	9	0.88	
<i>Epicoccum</i>	286	27.93		<i>Cristulariella</i>	9	0.88	
<i>Acremonium</i>	260	25.39		<i>Picnidios</i>	9	0.88	
<i>Penicillium</i>	217	21.19		<i>Chrysosporium</i>	8	0.78	
<i>Gonatobotrys</i>	181	17.68		<i>Chaetomium</i>	7	0.68	
<i>Scopulariopsis</i>	105	10.25		<i>Wallemia</i>	7	0.68	
<i>Botrytis</i>	87	8.50		<i>Asteromyces</i>	5	0.49	
<i>Verticillium</i>	87	8.50		<i>Chaetophoma</i>	5	0.49	
<i>Peyronellaea</i>	71	6.93		<i>Phialophora</i>	5	0.49	
<i>Ulocladium</i>	69	6.74		<i>Sirosporium</i>	5	0.49	
<i>Pythium</i>	64	6.25		<i>Chalaropsis</i>	4	0.39	
<i>Pithomyces</i>	58	5.66		<i>Memnoniella</i>	4	0.39	
<i>Trichocladium</i>	50	4.88		<i>Pseudotorula</i>	4	0.39	
<i>Bipolaris</i>	49	4.79		<i>Dendryphon</i>	3	0.29	
<i>Phoma</i>	48	4.69		<i>Stemphylium</i>	3	0.29	
<i>Nigrospora</i>	47	4.59		<i>Cirrenalia</i>	2	0.20	
<i>Paecilomyces</i>	34	3.32		<i>Eurotium</i>	2	0.20	
<i>Torula</i>	28	2.73		<i>Genicularia</i>	2	0.20	
<i>Aspergillus</i>	26	2.54		<i>Hirsutella</i>	2	0.20	
<i>Basipeptospora</i>	26	2.54		<i>Neosartorya</i>	2	0.20	
<i>Bispora</i>	26	2.54		<i>Rizophus</i>	2	0.20	
<i>Wardomyces</i>	26	2.54		<i>Stachybotrys</i>	2	0.20	
<i>Oidium</i>	24	2.34		<i>Amblyosporium</i>	1	0.10	
<i>Mucor</i>	19	1.86		<i>Cacumisporium</i>	1	0.10	
<i>Periconia</i>	19	1.86		<i>Dematiaceo</i>	1	0.10	
<i>Aureobasidium</i>	18	1.76		<i>Dreschlera</i>	1	0.10	
<i>Ampelomyces</i>	16	1.56		<i>Exophiala</i>	1	0.10	
<i>Arthrobotrys</i>	15	1.46		<i>Fusicladium</i>	1	0.10	
<i>Dwayabeeja</i>	15	1.46		<i>Glicocephalothricum</i>	1	0.10	
<i>Papulospora</i>	15	1.46		<i>Gonytrichum</i>	1	0.10	
<i>Trichoderma</i>	15	1.46		<i>Helicosporium</i>	1	0.10	
<i>Geotrichum</i>	14	1.37		<i>Humicola</i>	1	0.10	
<i>Monilia</i>	14	1.37		<i>Oidiodendron</i>	1	0.10	
<i>Asteromella</i>	13	1.27		<i>Rynchosporium</i>	1	0.10	
<i>Monascus</i>	13	1.27		<i>Scedosporium</i>	1	0.10	
<i>Curvularia</i>	12	1.17		<i>Umbelopsis</i>	1	0.10	

Tabla 5. Clasificación de UFC utilizando el criterio de frecuencia propuesto por Yadav y Madelin

### 1.9.3 Estacionalidad de las UFC

Son diversos factores los que inciden en la prevalencia de propágulos fúngicos en la atmósfera (humedad, temperatura, radiación UV, velocidad y dirección del viento), mismos que determinan las condiciones ambientales de las temporadas climáticas y el lugar. En cuanto a la estacionalidad, la época de seca-fría fue aquella que registró el conteo más elevado de UFC con 2,906, seguida de lluvias con 1,237 y seca cálida con 603 UFC.



Gráfica 2. Estacionalidad de las UFC durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo. El color naranja hace referencia a la época Secca-cálida, verde a Lluvias y azul a Secca-fría.

Al realizar el análisis de las épocas climáticas por sitio, se observó un comportamiento similar al de los conteos de las UFC, presentando la mayor concentración en la época secca-fría y los menores en la secca-cálida. Se resalta que Ceboruco presentó los conteos más elevados para dos temporadas, secca-fría (617) y secca cálida (119), mientras que Zinacantepec fue el sitio con el mayor conteo en la temporada de lluvias (269). Los conteos menores se dieron en San Cristóbal en la temporada de lluvias (177) y la secca fría (376); y para la secca cálida se presentó en San Lorenzo (83). De igual manera, a pesar de que los sitios presentaron diferencias en los conteos, todos siguen una misma tendencia, siendo la época secca fría la que presento más UFC, seguida de la de lluvias y luego la secca cálida.

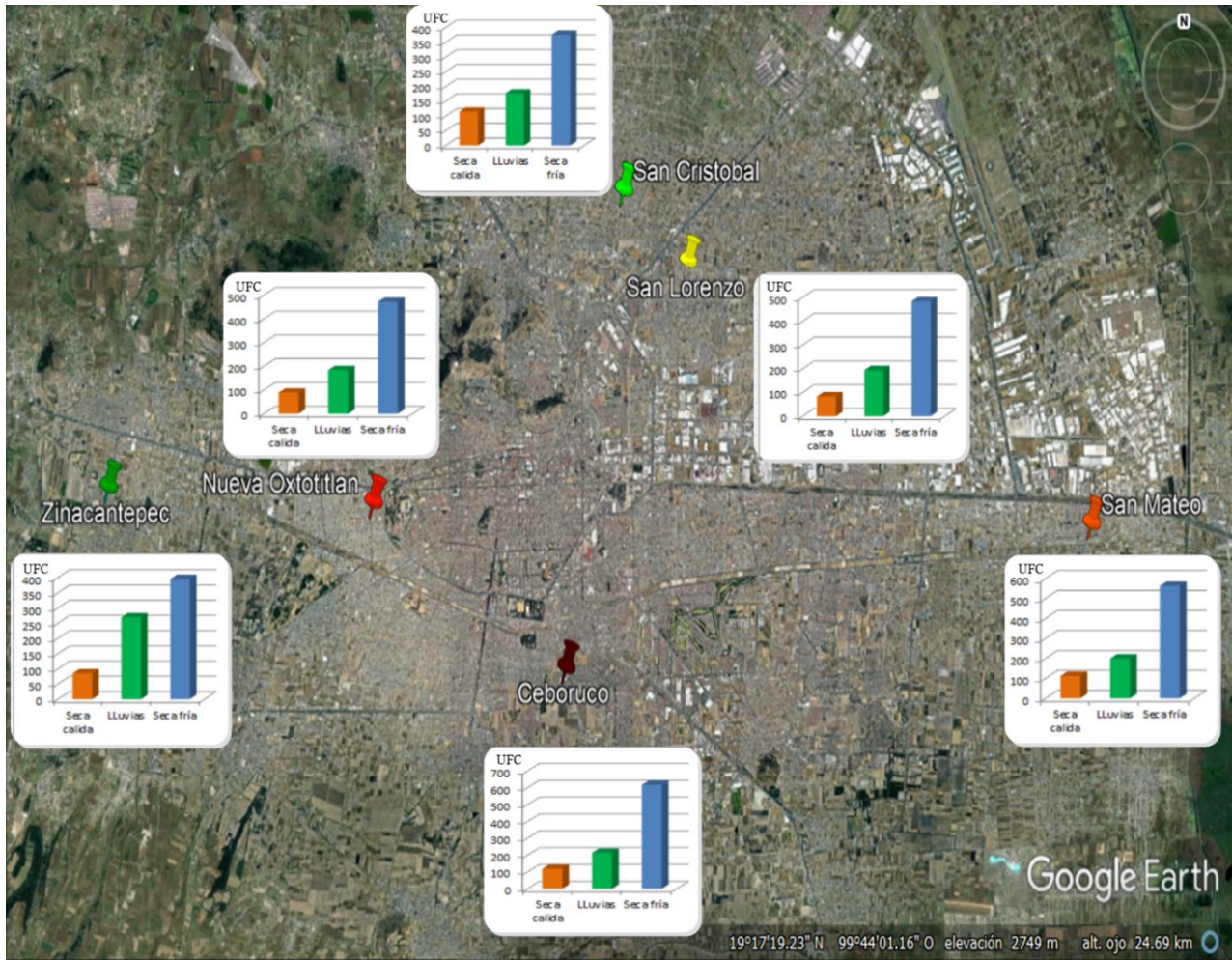


Figura 13. Comportamiento estacional de las UFC durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo en cada sitio de muestreo. El color naranja hace referencia a la época Seca-cálida, verde a Lluvias y azul a Seca-fría.

### 1.9.4 Análisis estadístico

Para conocer la diversidad de las UFC en la ZMVT, se emplearon 2 índices: Shannon-Wiener y Simpson y, de igual manera se obtuvo el índice de similitud de Jaccard entre los sitios de muestreo, con los siguientes resultados.

#### 1.9.4.1 Índice de Shannon

Se obtuvo un valor de 2.96, que nos indica que el grado de diversidad reportado está dentro del criterio de diversidad normal, con una tendencia a una diversidad alta de acuerdo con los valores propuestos por el índice.

#### 1.9.4.2 Índice de Simpson

Se obtuvo un valor de 0.09 con respecto a la dominancia, mientras que para la diversidad fue de 0.90. Lo anterior representa, de acuerdo con los valores propuestos por el índice, una dominancia baja, y una alta diversidad en la zona de estudio.



### 1.9.4.3 Índice de Similitud o de Jaccard

Muestra como resultados: una mayor similitud entre los sitios de Ceboruco y Zinacantepec con un 71.9 % de similitud, seguido por San Mateo y Oxtotitlan con 63.2%. Mientras que los sitios con menor similitud fue Ceboruco con San Cristbal y San Lorenzo con un 54.2% y 52.5% respectivamente. Cabe mencionar que el porcentaje de similitud reportado entre todas las estaciones fue superior al 50%.

%	NVO	CEB	ZIN	SNL	SNM	SNC
NVO		62.7%	61.4%	58.5%	63.2%	63.5%
CEB	62.7%		71.9%	52.5%	59.7%	54.2%
ZIN	61.4%	71.9%		56.4%	61.0%	55.4%
SNL	58.5%	52.5%	56.4%		58.2%	61.2%
SNM	63.2%	59.7%	61.0%	58.2%		66.0%
SNC	63.5%	54.2%	55.4%	61.2%	66.0%	

Tabla 6. Porcentajes de similitud calculados con el Coeficiente de Jaccard entre los seis sitios de muestreo de la ZMVT. Se resaltan en rojo los dos valores más altos y en azul los dos más bajos

## 1.10 DISCUSIÓN

La atmósfera representa un medio óptimo y veloz para el transporte de diversas partículas a una escala global, siendo los propágulos fúngicos uno de los componentes que prevalecen en la mayoría de las estaciones del año, variando en sus concentraciones de acuerdo a diversos factores (Burch y Levetin, 2002, Oliveira et al., 2009, Veléz et al. 2009). Se ha observado que la fracción fúngica de los aerosoles atmosféricos puede tener su origen en una gran variedad de fuentes naturales y antropogénicas, por lo que, dependiendo de las características de los sitios donde se encuentren, su concentración, composición y distribución en tamaños presentarán alta variabilidad espacio-temporal (Pöschl, 2005).

La presencia fúngica mostró una estacionalidad ya que fue mayor en la temporada climática seca fría (noviembre a febrero), con el valor más elevado en el mes de diciembre; le siguió la temporada de lluvias (junio a octubre) con el conteo mayor en el mes de agosto; la temporada con menos registros de UFC fue la seca cálida (marzo-mayo) con el mayor valor en el mes de marzo. Lo anterior concuerda con lo reportado por Nitiu y Mallo (2011) en un estudio realizado en La Plata, Argentina, en que se registró una mayor concentración de UFC fúngicas en el verano/otoño (diciembre a marzo / marzo a junio), mostrando su valor máximo en el mes de diciembre; asimismo, existió una diferencia en los conteos referidos para el período de otoño. En contraste, los datos no concordaron con lo reportado por López-Urbina (2017), que reportó una concentración mayor de UFC en el verano (junio-septiembre / temporada de lluvias), seguido del otoño (septiembre-diciembre / lluvias-seca fría) y por último primavera (marzo-junio / seca cálida-lluvias), lo que se explicará mas adelante. De la misma manera, se presentó una diferencia con lo observado por Ramos y Meza (2017) en los meses de marzo y septiembre, en los cuales la concentración fúngica en el aire fue más elevada; mientras que las más bajas se presentaron en julio y agosto, lo que discrepa con los valores obtenidos en el presente estudio, en el cual el mes de agosto presentó conteos elevados; sin embargo, concuerda con el mes de julio como aquél con menor presencia de estos microorganismos.

Con base en la clasificación de las tres zonas reportadas para la ZMVT propuesta por la RAMAT (2019), se realizó un análisis del comportamiento estacional de los organismos presentes en cada sitio de muestreo, ubicando dos de estos en cada una de las zonas. Se identificó así la Zona Sur (Ceboruco 948 UFC y San Mateo 873 UFC) como la que presentó una mayor concentración fúngica, seguida por la Zona Centro (Nueva Oxtotitlán 747 UFC y San Miguel Zinacantepec 749 UFC) y por último la Zona Norte (San Cristóbal 668 UFC y San Lorenzo 761 UFC) con el valor más bajo. Lo anterior concuerda con lo

reportado por López-Urbina (2017) que señaló a San Mateo (Zona Sur) como el sitio con mayor número de UFC registradas y las estaciones Aeropuerto y San Cristóbal (ambas en la Zona Norte) presentaron los conteos más bajos; cabe señalar que el estudio referido no consideró la Zona Centro.

El comportamiento observado en este estudio, puede estar relacionado con la presencia de actividades antropogénicas cercanas a las estaciones ubicadas en la Zona Sur, principalmente la construcción del Tren Interurbano de Pasajeros Toluca-Valle de México, toda vez que la Estación "Toluca-Terminal" se ubica a 1.23 km de Ceboruco y las Estación "Metepac" y "Lerma", ubicadas a 1.46 km y 2.9 km de distancia con San Mateo, respectivamente. De igual manera se resalta la cercanía de ambos sitios a una de las vías principales de la ZMVT, el Boulevard Solidaridad la Torres, que cuenta con un gran afluente vehicular. Lo antes mencionado se relaciona con lo reportado por Pérez-Vidal et al. (2010), quienes identificaron como fuentes de partículas suspendidas diversas actividades de origen antropogénico como: fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, hornos/chimeneas de combustión de madera y motores diesel, así como obras de construcción y demolición que facilitan la volatilización de diversas partículas al aire y su dispersión con ayuda de los vehículos de automotor, aumentando su presencia en el ambiente.

También es importante resaltar que se ha reportado un crecimiento en la presencia de Centros Urbanos, por lo que surgen numerosos Planes de Desarrollo Urbano para cada uno de los municipios de la ZMVT, con la finalidad de mantener el equilibrio entre los ecosistemas urbano y natural, contener y frenar la expansión de la superficie urbana sobre áreas agrícolas, forestales y Áreas Naturales Protegidas, permitiendo prevenir impactos al medio ambiente por la aparición y desarrollo de asentamientos irregulares (Gobierno del Estado de México, 2007). Lo anterior, a su vez, se relaciona con lo reportado por Gilbert (1993) que hace referencia a distintas actividades humanas, cambios demográficos, económicos, sociales y territoriales como parte de un proceso más amplio de reestructuración económica y territorial

En cuanto al análisis de la diversidad fúngica, se observó una alta concentración con un total de 4,746 UFC y la identificación de 75 géneros en el período de muestreo, a través de la técnica de sedimentación por gravedad para la ZMVT; lo cual no coincide con lo reportado por López-Urbina (2017), sobre 2,132 UFC obtenidas y divididas en 83 géneros con el mismo método de colecta. Asimismo, el análisis de frecuencia de los 75 géneros fúngicos identificados, empleando el criterio de Yadav y Madelin arrojó un resultado similar al referido por Sánchez y Almaguer (2014), quienes identificaron a los conidios de

*Cladosporium* como aquéllos con una mayor abundancia en exteriores, seguidos por: *Alternaria*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Acremonium* y *Penicillium*. Lo anterior presenta similitudes con lo reportado por Ramos y Meza (2017) quienes, después del análisis e identificación de un total de 40 géneros fúngicos, coincidieron en reportar a *Cladosporium* como aquél con mayor frecuencia y, de igual manera, se presentaron similitudes en algunos géneros registrados como *Alternaria*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Penicillium*, *Ulocladium*, *Bipolaris*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Curvularia*, entre otros organismos presentes en el aire. De igual manera se observó una similitud con lo reportado por Calderón et al. (2015), quienes señalaron a *Cladosporium* y *Alternaria* como los hongos más relevantes encontrados durante el período de muestreo en orden de abundancia. El estudio realizado por Jędryczka (2014), presentó resultados similares al reportar los géneros *Cladosporium*, *Penicillium* y *Alternaria* como aquéllos con concentraciones más elevadas en el aire; sin embargo, discrepó con lo reportado para *Aspergillus* al no ser encontrado con la misma frecuencia.

Los resultados de los índices de diversidad de Shannon (2.96) y Simpson (0.09), mostraron una tendencia a una alta diversidad fúngica. Esto cobra una gran relevancia, debido a que, además de los potenciales impactos a la salud que pueden ocasionar, Fröhlich-Nowoisky et al. (2009), mencionan que la diversidad de hongos en el aire es poco conocida, por lo que su estudio en el aire exterior e interior adquiere una importancia mayor debido a la influencia de estos organismos en la química y física atmosférica, la biósfera y el clima al actuar como núcleos de condensación y cristalización de gotas de agua y hielo en nubes y niebla; así como en las relaciones inter específicas. Esto último se puede observar en la presencia de algunos géneros que funcionan como control biológico de diversos organismos por su identificación como entomopatógenos; tal es el caso de los géneros *Fusarium spp.*, *Hirsutella (H. thompsonii)*, *Paecilomyces (P. farinosus, P. tenuipes P. lilacinus, P. fumosoroseus / Isaria fumosoroseus)*, *Verticillium / Lecanicillium (L. lecanii / V. lecanii)* y *Rhizopus spp.*, reportados por Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez (2011) con esa cualidad y que se identificaron en el presente estudio. Aunado a lo anterior se resalta la presencia del género *Pythium spp.*, el cual está asociado a relaciones antagonistas que sirven como control biológico de diversos fitopatógenos, entre ellos otros microorganismos fúngicos. Lo anterior se sustenta con lo observado por Molina-Gayosso et al. (2007) quienes identificaron especies de dicho hongo como agentes de control biológico en contra de los fitopatógenos con origen en el suelo como son *Phytophthora spp.* y *Fusarium oxysporum*; aunque si bien se hace mención a que se requieren mayores estudios para definir el rol de las especies de *Pythium spp.* incluidas en la eficiencia del control biológico de estos patógenos. De la misma manera, se resalta el registro de algunos géneros

pueden servir como indicadores de determinadas condiciones en la zona, tal como el caso del género *Cirrenalia spp.* Está reportado en la literatura como un organismo perteneciente a los hifomicetos marinos (Chatmala et al. 2004) y su presencia en la ZMVT se puede relacionar a la ubicación de sitios donde brote agua, como la fuente ubicada en un panteón cercano a Ceboruco.

A través del uso de similitud de Jaccard, en el cual se reportó un porcentaje de superior al 50%, se observó que una fracción de los géneros identificados presentó un comportamiento ubicuo entre los seis sitios de muestreo. Lo cual difiere con lo reportado con el estudio realizado por Heredia y Arias (2008), que emplearon los valores del índice para medir el nivel de similitud de los hongos saprobios, encontrando una baja proporción de especies compartidas entre los sitios dentro de un cafetal. Cabe mencionar que actualmente no existen estudios que empleen este índice para medir la micobiota aerotransportada, ya que la mayoría de los estudios se enfocan a hongos micorrizicos o macromicetos.

La conducta observada en este estudio podría estar asociada a la dinámica de los vientos tal como lo menciona López-Urbina (2017), que el viento juega un papel importante en la liberación y dispersión de los conidios; de igual manera se indica que los vientos dominantes en la ciudad de Toluca provienen del sureste y del este, siendo esta la más constante durante el año y que cuenta con partículas atmosféricas contaminantes que son trasladadas hacia el norte y noroeste (Morales, 2007; López Urbina, 2017).

## 1.11 CONCLUSIONES

La ZMVT presenta características particulares que inciden en la calidad del aire; esto puede deberse a la diversidad de usos de suelo presentes en la zona, ya que se registran actividades agrícolas que pueden ser fuentes de origen de propágulos fúngicos por el constante manejo del suelo y vegetación para siembra y cosecha; lo anterior concuerda con la identificación de estas actividades como la principal fuente de emisión de conidios, de conformidad con la literatura. De igual manera, se observan zonas industriales que, debido a las actividades que realizan, emiten diversos contaminantes a la atmósfera, que pueden actuar de forma sinérgica con los bioaerosoles; asimismo, se señala la presencia de vías rápidas de circulación que, aunadas a las diversas actividades antropogénicas, facilitan la dispersión de diversas partículas (biológicas y químicas). Debido a esas cualidades, cada sitio de muestreo cuenta con características particulares que pueden incidir en pro o contra de la prevalencia de algunos géneros fúngicos. Lo anterior cobra mayor importancia al relacionar la prevalencia y dispersión de dichos bioaerosoles a las actividades antes mencionadas y al aumento de las mismas; así como las alteraciones asociadas a la reestructuración territorial.

Se debe resaltar la importancia de continuar realizando estudios enfocados a la diversidad de la microbiota del aire, esto con la finalidad de ampliar el conocimiento de los diferentes géneros, su comportamiento y el papel que desempeñan en el medio. Lo anterior es debido a que se registró una alta diversidad fúngica en la atmósfera de la ZMVT que, si bien supone un riesgo potencial a la salud debido a la presencia de determinados géneros con el potencial de actuar como alérgenos y/o patógenos, también resalta la importancia de otros organismos fúngicos como *Pythium* spp. que pueden participar de forma antagónica limitando la presencia y/o reactividad de otros organismos. También es importante resaltar el papel como indicadores que pueden desempeñar géneros como *Cirrenalia* spp., que nos permiten ampliar la óptica al realizar estudios similares y contemplar diversos factores adicionales que pueden relacionarse a la prevalencia de distintos géneros fúngicos en el aire.

## 1.12 LITERATURA CITADA

- AGUIRRE-ACOSTA, E., M. ULLOA, S. AGUILAR, J. CIFUENTES Y R. VALENZUELA. 2014.** "Biodiversidad de Hongos en México" *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S76-S81. Cd. México, México.
- Aguirre-Acosta, E., M. Ulloa, S. Aguilar, J. Cifuentes y R. Valenzuela. 2014.** "Biodiversidad de Hongos en México" *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S76-S81. Cd. México, México.
- Arciniégas Suárez C.A., 2012.** "Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10". *Revista Luna Azul*, núm. 34, enero-junio, pp. 195-213
- Badii, M. H., J. Landeros., y E. Cerna, 2007.** "Patrones de asociación de especies y sustentabilidad". *International Journal of Good Conscience*, 3(1): 632-660.
- Bedolla M., D.D. Hernández, 2010.** "Sensibilización a aeroalergenos en sujetos con rinitis alérgica que viven en la zona metropolitana de Guadalajara, México" *Revista Alergia México*; 57(2):50-56
- Billet, S., G. Garc-on, Z. Dagher, A. Verdin, F. Ledoux, F. Cazier, D. Courcot, A. Aboukais y S.P. Pirouz, 2007.** Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549). *Environmental Research*, 105, 212-223.
- Blackwell, M. 2011.** "The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species?" *American Journal of Botany*, 98:426-438.
- Borrego Alonso S., A. Molina Veloso, Y. Campos Abreu, D. Soberao Hernández, L. López Díaz y L. Méndez Cabrejas, 2017.** "Importancia del monitoreo microbiológico del aire interior de locales en la gestión ambiental". 10.13140/RG.2.2.26104.75524.
- Burch M y Levetin E. 2002.** "Effects of meteorological conditions on spore plumes"., *Int Arch Allergy Immunol* 46:107-117.
- Calderón O.M., S.A. Uriarte, G.P. Tejada, 2015.** "Sensibilización y exposición a pólenes y esporas de hongos alérgicos aerotransportados en ciudades del sur del Perú". *Revista Ciencia &Desarrolla*. 19: 710/ISSN 2304-8891
- Calvo-Torras M.A., J. Guarro-Artigas, G. Suárez-Fernández, 1976.** "Los hongos como agentes etiológicos de alergias y enfermedades pulmonares: su incidencia en Barcelona". *Anales de medicina. Cirugía*, Vol. 246, Num. 56, p. 329-340, ISSN 0517-6816.
- Castañeda R.E.I., P.M. Morales, F.F Avelino, B.E. Chávez, T.A. Espinosa, T.E. Morales, 2006.** "Cuantificación de bioaerosoles en las áreas de proceso de una industria zapatera poblana y su relación con la salud de los trabajadores". *Rev. Enf. Infec. Microbiol*; 26 (1).
- Celis J.E., J.R. Morales, C.A. Zaror y O.F. Carvacho, 2007.** "Contaminación del Aire Atmosférico por Material Particulado en una Ciudad Intermedia: El Caso de Chillán (Chile)". *Información Tecnológica-Vol. 18 N°3*, pág.: 49-58
- Chao A., R.L. Chazdon, R.K. Colwell & T.J. Shen, 2004.** "Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia." *Ecology Letters*, 8: 148-159
- Chatmala I., J. Sakayaroj, S. Somrithipol1 y S. Phongpaichit, 2004.** "Marine hyphomycetes of Thailand and *Cumulospora* sp", *Fungal Diversity* 17: 1-9, Thailand

- Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP), 1998**, "The quantification of the effects of air pollution on health in the United Kingdom", Technical Report
- Cox, C.S. y C.M. Wathes, 1995**, "Bioaerosols Handbook", Lewis Publishers, New York, EUA, 656 pp
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014**. "NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación". En la dirección URL: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>. Fecha de consulta: 22 de julio de 2017.
- Esworthy R., 2013**. "Air quality: EPA's 2013", "Changes to the particulate matter (PM) standard." Congressional Research Service 7-5700, n. R42934; p. 6.
- Fröhlich-Nowoisky J., Pickersgill D., Després V. R. & Pöschl U. 2009**, "High diversity of fungi in air particulate matter". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(31), 12814–12819.
- Galindo, A., 2011**. Identificación de propágulos fúngicos en zonas urbanas. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Ciudad de México.
- García E. 1990**. "Climas", 1: 4000 000. IV.4.10 (A). Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Gobierno de México, 2019**. "Contaminación del aire ambiente". En la dirección URL: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>. Fecha de consulta: 21 de Agosto de 2019.
- Gobierno del Estado de México, 2007**. "Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca, 2007-2011", Secretaría del Medio Ambiente. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69308/8\\_ProAire\\_ZMV\\_T\\_2007-2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69308/8_ProAire_ZMV_T_2007-2011.pdf) Fecha de consulta: 08 de octubre de 2019
- Heredia A., G. & R.M. Arias M. 2008**. "Hongos saprobios y endomicorizógenos en suelos". Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación, pp. 193-212. Instituto de Ecología A. C. Instituto Nacional de Ecología INE-SEMARNAT.
- Herrera, T. y M. Ulloa. 1990**. "El Reino de los Hongos, micología básica y aplicada." UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 552 p.
- Ibañez V., L. Thompson, J. Mañalich. 1998**. "Fluctuación estacional de hongos anemófilos en Santiago Norte - Chile" Boletín Micológico, Vol 13. (1-2). 47-56.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014**. "Fichas de agentes biológicos Cladosporium sp.". España. DB-H-C.spp-14.
- Jędrzycka M. 2014**, "Aeromycology: studies of fungi in aeroplankton". Folia Biologica et Oecologica, 10(1), 18– 26.
- Justia México, 2008**. En la dirección URL; <http://mexico.justia.com/federales/leyes/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente/titulo-cuarto/capitulo-ii/#articulo-112>. Fecha de consulta: 20 de Julio de 2017
- Lacey, M. y J. West, 2006**. "Introduction to Aerobiology y The Aerobiology pathway", The Air Spora, (pp. 1-14 y 15-34).Netherlands
- Li Y., H. Fu, W. Wang, J. Liu, Q. Meng, W. Wang. 2015**. "Characteristics of bacterial and fungal aerosols during the autumn haze days in Xi'an,



China" Chang'an University, Xi'an, China, Atmospheric Environment 122 (2015) 439 e 447.

- López Urbina, A., J. Castellanos-Moguel, R. V. Díaz Godoy, M. R. Reyes Montes 2017.** "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. Maestría en Ecología Aplicada. UAM Xochimilco, Ciudad de México, México.
- Maldonado-Vega M., J.J. Peña-Cabriales, S. De Los Santos-Villalobos. A.P. Castellanos-Arévalo, D. Camarena-Pozos, B. Arévalo-Rivas, L. Valdés-Santiago, L.J. Hernández-Valadez y D.L. Guzmán De Peña, 2014.** "Bioaerosoles y evaluación de la calidad del aire en dos centros hospitalarios ubicados en León, Guanajuato, México" Rev. Int. Contam. Ambient. vol.30 no.4
- Market Data México. 2019.** "Colonia Nueva Oxtotitlan, Toluca, Estado México" Disponible en la URL: <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Nueva-Oxtotitlan-Toluca-Estado-Mexico> Fecha de consulta: 20 de agosto de 2019
- Miller F. J., Gardner D.E., Graham J.A., Lee R.E., Wilsom W.E. y Bachman J.D., 1979,** "Size considerations for establishing a standar for inhalable particles." J. Air Pollu. Control Assoc. 29,610-615.
- Molina, E. 2015.** "Contaminantes biológicos del aire interior de la vivienda: factores contribuyentes, afecciones relacionadas y medidas correctivas". Rev Cubana Hig. Epidemiol. vol.53 no.1.
- Molina-Gayosso E., R. García-Espinosa, E. Zavaleta-Mejía, R.I. Rojas-Martínez y J. Pérez-Moreno, 2007.** "Pythium spp. ¿Potencia las posibilidades de control biológico asociado a la complejidad microbiana?". Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 10(2):74-77, México.
- Motta-Delgado P.A. y B. Murcia-Ordoñez. 2011.** "Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas". Revista Ambiente y Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Vol. 6, n. 2.
- Newson R., D. Strachan, J. Corden, W. Millington, 2000,** "Fungal and other spore counts as predictors of admissions for asthma in the Trent region", Occup Environ Med; 57, 786-792
- Nitíu D. y A.C. Mallo. 2011.** "Variaciones en la estacionalidad de polen y esporas fúngicas en la atmósfera de la ciudad de La Plata (Argentina)", Bol. Soc. Argent. Bot. 46 (3-4): 297-304. ISSN 0373-580
- Oliveira M., Ribeiro H y Abreu I. 2005,** "Annual variation of fungal spores in atmosphere of Porto". Annals of Agricul and Enviro Medic 12: 309-315.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2016.** Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Nota descriptiva. Septiembre de 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> Fecha de consulta: 10 de Julio de 2017
- Pérez, J.I.J., X.A. Némiga, J.F. Monroy Gaytán, J.G Gutiérrez Cedillo, M.A. Balderas Plata, M.E. Loik, M.M. Hernández González, J.M Camacho Sanabria, 2010.** "Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México" Ciencia Ergo Sum, vol. 17, núm. 2, pp. 143-153 Universidad Autónoma del Estado de México
- Pérez-Vidal H., M.A. Lunagómez-Rocha, L.I. Acosta-Pérez, 2010.** "Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco". Universidad y ciencia vol.26 no.2 Villahermosa

- Pinkerton K.E., Peake J., Plopper C.G., Hyde D.M. and Tarkington B.K., 1995,** "Particles and the respiratory bronchiol: Patterns of deposition and clearance." *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 151:A263
- Pöschl, U., 2005.** "Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects. *Angew Chem. Int. Ed.* 44:7520-7540.
- Ramos R. y V. Meza, 2017.** "Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos en la Plaza San Martín de Lima" *Ecol. apl.* vol.16 no.2 Lima.
- Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMAT), 2019.** "Estaciones de Monitoreo". Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México. Disponible en: <http://rama.edomex.gob.mx/estaciones>  
Fecha de consulta: 07 de septiembre de 2019
- Red Mexicana de Aerobiología (REMA), 2019.** "Monitoreo de polen" En la dirección URL: <http://rema.atmosfera.unam.mx/rema/PUBLICACIONES.aspx>.  
Fecha de consulta: 24 de Agosto de 2019
- Rojas NY, 2007.** "Aire y problemas ambientales de Bogotá". Universidad Nacional de Colombia, PhD Laboratorio de Ingeniería Química.
- Romero Guzmán E.T. y L.R. Reyes Gutiérrez, 2008.** "Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca". *Rev. Contacto Nuclear, ININ*
- Rosales-Castillo JA., VM. Torres-Meza, G. Olaiz-Fernández G, VH. Borja-Aburto. 2001.** "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos". *Salud pública de México. México;* 43:544-555.
- Sánchez K.C., M. Almaguer, 2014.** "Aeromicrología y salud humana". *Revista Cubana de Medicina Tropical.* 66(3):322-337
- Sistema de Monitoreo Atmosférico, 2007.** Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004. Recuperado de [http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma\\_pdf\\_ie\\_zm\\_vt.pdf](http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_ie_zm_vt.pdf).
- Swift D.L. y Proctor D.F., 1982,** "Human respiratory deposition of particles during breathing", *Atmos, Environ.* 16, 2279
- Troutt C y Levetin E. 2001,** "Correlation of spring spore concentrations and meteorological conditions in Tulsa, Oklahoma". *Int J Biometeorol,* 45:64-74.
- Veléz M., Mejías M., Salcedo Y y Camargo Y, 2009.** Emisiones atmosféricas de origen biológico: Generalidades, impactos asociados y medidas de control de aerosoles fungi. *Revista Retakvn.* II: 19-32
- World Health Organization (WHO), 2000,** "Guidelines for Air Quality", World Health Organization, Geneva, pp190

## **CAPÍTULO II**

### **COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DEL GÉNERO *CLADOSPORIUM* EN TRES TEMPORADAS CLIMÁTICAS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA**

## 2.1 RESUMEN

El género *Cladosporium* perteneciente al filo *Ascomycota*, es un hongo saprófito, reportado también como fitopatógeno y considerado por los especialistas como uno de los géneros fúngicos prevaeciente en el mundo, puesto que puede aislarse tanto del aire, como de diferentes sustratos, por ejemplo: suelos y materia orgánica en descomposición (Levetin, 2002). Presenta una temperatura óptima de crecimiento de 18°C a 28°C, sin embargo, algunas especies pueden adaptarse a temperaturas superiores a 35°C e incluso, en temperaturas bajas hasta los -6°C (Deshmukh y Rai, 2005). Se tiene registro de aproximadamente 500 especies diferentes de este género y en su mayoría se les considera alérgenos importantes, ya que los conidios, esporas y fragmentos de hifas son capaces de provocar reacciones alérgicas, de ahí que se plantee que aproximadamente 10 % de la población es sensible a este hongo (Abbott, 2004). Borrego (2012) resaltó que este género es uno de los primeros que se pueden encontrar en los ambientes interiores, incluyendo almacenes, colecciones y fondos documentales de archivos, bibliotecas y museos ya que las condiciones ambientales que favorecen la presencia de este hongo son similares a las que se tienen en el hogar.

El objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento estacional del género *Cladosporium* en la ZMVT durante sus tres temporadas climáticas. Se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días en seis sitios de la ZMVT a lo largo de 11 meses, abarcando las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida, lluvias y seca-fría. Los datos obtenidos se analizaron empleando el índice de correlación de Spearman y el análisis de componentes principales identificó una mayor presencia en la temporada climática seca fría (noviembre a febrero) y la temporada con menos registros de UFC fue la seca cálida (marzo-mayo). De igual manera se realizó un análisis de variabilidad, el cual arrojó como resultado que los parámetros ambientales presentaron la media y la variabilidad mayor en la temporada seca cálida; mientras que la seca fría presentó los valores menores.

Palabras Clave: *Cladosporium*, Parámetros ambientales, Toluca, Temporadas climáticas

## 2.2 ABSTRACT

The *Cladosporium* genus belongs to the *Ascomycota* phylum, is a saprophytic fungus, reported as phytopathogen and considered by specialists as one of the most prevalent fungal genera in the world. It can be isolated from air and a wide range of substrates such as: soils and decomposing organic matter (Levetin, 2002). It has an optimal growth temperature between 18°C to 28°C, however some species can adapt to temperatures above 35°C and even at low temperatures up to -6°C (Deshmukh y Rai, 2005). There are approximately 500 different species of this genus and most of them are considered important allergens, because the conidia, spores and hyphae fragments are associated to allergic reactions; for that reason it is considered that approximately 10% of the population presents sensitivity to this fungus (Abbott, 2004). Borrego (2012) mention that this genre is one of the first microorganism found in indoor environments including warehouses, archives and documentary collections, libraries and museums; also it was referred that some of the conditions that favor this fungus presence can occur similarly at home.

The objective was to analyze the seasonal behavior of *Cladosporium* in the ZMVT during its three climatic seasons. A sampling campaign was conducted with a periodicity of 15 days in six sites of the ZMVT over 11 months, covering three climatic periods reported for the area: dry-warm, rainy and dry-cold. The data obtained were analyzed using the Spearman correlation index and the Principal Component Analysis identifying a greater fungal presence in the cold-dry season (November-February), and the season with the lower values in warm-dry (March-May). A variability analysis was conducted, which showed that the environmental parameters presented the highest average and variability in the hot dry season; while the cold dry presented the lowest values

Key Words: *Cladosporium*, Environmental parameters, Toluca, Climatic seasons

## 2.3 INTRODUCCIÓN

*Cladosporium* está clasificado como un hongo filamentoso, perteneciente al filo *Ascomycota*. Suele presentar una temperatura óptima de crecimiento de 18° C a 28° C, pero algunas especies pueden adaptarse a temperaturas superiores a 35° C e incluso, en temperaturas bajas hasta los -6°C (Deshmukh y Rai, 2005). Como hongo ubicuo, este género incluye especies endofíticas, patógenas y saprobias. Es generalmente fitopatógeno y considerado por los especialistas como uno de los géneros fúngicos con una alta prevalencia y distribución a nivel mundial. Esto se debe a que puede aislarse tanto del aire, como de diferentes sustratos (Levetin, 2002) tales como suelos, vegetación (en descomposición, madera en putrefacción y humus de los bosques), alimentos, pinturas, textiles y otras materias orgánicas; así como fómites que pueden afectar principalmente a hospedadores humanos, bovinos, felinos, cánidos, anfibios, peces, entre otros (INSHT, 2014; Bensch *et al*, 2012).

Se tiene registro de más de 500 especies diferentes de este género, algunas de las más comunes son: *C. cladosporoides*, *C. herbarum*, *C. oxysporum*, *C. sphaerospermum*, *C. macrocarpum*, *C. elatum*, *C. fulvum*, *C. acaciicola*, *C. brachormium*, *C. butyri*, *C. castellanii*, *C. elegans*, *C. geniculatum*, *C. indicum*, *C. pallidum*, *C. verrucocladosporioides*, *C. ziziphi*. En su mayoría se les considera alérgenos importantes ya que los conidios, esporas y fragmentos de hifas son capaces de provocar estados alérgicos del Tipo I (asma y rinitis alérgica conocida como fiebre del heno), del Tipo II (neumonía por hipersensibilidad) y del tipo IV (dermatitis) de ahí que se plantee que aproximadamente 10% de la población es sensible a este hongo (Abbott, 2004). Además Borrego (2012), posterior a una revisión de varios autores, resaltó que este género es uno de los primeros que se pueden encontrar en los ambientes interiores, incluyendo almacenes, colecciones y fondos documentales de archivos, bibliotecas y museos así como en el hogar.

También es importante resaltar que diversos estudios refieren que los conidios de *Cladosporium* son fácilmente aerotransportados y pueden viajar grandes distancias por mucho tiempo, pues se encuentran y transportan junto con las partículas de polvo. Varias son las especies que presentan potencial para desencadenar reacciones alérgicas, tal es el caso de *C. herbarum* y *C. cladosporioides*, los cuales son de los hongos alérgicos respiratorios más importantes para climas templados y fríos, debido a su relación directa en casos de rinitis o fiebre del heno, asma, etc. y de éstos, *C. herbarum*, es el que frecuentemente cuenta con la mayor presencia, tanto en interiores como exteriores y ha sido identificado como la fuente principal de la mayoría de los alérgenos fúngicos inhalados. Otras especies cuentan con la capacidad de ser

patógenos, al ser agentes causantes de la cladosporiosis. Asimismo, *C. carrionii*, es conocida por causar cromomicosis, que es una lesión en la piel (Payam y Ramanathan, 2004) y *C. cladosporioides* generalmente está asociado con infecciones cutáneas, oculares y nasales (Vaillant, 1996).

## **2.4 REVISION BIBLIOGRÁFICA**

### **2.4.1 *Cladosporium* como agente causal de enfermedades**

Los hongos cuentan con el potencial de producir patologías en el ser humano, ya sea como alérgenos o desarrollando diferentes tipos de micosis; sin embargo, no se debe generalizar que la presencia de un hongo es sinónimo de enfermedades, ya que depende de diversos factores y generalmente están reportados como oportunistas que dependen de un hospedero inmunocomprometido para desarrollarse (INSHT 2014). Aunado a esto se ha observado que no todas las especies de un género producen estos efectos, para el caso particular de *Cladosporium*, algunas especies están reportadas principalmente como causantes de alergias en climas templados y fríos, tal es el caso de *C. hebarum* y *C. cladosporioides*, *C. sphaerospermum*. En otros casos se ha reportado que algunas especies pueden producir micotoxinas, tal es el caso de *C. cladosporioides* que produce cladosporina y emodina o *C. herbarum* que puede producir ácido epicladospórico. También se han reportado micosis asociadas a este género, ya que *C. Carrionii* ha sido asociado a algunos casos de cromomicosis.

#### **2.4.1.1 Morfología y Ecología de *Cladosporium* sp.**

Este género presenta características macroscópicas en la formación de sus colonias que son de apariencia aterciopelada, pulverulenta o vellosa, con pliegues radiales, de color blanco o crema que tienden a oscurecerse en tonos verde oliva, gris verdoso o tonos marrones. (INHST, 2015; Borrego-Alonso, 2012). En relación a la micromorfología, presenta hifas finas, septadas, ramificadas en cadenas de conidios unicelulares, elipsoides o cilíndricos, algunos con forma de escudo debido a las cicatrices de unión entre ellos. Los conidios se forman por gemación sucesiva del conidio anterior, estando el más joven y pequeño al final de la cadena, como se observa en la figura 14.

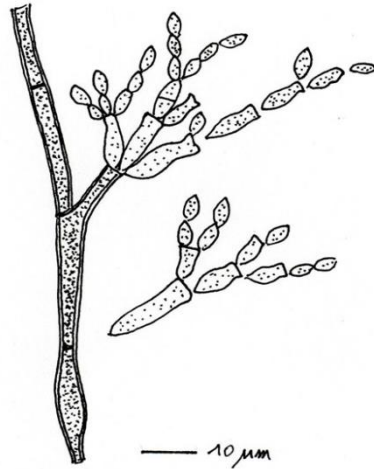


Figura 14. Morfología de *Cladosporium cladosporioides*. Tomado de Index Fungorum en el sitio: [http://www.plantasyhongos.es/herbarium/spores/Cladosporium\\_cladosporioides\\_01.jpg](http://www.plantasyhongos.es/herbarium/spores/Cladosporium_cladosporioides_01.jpg) Fecha de consulta 18 de agosto de 2019

Las especies de *Cladosporium* son cosmopolitas en distribución y se encuentran comúnmente en todo tipo de vegetación y desechos. También se pueden aislar del suelo, alimentos, pinturas, textiles y otras materias orgánicas. (Bensch et al, 2012).

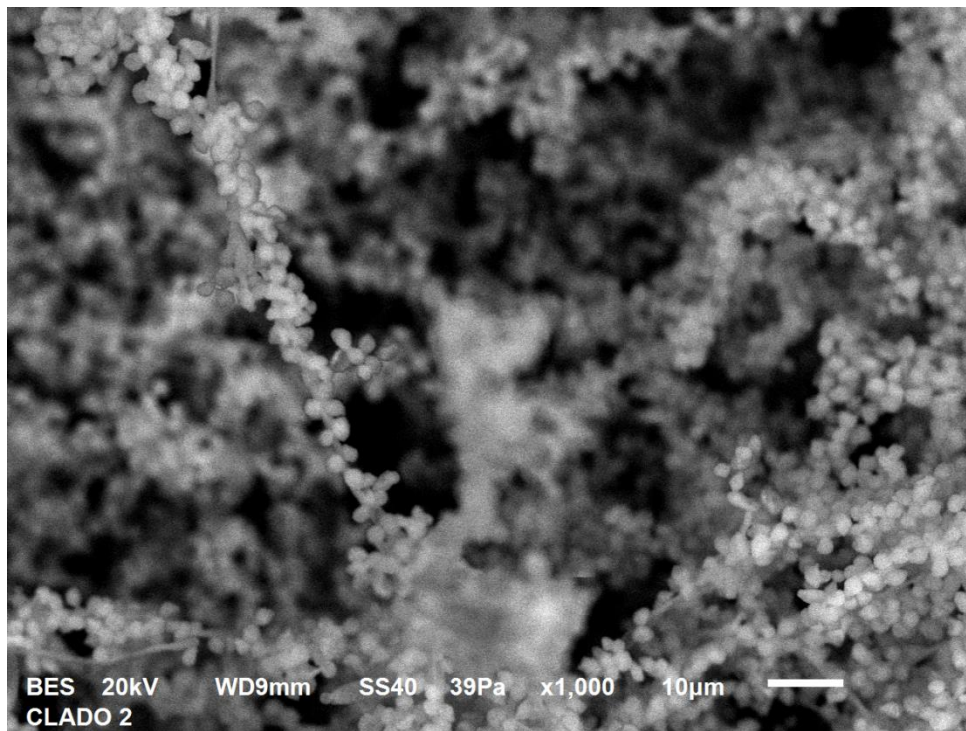


Figura 15. Imagen de la morfología de *Cladosporium sp.* con microscopía electrónica de barrido



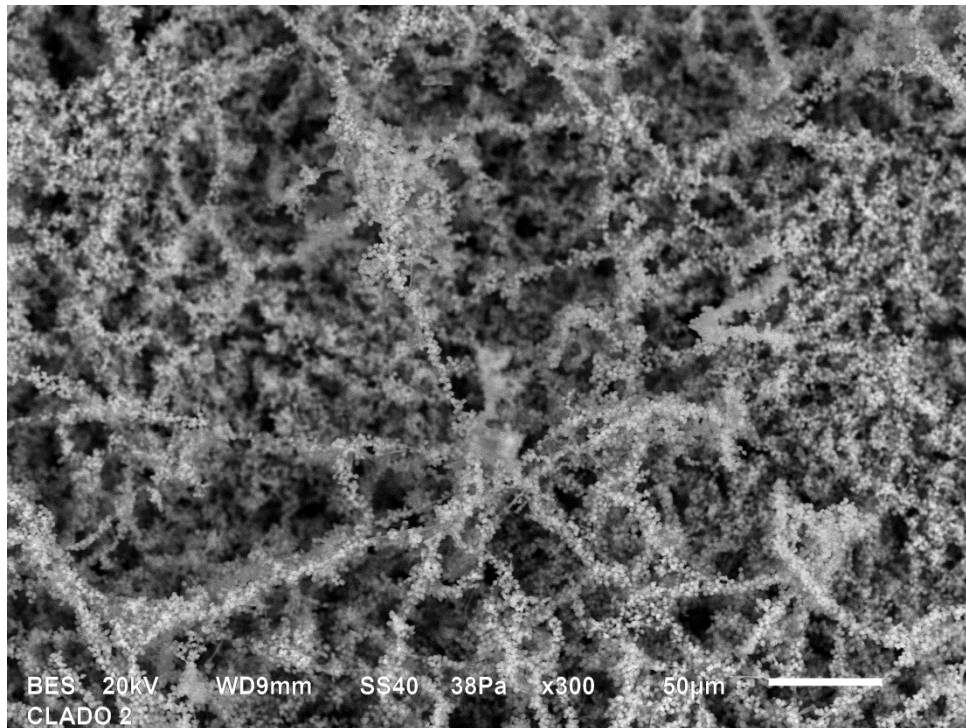


Figura 16. Imagen de la morfología de *Cladosporium* sp. con microscopía electrónica de barrido

#### 2.4.1.2 Taxonomía

*Cladosporium* presenta una clasificación taxonómica complicada, debido a las similitudes micromorfológicas que presenta con otros géneros como *Phialophora*. Se han identificado más de 500 especies del género *Cladosporium*, Simmons (2007) ha descrito 88 especies relacionadas con este género.

<b>Clasificación taxonómica</b>	
Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Subdivisión	Pezizomycotina
Clase	Dothideomycetes
Orden	Capnodiales
Familia	Cladosporiaceae
Género	<i>Cladosporium</i>

Tabla 7. Clasificación taxonómica del género *Cladosporium*.

#### 2.4.2 Importancia de propágulos fúngicos en el aire

Basílico et. al. (2002), mencionan que “la contaminación fúngica en los espacios interiores se origina principalmente en el ambiente externo, pero ingresa a las habitaciones a través de corrientes de aire, remoción de polvo, suela de los zapatos, mascotas, entre otros elementos”, y es gracias a la capacidad adaptativa antes mencionada, que, si las condiciones encontradas en el interior

son óptimas (temperatura, luz, humedad, desecación por los vientos, etc.) logran proliferar y constituir una fuente potencial de síntomas de enfermedades respiratorias, dependiendo de las propiedades fisiológicas individuales de los diversos géneros.

El monitoreo del género *Cladosporium* en la atmósfera tiene gran interés, esto se debe a su potencialidad patogénica y/o procesos alérgicos, además de su casi permanente presencia en el aire interior y exterior (Tang, 2009). De igual manera, la relevancia de ese género está asociada a su potencial fitopatógico de algunas especies del género; así como también se ha planteado que las elevadas concentraciones de estos propágulos pueden propiciar biodeterioro de objetos de valor patrimonial si existen condiciones ambientales que lo faciliten (Almaguer, et. al. 2014).

### 2.4.3 Parámetros ambientales

#### 2.4.3.1 Humedad relativa

Una variable ambiental de gran importancia por los efectos que puede generar en diversos organismos y dinámicas de los ecosistemas, es la humedad. Esta puede ser medida de forma numérica cuando se obtiene el resultado entre en la humedad absoluta del medio ambiente y la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire por unidad de volumen, al resultado de dicha operación se le denomina "humedad relativa" la cual se expresa en porcentaje (%); normalizando su valor máximo posible en el medio ambiente es del 100%. Este valor presenta una relación fuerte con la temperatura del ambiente en el momento de la medición, por lo que es común considerar y realizar la medición de ambas magnitudes al mismo tiempo.

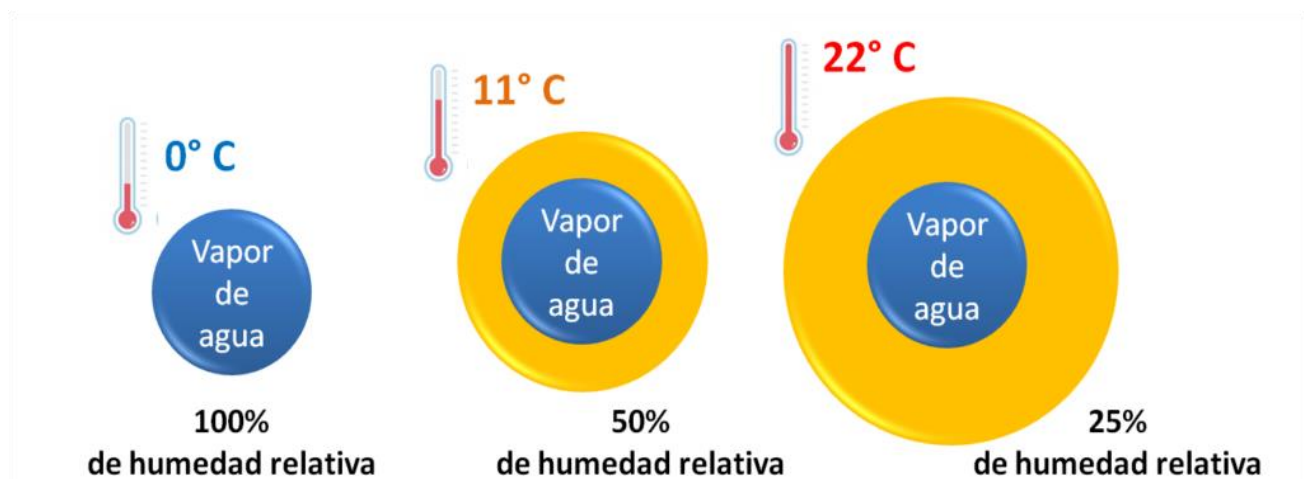


Figura 17. Relación entre el vapor de agua y la temperatura, traducido a porcentaje de humedad relativa. Modificado del sitio: <https://www.fisiorespiracion.es/blog/humedad-ideal-en-casa/>

Uno de los organismos cuya presencia y dinámicas pueden verse alteradas por el porcentaje de humedad en el ambiente, son los hongos. Cada género fúngico cuenta con espectros de tolerancia distintos para los valores de humedad, tal y como lo reportan Ortiz-Catón *et al.* (2011), quienes identificaron que la humedad relativa y la temperatura son factores importantes en el desarrollo de algunos hongos entomopatógenos como: *Verticillium lecanii*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *P. farinosus* y *Beauveria bassiana* pues presentaron una mayor actividad biológica cuando la humedad relativa se sitúa en un espectro de 81-92%. Para el caso de *Cladosporium*, se reporta que sus óptimos de crecimiento oscilan entre el 80% y 90% de humedad relativa, aunque algunas especies como *C. carrionii* tienen la capacidad de crecer con baja humedad relativa y colonizar plantas xerófilas (INSHT, 2014).

#### **2.4.3.2 Temperatura**

Desde el punto de vista físico, la temperatura hace referencia a una magnitud utilizada para medir la energía cinética de un sistema termodinámico, que depende de los movimientos de las partículas que lo conforman; a mayor movimiento, aumenta la temperatura (calor) y a menor movimiento, disminuye (frio). Dicha variable, tiene una gran incidencia en todos los seres del planeta, aunque su efecto es diferente para cada organismo, tal es el caso de los seres humanos y muchos animales, que tienen la capacidad de regular su temperatura de manera natural para adaptarse al ambiente externo; sin embargo, otros organismos como los hongos, desarrollan características y/o estrategias que les permiten encontrar una temperatura más adecuada para su crecimiento y funciones.

Un ejemplo de lo anterior, es el reporte de Yeo *et al.* (2003) que señalan que la tasa de crecimiento de algunos micromicetos (*Metarhizium anisopliae*, *Verticillium Lecanii* y *Bauveria bassiana*) era menor y más lenta a temperaturas que oscilaban entre los 10 y 15°C; mientras que entre los 20 y 25°C presentaban tasas mayores de germinación conidial y crecimiento de la colonia. El género *Cladosporium*, presenta un crecimiento óptimo a temperaturas que se encuentran entre los 18° y 28°C, ya que la mayoría de las especies no crecen en temperaturas superiores a 35°C, pero algunas como *C. herbarum* pueden crecer a bajas temperaturas hasta los -6°C (INSHT, 2014).

#### **2.4.3.3 Radiación UV**

De acuerdo con la Sociedad Americana del Cáncer (ACS por sus siglas en inglés) la luz solar es la fuente principal de la radiación ultravioleta, aun cuando los rayos UVA y UVB constituyen sólo una pequeña porción de los rayos solares (ACS, 2019). Estos se clasificaron en tres tipos principales de acuerdo con su

longitud de onda: UVC entre 100 a 280 nm, UVB de 280 a 320 nm y UVA desde 320 a 400 nm, siendo estas dos últimas capaces de atravesar la atmósfera terrestre y de ocasionar diversos efectos sobre los seres vivos. La potencia de los rayos que llegan al suelo dependerá de una variedad de factores como: hora del día, temporada del año, latitud, altitud, etc.

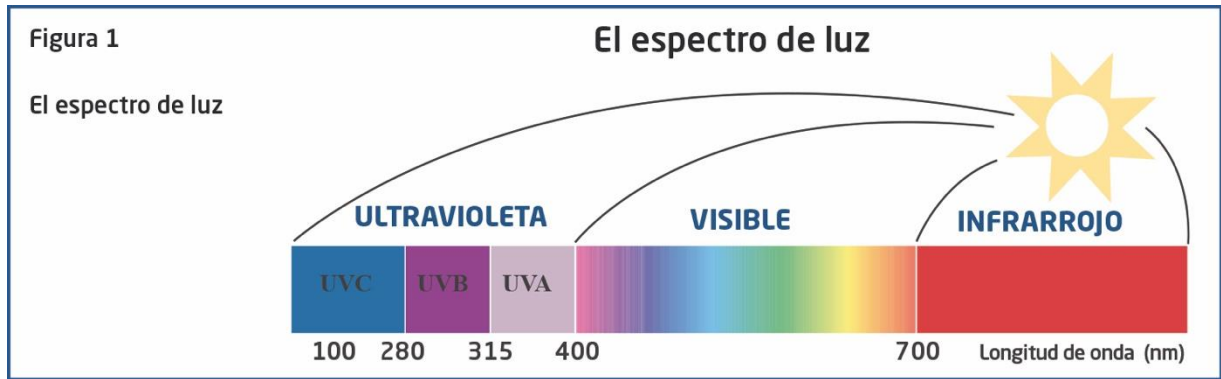


Figura 18. Composición de la luz solar de acuerdo con su longitud de onda. Modificado del sitio: <https://www.jnjvisioncare.es/education/quick-learning-by-topic/uv-and-contact-lenses/uv-damage>

Al respecto, Smits *et al.* (2004) y Grijalba *et al.* (2009), hacen referencia a que la germinación de los conidios de los hongos entomopatógenos en campo, es afectada principalmente por la radiación ultravioleta proveniente del sol; observando que su viabilidad disminuyó a la mitad después de dos horas de exposición. Es debido a este efecto, que diversos organismos fúngicos se han adaptado produciendo pigmentos que funcionan como protección contra estos rayos; tal es el caso de la melanina. Considerando lo anterior, Urán y Cano (2008) realizaron una revisión de publicaciones que refieren dicho pigmento como herramienta de supervivencia ambiental en diversos microorganismos, principalmente en hongos patógenos (aéreos y en rocas). Esto se presentó principalmente en microorganismos que presentaban melanina; tal y como se registró en géneros como *Cladosporium* y *Oidiodendron*, debido a la melanina producida que funcionó como protección contra la luz ultravioleta, radiación gamma e incluso contra la irradiación solar artificial y la desecación.

#### **2.4.3.4 Dinámica de Vientos**

Se define al viento como el fenómeno meteorológico originado por los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, que comprende el movimiento en masa de un conjunto de gases a gran escala, presentes en la atmósfera terrestre y con diferentes dinámicas, de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica.

Los vientos representan un elemento de suma importancia en el planeta, debido a los múltiples impactos que pueden generar, como el dar forma al relieve y

formación de suelos fértiles, funciona como transporte de diversas partículas en grandes distancias, su implicación en la extensión de los incendios forestales (acelerar o detener), dispersar semillas, etc. En este apartado nos enfocaremos a este componente ambiental como medio de transporte de propágulos fúngicos.

De acuerdo con Sánchez y Almaguer (2014), la mayoría de los hongos que presentan estructuras de reproducción externas, utilizan las corrientes de aire para la liberación y dispersión de sus esporas o conidios; no obstante, el comportamiento reportado en la literatura dependerá de cada género y de las características ambientales de la región estudiada, estando relacionado directamente con el movimiento de masas de aire, la turbulencia e inversión térmica, además de las características de las partículas como su tamaño, forma, densidad y textura de la superficie (Lacey y West 2006); así como del tipo de vegetación, el microambiente local y la actividad humana.

## **2.5 OBJETIVOS**

### **2.5.1 General**

Analizar el comportamiento estacional del género *Cladosporium* en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca durante sus tres temporadas climáticas.

### **2.5.2 Particulares**

- Identificar la presencia del género *Cladosporium* en los seis sitios de la ZMVT, durante las tres temporadas reportadas para la zona.
- Identificar la distribución de este género en los seis sitios de muestreo
- Revisar si los factores ambientales están relacionados con el aerotransporte de este hongo.

## **2.6 MATERIAL Y METODOS**

### **2.6.1 Propágulos fúngicos suspendidos en el aire**

Del 25 de mayo de 2017 al 27 de marzo de 2018, se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días en los seis sitios de la ZMVT indicados en el capítulo 1, teniendo un total de 20 muestreos que abarcan las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida (marzo, mayo), lluvias (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) y seca-fría (noviembre, diciembre, enero y febrero).

### **2.6.2 Obtención de UFC**

El muestreo se realizó forma simultánea en los seis sitios a las 12:00 hrs., empleando el método de sedimentación por gravedad en el cual se expusieron por 15 minutos en cada sitio tres cajas de Petri con medio de cultivo Rosa de Bengala (por su propiedad bacteriostática), adicionado con Cloranfenicol (500mg/1L) para inhibir el crecimiento de microorganismos diferentes a los hongos. El muestreo se realizó por triplicado, se colocaron 2 cajas a la altura del equipo de monitoreo atmosférico para captar propágulos fúngicos cercanos a la corriente de viento, y una más en la base del equipo para la captación de material fúngico inerte. Posterior a la toma de muestra las cajas se transportaron al laboratorio de la UAM-X, se incubaron a 28°C de 5 a 7 días, para favorecer el crecimiento de las colonias y realizar la identificación.

### **2.6.3 Identificación y cuantificación**

Una vez observado el crecimiento (macromorfología) de las colonias en las cajas, se realizaron preparaciones en fresco, extrayendo directamente de la caja una fracción de la colonia y colocándola en un portaobjetos con azul de lactofenol para facilitar la observación de estructuras reproductivas (conidios, septos e hifas), finalmente se colocó un cubreobjetos y se procedió a la identificación utilizando los microscopios ópticos Olympus CH30® y Nikon Alphaphot-2 YS2-H®, microscopio estereoscópico Olympus SZ-PT® microscopio de contraste de fases Olympus BX40® y mediante el uso de las Claves Dicotómicas de Barnett y Hunter 1987, Samson *et al.*, 1984 y Watanabe 2002; se realizó una identificación a nivel de género de aquellas colonias que desarrollaron estructuras optimas de crecimiento.

### **2.6.4 Análisis estadístico**

#### **2.6.4.1 Coeficiente de correlación de Spearman**

Con la finalidad de identificar si existe una influencia de alguno de los parámetros ambientales reportados para la ZMVT en la presencia del hongo, se empleó como método estadístico bivariado, la correlación propuesta por Spearman. Este coeficiente se utiliza principalmente para el análisis de datos y permite determinar la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables clasificadas y permite obtener un coeficiente de asociación entre variables que no se comportan normalmente, entre variables ordinales. Se calcula con base en una serie de rangos asignados, los valores van de -1 a 1, siendo 0 el valor que indica no correlación, y los signos indican correlación directa e inversa respectivamente.

#### **2.6.4.2 Análisis de componentes principales**

A través del uso de este método estadístico multivariado, se busca determinar si se presenta alguna interacción entre las variables ambientales y el género fúngico. El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística descriptiva que tiene como punto de partida una matriz de datos con una serie de individuos a los que se les han medido distintas variables. Para estudiar las relaciones que se presentan entre distintas variables, éstas se pueden transformar del conjunto original a otro conjunto nuevo relacionado entre sí, llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra. (Marín, 2017).

#### **2.6.4.3 Análisis de variabilidad (caja y bigotes)**

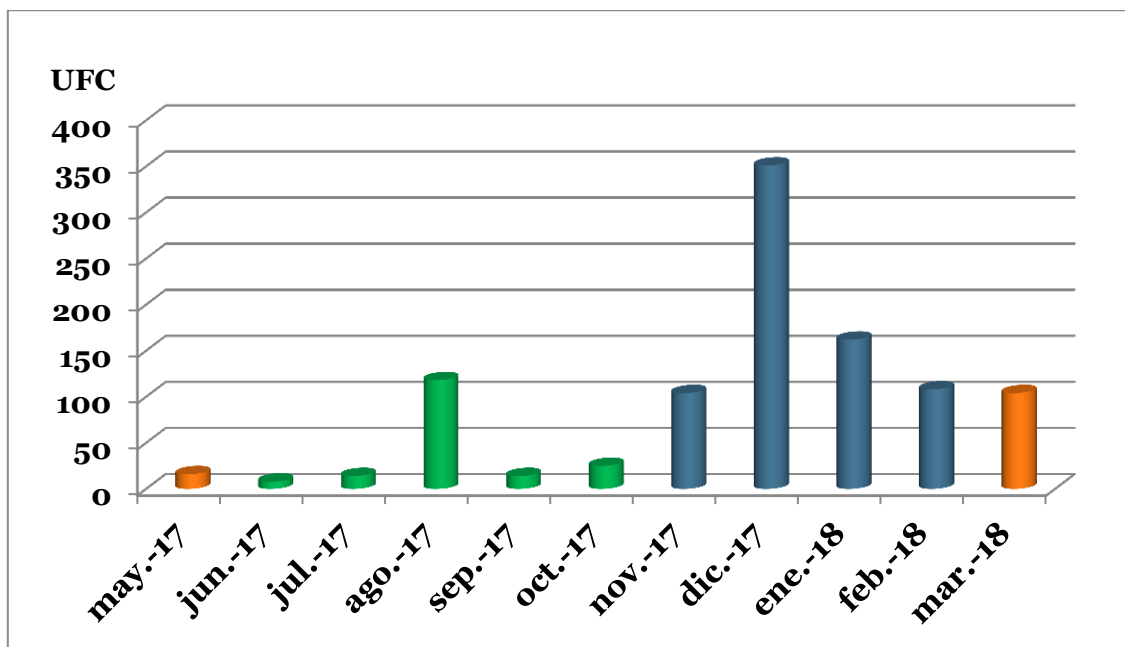
Con base en los datos obtenidos por la RAMAT en cuanto a la temperatura, irradiación UV, humedad relativa y velocidad del viento, se realizó un análisis de variabilidad de cada uno de estos parámetros por temporada climática. Para esto se utilizó un diagrama de cajas y bigotes, que es una manera conveniente de mostrar visualmente grupos de datos numéricos a través de sus cuartiles. Las líneas que se extienden paralelas a las cajas se conocen como "bigotes", y se usan para indicar variabilidad fuera de los cuartiles superior e inferior. Los valores atípicos se representan a veces como puntos individuales que están en línea con los bigotes. Los diagramas de cajas y bigotes se pueden dibujar vertical u horizontalmente. Son una excelente forma de examinar rápidamente uno o más conjuntos de datos gráficamente.



## 2.7 RESULTADOS

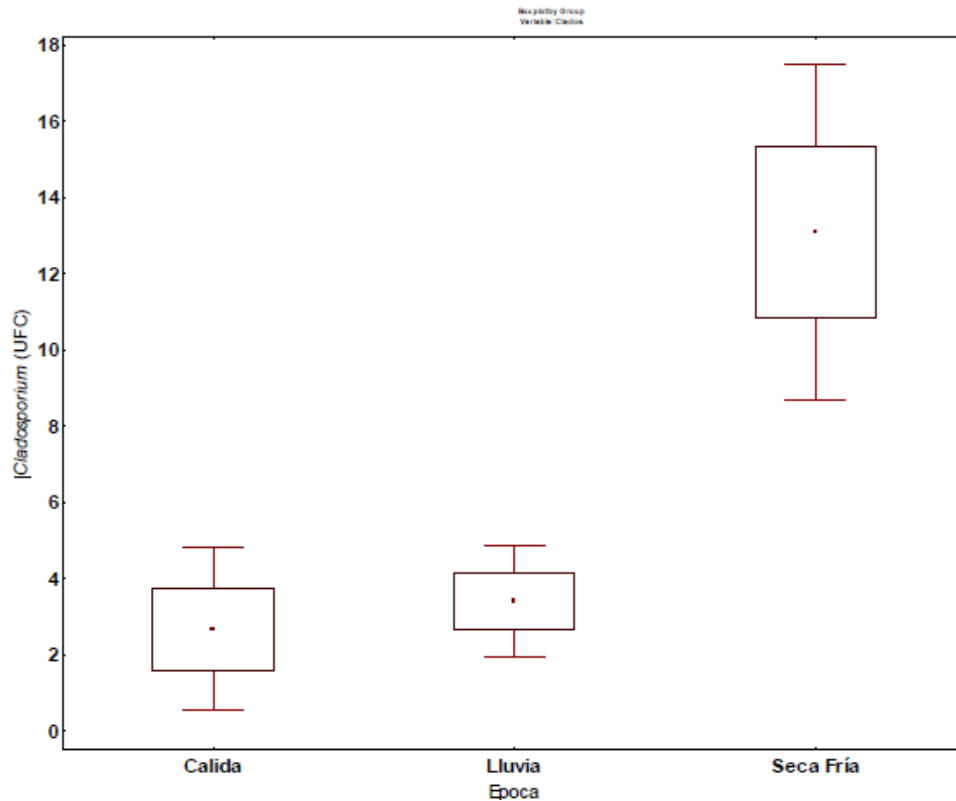
### 2.7.1 Estacionalidad de las UFC

La estacionalidad presentó un comportamiento consistente con lo reportado en el capítulo I, donde se informó el conteo de UFC del género *Cladosporium* más elevado en la temporada seca fría con 725 registros (el mayor conteo en el mes de diciembre), seguida de la temporada de lluvias con 179 (el mayor conteo en agosto) y por último la seca cálida con 120, época que registró la menor cantidad (mayor conteo en el mes de marzo); sumando un total de 1,024 UFC de dicho género para todo el período de muestreo.



Gráfica 3. Estacionalidad de las UFC del género *Cladosporium* durante las temporadas climáticas presentes en el muestreo. El color naranja hace referencia a la época Seca-cálida, verde a Lluvias y azul a Secas-frías

A través del análisis de variabilidad realizado para los seis sitios en cada una de las temporadas, se observó que ésta fue mayor en la temporada seca fría para el género *Cladosporium*, ya que oscilaron entre 18 y 9 UFC, con un valor en la media de 13; mientras que la temporada de lluvias presentó la menor variabilidad en sus conteos, oscilando entre 2 y 5 UFC.

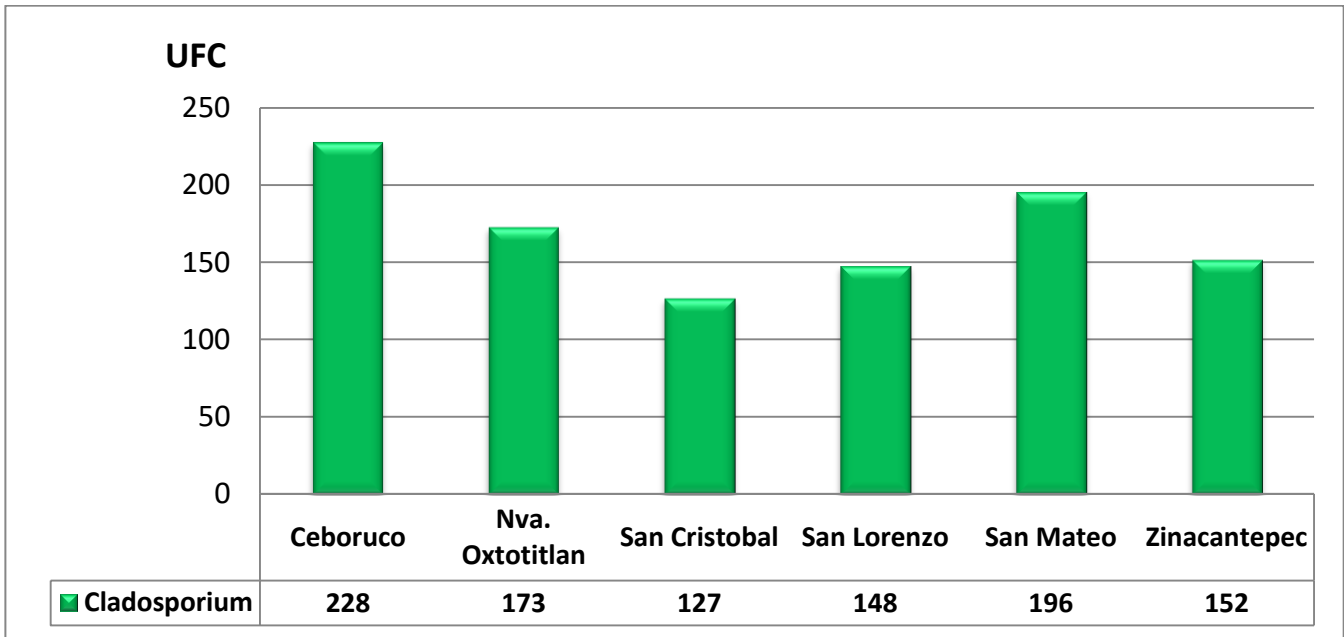


Gráfica 4. Variabilidad de las UFC del género *Cladosporium* durante las temporadas climáticas reportadas en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

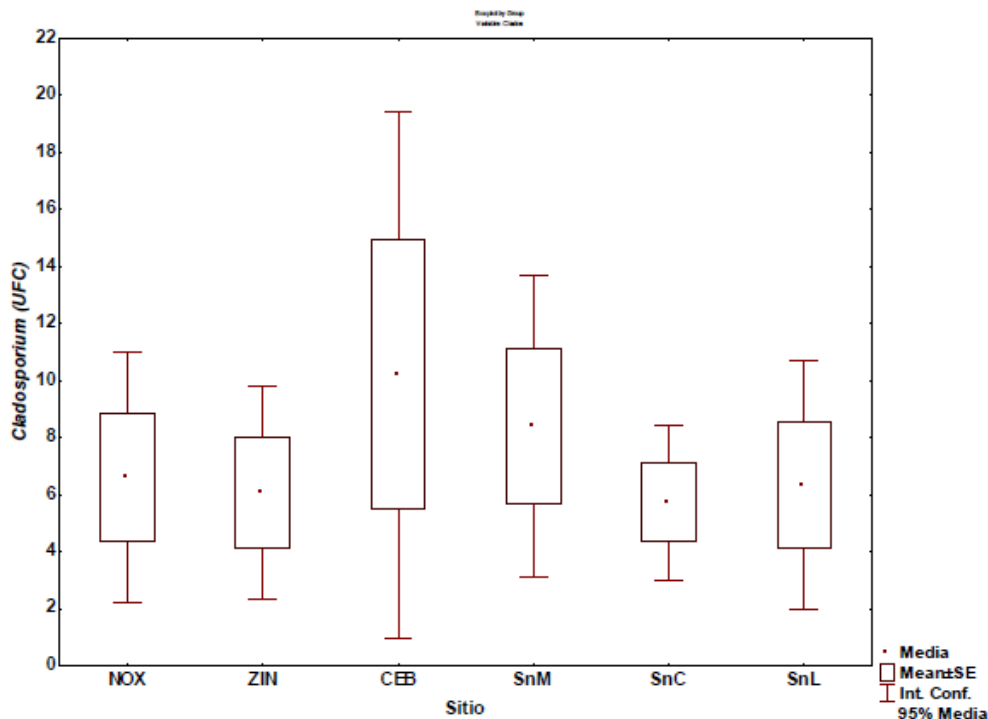
### 2.7.2 conteos por sitio

Debido a las características particulares de cada sitio de colecta, descritas en el capítulo I, las UFC del género *Cladosporium* se contabilizaron por cada uno de ellos, obteniendo el registro más elevado en Ceboruco (228), seguido por San Mateo (196), Nueva Oxtotitlan (173), Zinacantepec (152), San Lorenzo (148) y San Cristobal (127) como el sitio con el menor registro.

En cuanto al análisis de variabilidad, se observó que Ceboruco presentó el valor más alto oscilando entre 1 y 19 UFC; mientras que San Cristóbal registró el más bajo entre 4 y 8 UFC. Al realizar la comparación entre los conteos y la variabilidad de cada sitio, se observó que se comportaron de forma consistente, con valores similares entre aquéllos que registraron los máximos y mínimos.



Gráfica 5. Conteo de las UFC del género *Cladosporium* en los seis sitios de colecta de la ZMVT. NVO: Nueva Oxtotitlan, CEB: Ceboruco, ZIN: Zinacantepec, SNM: San Mateo, SNC: San Cristóbal SNL: San Lorenzo



Gráfica 6. Variabilidad de las UFC del género *Cladosporium* en los seis sitios de colecta de la ZMVT.

El análisis de las épocas climáticas por sitio, permitió observar un comportamiento consistente con lo reportado en el capítulo I, donde se indicó la mayor concentración de propágulos en la época seca-fría y los menores en la seca-cálida. Ceboruco presentó los conteos más elevados para dos temporadas: la seca-fría (165 UFC) y la seca cálida (29 UFC); mientras que Zinacantepec fue

el sitio con el mayor conteo en la temporada de lluvias (42 UFC). Los conteos menores se dieron en San Cristóbal (86 UFC) para la temporada seca fría, mientras que para la seca cálida se presentó en San Lorenzo (14 UFC); para la época de lluvias se registraron en dos sitios: Oxtotitlán (25 UFC) y San Lorenzo (25 UFC).



Figura 19. Comportamiento estacional en cada sitio de las UFC del género *Cladosporium* durante las temporadas climáticas reportadas. El color naranja hace referencia a la época Seca-cálida, verde a Lluvias y azul a Seca-fría.

### 2.7.3 Relación con parámetros ambientales

Para identificar la influencia que pueden presentar las variables climáticas con el género *Cladosporium*, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para cuatro variables ambientales: humedad, temperatura, UV y velocidad del viento. Los resultados indican que dos parámetros (velocidad del viento - 0.059430 y temperatura -0.092909) no presentaron relación con el género fúngico; sin embargo, se encontraron correlaciones negativas de las otras dos variables, la irradiación de rayos UV (-0.179700) y la humedad relativa (-0.480971), siendo esta última la identificada con mayor significancia en la presencia del hongo. Posteriormente se realizó un análisis de componentes principales, el cual mostró un comportamiento consistente con lo reportado en la correlación (Tabla 8).

Valores de correlación de Spearman de Cladosporium contra los parámetros ambientales.  
Las correlaciones marcadas son significativas en  $p < .05000$

	<b>Hum Rel</b>	<b>Temp</b>	<b>UV</b>	<b>Vel Vient</b>	<b>Cladosporium</b>
<b>Hum Rel</b>	1.000000	-0.175695	-0.013478	0.063707	<b>-0.480971</b>
<b>Temp</b>	-0.175695	1.000000	<b>0.551815</b>	-0.137300	-0.092909
<b>UV</b>	-0.013478	<b>0.551815</b>	1.000000	<b>-0.292381</b>	<b>-0.179700</b>
<b>Vel Vient</b>	0.063707	-0.137300	<b>-0.292381</b>	1.000000	-0.059430
<b>Cladosporium</b>	<b>-0.480971</b>	-0.092909	<b>-0.179700</b>	-0.059430	1.000000

Tabla 8. Correlación del género Cladosporium con los parámetros ambientales medidos por la RAMAT.

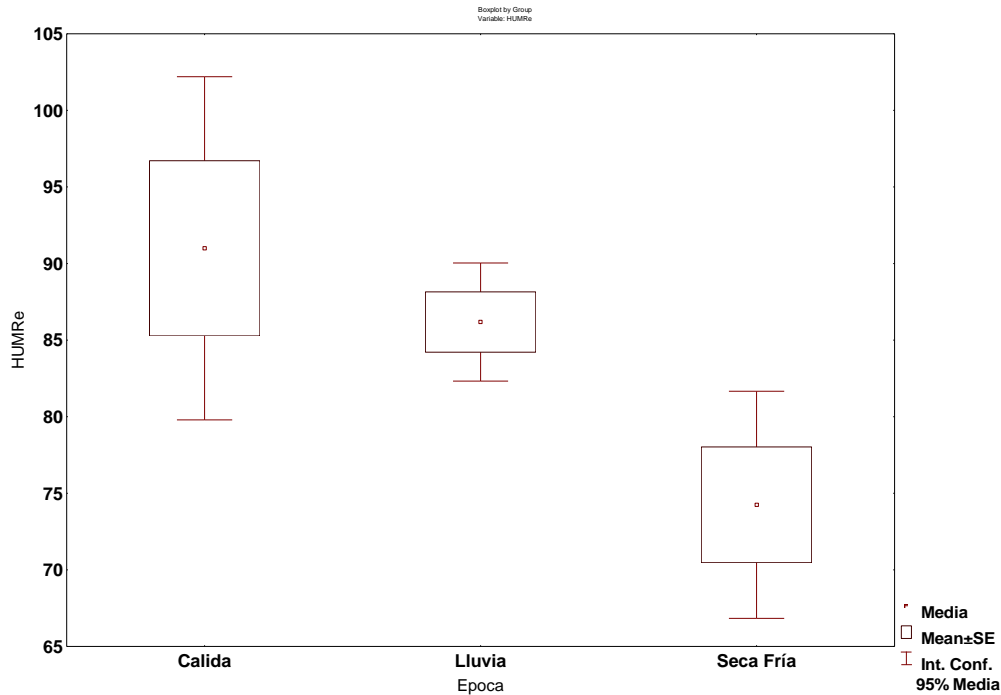


Gráfica 7. Análisis de componentes principales del género Cladosporium y los parámetros ambientales reportados.

Con la finalidad de analizar el comportamiento de cada parámetro ambiental, se realizaron dos pruebas estadísticas: a) un análisis de variabilidad de cada una de las temporadas climáticas; b) el coeficiente de correlación de Spearman con *Cladosporium*.

### 2.7.3.1 Humedad relativa

La media de valores más baja se presentó en la temporada seca fría con un valor del 74%, y aquella con el valor más elevado, en la temporada seca cálida con 82%, en la cual se presentó también la mayor variabilidad, oscilando entre 80-103%.



Gráfica 8. Variabilidad de la Humedad relativa en las temporadas climáticas de la ZMVT.

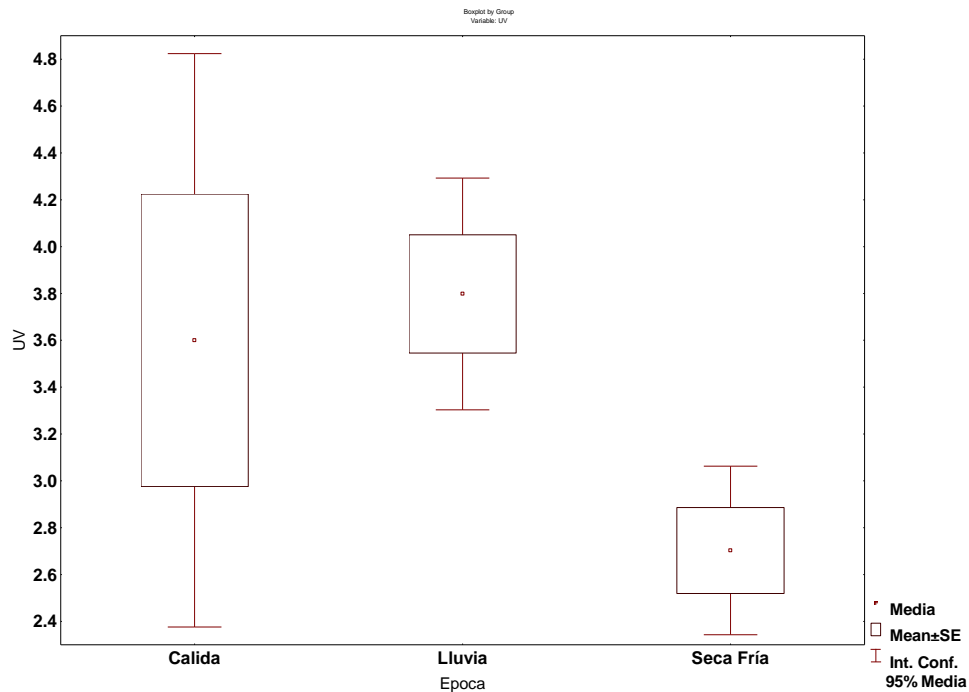
En cuanto al coeficiente de correlación, se observó que la temporada de lluvias (0.269775) presentó una correlación positiva con el género *Cladosporium*, mientras que la temporada seca fría (-0.312101) y la temporada seca cálida (-0.085714) mostraron una correlación negativa. Ninguno de los resultados mostró una relación significativa.

Valor de la correlación de Spearman <i>Cladosporium</i> vs Humedad Relativa. Las correlaciones marcadas son significativas en $p < .05000$			
	<b>Seca Cálida</b>	<b>Lluvias</b>	<b>Seca Fría</b>
<i>Cladosporium</i>	-0.085714	0.269775	-0.312101

Tabla 9. Valor de la correlación de Spearman entre el género *Cladosporium* y la humedad relativa reportada en cada temporada registrada para la ZMVT.

### 2.7.3.2 Radiación - rayos UV

Se observó una variabilidad elevada en la temporada seca cálida, donde los valores oscilaron de 2.4 a 4.8  $w/m^2$ ; la media con el valor más elevado se presentó en la temporada de lluvias (3.8), y la más baja se encontró en la seca fría con 2.6  $w/m^2$  y cuyos valores oscilaron entre 2.4 y 3  $w/m^2$ .



Gráfica 9. Variabilidad de la Radiación Solar (UV) en las temporadas climáticas de la ZMVT.

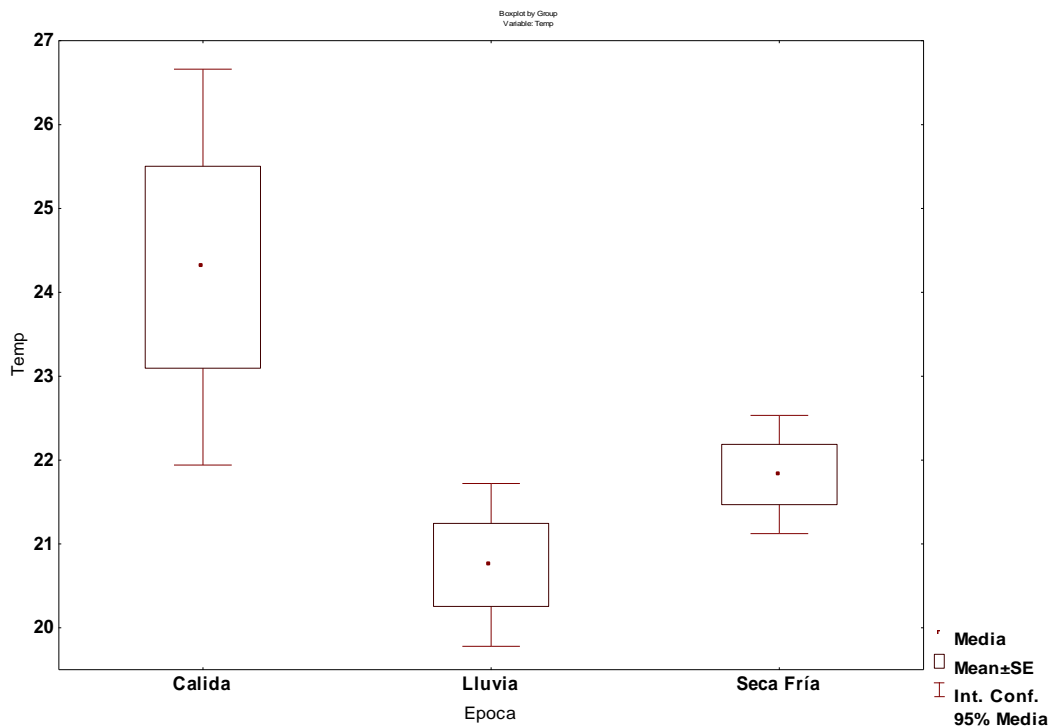
Asimismo, se reportaron dos correlaciones negativas: para las temporadas seca fría (-0.1472129) y lluvias (-0.067276); y una correlación positiva con la temporada seca cálida (0.177940). Ninguno de los resultados mostró una relación estadísticamente significativa.

Valor de la correlación de Spearman Cladosporium vs Radiación UV. Las correlaciones marcadas son significativas en $p < 0.05000$			
	<b>Seca Cálida</b>	<b>Lluvias</b>	<b>Seca Fría</b>
<i>Cladosporium</i>	0.177940	-0.067276	-0.1472129

Tabla 10. Valor de la correlación de Spearman entre el género *Cladosporium* y la radiación de rayos UV reportada en cada temporada registrada para la ZMVT.

### 2.7.3.3 Temperatura

Se observó un comportamiento similar a la variable anterior en la temporada seca cálida, donde los valores fueron los más elevados con una media de 25 °C y fluctuaciones entre los 22-26.8 °C. El valor de la media más elevado fue en la temporada de lluvias con 20.8 °C y la variabilidad más baja se registró para la seca fría.



Gráfica 10. Variabilidad de la temperatura en las temporadas climáticas de la ZMVT.

En cuanto a la correlación, se registró una correlación positiva y otra negativa respectivamente, para las temporadas seca cálida (0.002075) y lluvias (-0.079460), reportando un valor mínimo de relación con el género; cabe mencionar que la temporada seca fría (-0.260921) también registró una correlación negativa, aunque el valor de ésta fue ligeramente más elevado. Ninguno de los resultados mostró una relación significativa.

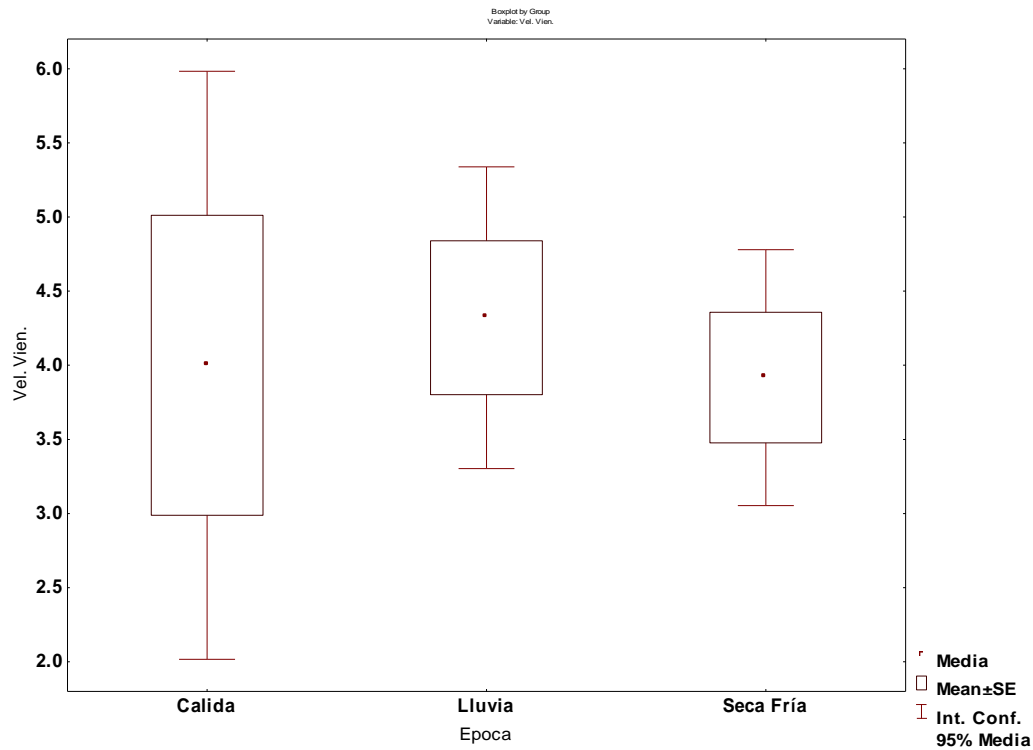
Valor de la correlación de Spearman Cladosporium vs Temperatura. Las correlaciones marcadas son significativas en $p < 0.05000$			
	<b>Seca Cálida</b>	<b>Lluvias</b>	<b>Seca Fría</b>
<i>Cladosporium</i>	0.002075	-0.079460	-0.260921

Tabla 11. Valor de la correlación de Spearman entre el género Cladosporium y la temperatura reportada en cada temporada registrada para la ZMVT.

### 2.7.3.4 Velocidad del viento

Se observó un comportamiento similar en la temporada seca cálida, donde la variabilidad fue la más elevada con fluctuaciones entre los 2.0 y 6.0 km/h.; mientras que en los valores de la media, el más elevado fue para la temporada de lluvias con 4.3 y el más bajo se registró para la seca fría con 3.8 km/h, junto con la menor variabilidad.





Gráfica 11. Variabilidad de la velocidad del viento en las temporadas climáticas de la ZMVT.

La correlación reflejó que la temporada seca cálida (-0.349116) fue la única que presentó una correlación negativa; mientras que la época de lluvias (0.216044) y la seca fría (0.0462789) presentaron valores positivos en relación con *Cladosporium*. Ninguno de los resultados mostro una relación estadísticamente significativa.

Valor de la correlación de Spearman Cladosporium vs Velocidad del Viento. Las correlaciones marcadas son significativas en $p < 0.05000$			
	<b>Seca Cálida</b>	<b>Lluvias</b>	<b>Seca Fría</b>
<i>Cladosporium</i>	-0.349116	0.216044	0.0462789

Tabla 12. Valor de la correlación de Spearman entre el género *Cladosporium* y la velocidad del viento reportada en cada temporada registrada para la ZMVT.

## 2.8 DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas de una zona de estudio pueden incidir de diversas formas en la presencia fúngica, ya sea que estas influyan en una de dos formas: que incremente o que disminuya la proliferación de estos organismos. Lo anterior se sustenta con lo reportado con Sánchez y Almaguer (2014), que mencionan que la concentración fúngica atmosférica tiende a ser mayor en regiones templadas y tropicales que en latitudes altas y desiertos, donde la colonización fúngica está limitada por las condiciones climáticas adversas. La importancia del monitoreo de *Cladosporium* radica en lo reportado por Sabariego Ruiz et al. (2004) que refieren que los conidios de este género son aquellos encontrados con mayor abundancia en la atmosfera; esto pudiera deberse al diámetro de sus conidios que le permiten una mayor dispersión por el viento.

La estacionalidad registrada para el género *Cladosporium* mostró un comportamiento consistente con lo reportado en el capítulo I, en el cual se identificó una mayor presencia en la temporada climática seca fría (Noviembre a Febrero) mostrando su valor más elevado en el mes de Diciembre, le siguió la temporada de lluvias (Junio a Octubre) con el conteo mayor en el mes de Agosto; la temporada con menos registros de UFC fue la seca cálida (Marzo-Mayo) con el mayor valor en el mes de Marzo. Lo anterior concuerda parcialmente con lo reportado por Goodman et al. (1966) quienes mencionaron que las estaciones principales para la presencia de este género son otoño e invierno; mientras que en el presente estudio se presentaron los máximos en invierno. También se registraron similitudes con lo reportado por Rocha-Estrada et al. (2013) quienes en un estudio realizado en la ciudad de Nuevo León, observaron las mayores concentraciones fúngicas en los meses de noviembre, diciembre y febrero, correspondientes al invierno.

En contraste, los datos no concordaron con lo reportado por López-Urbina (2017), que reportó una concentración mayor de UFC en el verano (junio-Septiembre / temporada de lluvias), seguido del Otoño (septiembre-diciembre / lluvias-seca fría) y por último primavera (marzo-junio / seca cálida-lluvias). De igual manera en los estudios realizados por diversos autores (Flores-Tena et al. 2007; Aira et al., 2006 y Ramos y Meza, 2018), quienes realizaron monitoreos de propágulos fúngicos en la atmosfera, reportando que las abundancias mayores se observaron durante la época de lluvia / verano (junio-septiembre); identificando al género *Cladosporium* como aquel con mayor presencia. Lo anterior concuerda con Troutt y Levetin (2001) que refirieron altas concentraciones de bioaerosoles fúngicos, destacándose los mayores aportes especialmente durante el verano con esporas que se dispersan en ambientes secos. De la misma manera, se presentó una diferencia con lo observado por

Ramos y Meza (2017) en los meses de marzo y septiembre, en los cuales, la concentración fúngica en el aire fue más elevada; mientras que las más bajas se presentaron en julio y agosto, este último discrepa con los valores obtenidos en el presente estudio, en el cual el mes de agosto presentó conteos elevados, sin embargo concuerda con el mes de julio como aquel con menor presencia de estos microorganismos.

Se realizó un análisis individual referente al comportamiento estacional en cada sitio, similar al empleado en el capítulo I, pero este enfocado en el género fúngico *Cladosporium*; de igual manera se tomó como referencia la clasificación de las tres zonas reportadas para la ZMVT. Los resultados mostraron un comportamiento similar al reportado en el capítulo I, en los cuales se identificó la Zona Sur (Ceboruco 228 UFC y San Mateo 196 UFC) como aquella que presentó una mayor concentración fúngica, seguida por la Zona Centro (Nueva Oxtotitlan 173 UFC y San Miguel Zinacantepec 152 UFC) y por último la Zona Norte (San Lorenzo 148 UFC y San Cristobal 127 UFC) como aquella con el valor más bajo. Lo anterior concuerda con lo reportado por López-Urbina (2017) que identificó al género *Cladosporium* como el género dominante en el estudio; de igual manera se observó un comportamiento similar en relación al sitio de San Mateo (Zona Sur) como aquel con un mayor número de UFC registradas y consistencias con las Zona Norte y la Zona Centro.

El comportamiento observado de este género fúngico, puede estar influido por la presencia de sectores de los municipios que presenten concentraciones vegetales o parcelas con actividades agrícolas, como se describe en el capítulo I, que cuenten con la presencia de materia orgánica en proceso de degradación. Esto se relaciona con lo reportado por Valenzuela et al. (2001), que identifica a *Cladosporium* como uno de los saprófitos primarios, categoría que incluye aquellos hongos presentes en el follaje y que son colonizadores iniciales después de la abscisión. Lo antes mencionado puede relacionarse con la agricultura, debido a una de las épocas de cosechas que se realiza en el mes de diciembre en la ZMVT; dichas actividades pueden facilitar la volatilización de los conidios de este género que se asocia con la presencia de diversos cultivos. En la ZMVT se identifica la siembra y cosecha de calabaza, maíz, haba y frijol principalmente; sin embargo de acuerdo al sitio Cadena Política (2018), la Dirección de Medio Ambiente de Toluca a través del Centro de Educación Ambiental (CEA), ha brindado talleres de siembra de hortalizas de traspatio a los habitantes con la finalidad de fomentar su uso y en los cuales se pueden encontrar rábanos, cebolla, lechuga, anís, cilantro, toronjil, hierbabuena, manzanilla, romero, albahaca, epazote y/o tomate. Dichos huertos caseros, en caso de no contar con un buen manejo y mantenimiento de sus condiciones óptimas, pueden fungir como reservorios de algunos microorganismos

fitopatógenos; tal como lo menciona Giménez-Verdu (1986) que asocia la presencia de *Cladosporium fulvum* con las manchas foliares de los tomates. De igual manera, se resalta lo reportado por Agrios (1995) el cual identificó a *Cladosporium* y otros géneros como aquellos adquiridos en el campo con mayor frecuencia. De acuerdo con lo anterior Aira et al. (2012) menciona la importancia del monitoreo de los conidios fúngicos a través de trabajos aerobiológicos con un enfoque agronómico en regiones rurales o que practican agricultura urbana. De igual manera, se hace referencia a la relevancia que representan las actividades antropogénicas cercanas a los sitios de colecta, como lo referido en el capítulo I con la construcción del Tren Interurbano de Pasajeros Toluca-Valle de México y a la cercanía a las vías principales de transporte de la ZMVT.

La prevalencia de los propágulos fúngicos en los ambientes exteriores depende de las condiciones ambientales presentes en las zonas de estudio; tal como lo mencionan Sánchez y Almaguer (2014) que demostraron que la su concentración en el aire de algunos géneros, como *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, varía dependiendo de factores biológicos, climáticos (temperatura, humedad y precipitación) o físicos (movimiento de la atmósfera, turbulencia y calentamiento); aunado a lo mencionado por Rocha et al. (2013), quienes detectaron que varios factores meteorológicos influyen sobre las concentraciones en el aire de este género, tales como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento.

Con base en los resultados obtenidos al utilizar el índice de correlación de Spearman con los datos anuales, se obtuvieron correlaciones negativas para los cuatro parámetros considerados; se identificó a la humedad relativa (-0.480971) como aquel con mayor incidencia en la presencia del género *Cladosporium*, seguido de la irradiación de rayos UV (-0.179700), temperatura (-0.092909) y por último la velocidad del viento (-0.059430), observando que los dos últimos no fueron significativos. De acuerdo con lo anterior, se observa una similitud con lo reportado por Almaguer et al. (2014), quienes observaron que algunas especies de *Cladosporium* requieren niveles bajos de humedad relativa para la liberación de sus conidios; esto se debe a que son hidrofóbicos y se dispersan por la acción pasiva del viento y la turbulencia. De igual manera Abdel et al. (2009) refiere que este tipo de conidios se encuentra en gran abundancia en una atmósfera con baja humedad, principalmente durante las horas de la tarde; mientras que un estudio realizado por Rocha et al. (2013), demostró que la precipitación influye de forma negativa sobre la presencia en el aire de *Cladosporium*, debido al efecto de lavado atmosférico. La poca significancia de la temperatura con dicho género puede relacionarse a lo reportado por Almaguer et al. (2014) los cuales señalan que éste cuenta con

una amplia distribución, crecimiento, producción y liberación de esporas en un amplio rango de temperaturas. Un ejemplo de lo anterior, es el estudio realizado por Ordoñez et al. (2008), en el cual reportaron la presencia de *Cladosporium* en las condiciones extremas presentes en la Antártica. Posteriormente, se replicó la correlación de forma individual para cada parámetro en cada una de las temporadas climáticas: seca cálida, lluvias y seca fría.

El análisis de variabilidad referente a la humedad relativa señaló que, la media con el menor valor se registró en la seca fría (74%); por otro lado la media más elevada se presentó en la temporada seca cálida (82%). Posteriormente al aplicar la correlación, se observó un valor positivo en la época de lluvias y dos negativos para la seca cálida y la seca fría, siendo esta última la única que registró un valor significativo y aquella que registró los conteos de UFC más elevados. Dicho comportamiento puede relacionarse a las condiciones de baja humedad en el ambiente presentes en la temporada seca fría; ya que de acuerdo a lo señalado por Almaguer et al. (2014), valores de humedad del 70-80% favorecen la liberación de muchas esporas fúngicas, aunque algunas especies de *Cladosporium* no requieren valores tan elevados. De igual manera, Corden et al. (2003), exponen que para la liberación de los conidios de algunos hongos a la atmósfera, es necesario un cierto grado de sequedad ambiental; también es consistente con lo reportado por Aira et al. (2012), que indican que algunas especies de *Cladosporium* requieren niveles bajos de humedad relativa para la liberación de sus esporas, demostrado por la cantidad de conidios cuantificados en climas secos. Se encontraron coincidencias con lo reportado por Rocha et al. (2013), que observaron un comportamiento similar al registrar correlaciones negativas de la humedad con la presencia de *Cladosporium* en la atmósfera de Monterrey. Sin embargo, algunas especies de este género como *C. carpophilum*, emplean las gotas de lluvia para su dispersión partiendo de zonas vegetales infectadas (Lan y Scherm, 2003; Kakde y Kakde, 2012).

Al realizar el análisis de caja y bigotes referente a la temperatura, se observó una consistencia en el comportamiento de la temporada seca cálida con los valores más elevados; sin embargo, el valor de la media más baja se presentó en la época de lluvias. En cuanto a la prueba de Spearman, se registró una correlación positiva en la seca cálida y dos negativas para las lluvias y seca fría, este último con un valor fue ligeramente más elevado; ninguno de presentó una significancia estadística. Como se hizo referencia anteriormente, algunas de las especies de *Cladosporium* cuentan con la capacidad de adaptarse a una amplia gama de temperaturas (desde 35°C hasta -6°C).

Los resultados obtenidos para el presente estudio reflejan que en la temporada seca-fría (noviembre - febrero) se encontraron los conteos más elevados de UFC, en específico el mes de diciembre; los cuales coinciden con Rocha et al. (2013) quienes observaron que las variaciones en la temperatura se correlacionan negativamente con *Cladosporium* y no presentaron significancia estadística.

En contraste, no se asemejan a lo reportado por Ramos y Meza (2018) quienes señalaron que la temperatura presentó una correlación positiva débil sobre la concentración de conidios de *Cladosporium* presentando pequeñas variaciones en los meses donde se presentaron los valores máximos y mínimos de la temperatura; de igual manera difieren con lo reportado en un estudio realizado en España por Guixá (2013), en el que reporta que las concentraciones de los conidios de este género bajan sus concentraciones en los meses de enero y febrero, pero que en el mes de marzo incrementan significativamente debido al aumento de las temperaturas medias.

Al analizar el comportamiento de la radiación de los rayos UV, se observó la media más elevada en la temporada de lluvias, mientras que la más baja se registró en la seca fría con. En cuanto a la correlación, se notó que en ninguna de las temporadas los resultados mostraron una relación significativa; donde se reportaron una correlación positiva con en la temporada seca cálida y dos correlaciones negativas para las temporadas seca fría y lluvias. Ulevičius et al. (2004) analizaron la sensibilidad a la radiación solar por parte de diversos propágulos fúngicos, concluyendo que la menor sensibilidad a la radiación se observó para aquellos recolectados al mediodía; de igual manera Ali et al. (1976) revelan la importancia de la radiación solar como un factor con efecto directo sobre la población de hongos en el aire, sin embargo también observaron que algunos géneros como *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* y *Penicillium* presentan una aparente resistencia a la radiación solar, aun cuando presentan una cierta sensibilidad a la luz.

De acuerdo con la literatura, el género *Cladosporium* se encuentra dentro de la clasificación de los hongos catalogados como dematiaceos, caracterizados por la producción de melanina en sus paredes que les brinda, entre diversos beneficios, protección frente a la luz UV (Sánchez, 2009); esta característica, se relaciona con los resultados reportados por Zhdanova et al. (1978) quienes indican que la resistencia al daño inducida por la radiación solar dependerá del contenido de melanina en la envoltura celular de cada uno de los hongos.

Al estudiar la dinámica de la velocidad del viento, se observó que la temporada de lluvias presentó la media con el valor más elevado y la más baja se registró para la seca fría. La correlación mostró valores positivos en la época de lluvias y

la seca fría; mientras que la seca cálida presentó una correlación negativa y el único valor significativo para este parámetro. El viento incide de forma directa en la liberación y dispersión de los conidios de una gran gama de microorganismos fúngicos, es gracias a sus dinámicas que diversas partículas atmosféricas contaminantes pueden ser trasladadas en distintas direcciones (Morales et al., 2007). De acuerdo con López-Urbina (2017) los vientos dominantes en la ciudad de Toluca son los provenientes del sureste y del este, siendo las más constantes durante el año. Sin embargo, de acuerdo a lo reportado con Grinn-Gofroń y Strzelczak (2013), la velocidad del viento no parece incidir con el contenido de los conidios de *Cladosporium* en la atmosfera; de igual manera Erkara et al. (2008) refieren en su estudio que la velocidad del viento no presenta una relación significativa con *Cladosporium* y *Alternaria*.

Los diferentes parámetros ambientales, como los analizados en este capítulo, pueden experimentar cambios debido a diversos factores, siendo el cambio climático uno de los principales responsables. El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés, 2019), define este cambio como: "Una modificación en el clima, atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que altera la composición global de la atmósfera y a la variabilidad climática que ha sido comparada con otros periodos de tiempo; poniendo en riesgo la salud, el acceso al agua, la seguridad alimentaria y energética". De acuerdo con lo reportado por Magaña et al. (1996) existen siete temas de vulnerabilidad asociados al cambio climático: áreas costeras, agricultura, hidrología, bosques, desertificación y sequía, asentamientos humanos, y energía e industria; estos nos permiten dimensionar la importancia e impacto asociado a esta tendencia climática. Así mismo, Granados et al. (2014) señalan cambios en la temperatura y precipitación que pueden afectar diversos agrosistemas al modificar sus condiciones favorables y el potencial productivo de las especies cultivadas; así como de los microorganismos asociados a éstos.

## 2.9 CONCLUSIONES

El género *Cladosporium* es identificado como uno de los micromicetos de mayor importancia ambiental, debido a su alta prevalencia y participación en una amplia gama de dinámicas mediante las funciones que desempeña, sus características y adaptabilidad a las condiciones del medio donde se encuentre. De acuerdo con lo anterior, se observa que para el caso de la ZMVT en la hora a la cual se realizó el muestreo, los parámetros ambientales no representaron un factor limitante para la presencia de este hongo; esto puede estar relacionado al comportamiento observado en cada temporada. La temporada seca cálida señalada como aquella con el menor conteo de UFC de este género, se caracterizó por presentar un comportamiento bastante cambiante en cuanto a los parámetros ambientales, lo que podría significar una complicación adaptativa para el microorganismo principalmente a la temperatura y humedad. A diferencia de lo reportado para la época seca fría que registró una menor variabilidad, permitiendo que el hongo estuviera expuesto a cambios menos drásticos. Cabe mencionar que, en relación a los parámetros ambientales, los registros máximos y mínimos se ubicaron dentro de los rangos óptimos reportados en la literatura para el crecimiento de este género fúngico.

En relación con la radiación UV, se confirma lo mencionado en la literatura que resalta el papel de la melanina como una mecanismo de protección de diversos factores (luz UV, radiación gama, temperatura y desecación).

Se reafirma la importancia de monitorear los propágulos fúngicos en la atmósfera, debido a la necesidad de ampliar el conocimiento de la dinámica de los diferentes géneros con el potencial de aerotransportarse. El interés por estos microorganismos presentes en el aire ha ido en aumento, evidencia de esto es que algunos países como España, cuentan con una red aerobiológica de gran importancia a nivel mundial; sin embargo aún quedan muchos enfoques de este tipo de estudios sin analizar; como lo son sus roles ambientales, control biológico, entre otros. Actualmente existe una gran gama de técnicas aerobiológicas, que permiten realizar investigaciones más precisas y con el potencial de brindar estrategias preventivas a través de nuevos enfoques multidisciplinarios. Esto permitirá identificar, con mayor precisión, si existe un vínculo entre algunas problemáticas actuales y la presencia de propágulos fúngicos; sin embargo se debe romper la barrera referida por algunos autores, que señalan que este tipo de estudios son exclusivos de los países desarrollados, dejando de lado a algunos países en vías de desarrollo que presentan problemas de contaminación atmosférica y riesgos a la salud asociados a bioaerosoles.



## 2.10 LITERATURA CITADA

- Abdel, A.A., M.I. Khoder, S. Yuosra, A.M. Osman y S. Ghanem, 2009**, "Diurnal distribution of airborne bacteria and fungi in the atmosphere of Helwan area, Egypt", *Science of the Total Environment* 407: 6217–6222
- Aira, M.J., F.J Rodríguez-Rajo., M. Fernández-González, C. Seijo, et al. 2012**, "Cladosporium airborne spore incidence in the environmental quality of the Iberian Peninsula". *Grana* 51(4): 293-304.
- Aira M.J., F.J. Rodríguez-Rajo y V. Jato, 2006**. "Comportamiento temporal de las mitosporas de Cladosporium en la atmosfera de Galicia (España)" *Boletín Micológico* Vol. 21: 19 - 26 2006
- Ali M.I., A.M. Salama y Tahany M. Ali, 1976**, "Possible Role of Solar Radiation on the Viability of Some Air Fungi in Egypt", *Landwirtschaftliche und Technische Mikrobiologie, Botany Department, Cairo University, Volume* 131, Issue 6, Pages 529-534
- Almaguer M., K.C. Sánchez, T.I. Rojas. 2014**, "El género Cladosporium en la atmósfera del Occidente de Cuba: pasado, presente y futuro". *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, Vol. 3, Núm. 3
- American Cancer Society. 2009**. "¿Qué es la radiación ultravioleta (UV)?" American Cancer Society, Inc. En la dirección URL: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel/prevencion-y-deteccion-temprana/que-es-la-radiacion-de-luz-ultravioleta.html>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2019.
- Basílico, M.Z., Aríngoli, E., Chiarvetti, J.M., Basílico, J.C., 2002**. "Contaminación fúngica: Influencia de la calefacción y de la orientación de la ventilación en locales de viviendas familiares urbanas y suburbanas de la ciudad de Santa Fe, Argentina". *Revista FABICIB*, Volumen 6, pp. 83-88.
- Bensch K., U. Braun, J.Z. Groenewald y P.W. Crous, 2012**, "The genus Cladosporium". *Studies in Mycology* 72: 1–401. München, Germany.
- Borrego, S. 2012**. "Cladosporium: género fúngico que deteriora soportes documentales y afecta a la salud del hombre" *Boletín del Archivo Nacional, Cuba*. 18-19-20: 104-118
- Cadena Política, 2018**. "Fomentan en Toluca siembra de hortalizas en traspatios". Nota informativa, Disponible en: <http://cadenapolitica.com/2018/02/18/fomentan-en-toluca-siembra-hortalizas-en-traspatios/> Fecha de consulta: 15 de octubre de 2019
- Corden, J.M.; Forster, G. & Newlands, M. 2000**, "Were fungal spores responsible for the increased asthma admissions in Derby, England after severe thunderstorms on July 30th 2002?", *Third European Symposium in Aerobiology. Worcester. U.K.*, page 22
- Deshmukh, S.K.; Rai, M.K. 2005**, "Biodiversity of fungi: their role in human life." Enfield, NH: Science Publishers. PP. 460, ISBN 1578083680
- Erkara, I.P., A. Asan, V. Yilmaz, S. Pehlivan y S.S. Okten. 2008**, "Airborne *Alternaria* and *Cladosporium* species and relationship with meteorological

- conditions in Eskisehir City, Turkey”, *Environ. Monit. Assess.*, 144: 31.
- Flores Tena F.J., L.M. Pardavé Díaz, Iris del Carmen Valenzuela Cárdenas, 2007.** “Estudio Aerobiológico de la Zona Aledaña al Relleno Sanitario “San Nicolás”, Municipio de Aguascalientes” *Rev. Investigación y Ciencia*, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Num. 37, pp. 13-18
- Grijalba E.P., L. Villamizar y A.M. Cotes. 2009.** “Evaluación de la estabilidad de *Paecilomyces* sp. y *Beauveria bassiana* frente a la radiación ultravioleta”. *Revista Colombiana de Entomología* 35 (1): 1-6.
- Giménez-Verdu I. 1986.** “Enfermedades producidas por hongos fitopatógenos que constituyen formas imperfectas (Deuteromicetos) de Ascomicetos”. *Bol. San. Veg Plagas*, 12: 237-272.
- Granados Ramírez R., M.P. Medina Barrios y V. Peña Manjarrez. 2014.** “Variación y cambio climático en la vertiente del Golfo de México. Impactos en la cafecultura”. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.5 no.3 Texcoco.
- Grinn-Gofroñ A. y A. Strzelczak, 2013,** “Changes in concentration of *Alternaria* and *Cladosporium* spores during summer storms”. *Int. J. Biometeorol.*, 57:759–768. DOI 10.1007/s00484-012-0604-0
- Goodman, D. H., Northey, W. T. & Leathers, C. R. 1966.** A study of airborne fungi in the Phoenix Arizona metropolitan area. *J. Allergy* 38: 56-62.
- Guixá González I., (2013).** “Evolución atmosférica de partículas biológicas aerovagantes invernales presentes en la atmósfera de Jaén” Tesis fin de grado. Universidad de Jaén Facultad de Ciencias Experimentales
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014.** “Fichas de agentes biológicos *Cladosporium* sp.”. España. DB-H-C.spp-14.
- Kakde, U. y H. Kakde, 2012,** “Incidence of post-harvest disease and airborne fungal spores in a vegetable market”, *Acta Botanica Croatica* 71 (1): 147–157.
- Lacey, M. y J. West, 2006,** “Introduction to Aerobiology: the Aerobiology pathway”. *The Air Spora*, (pp. 1-14 y 15-34).Netherlands.
- Lan, Z., H. Scherm, 2003,** “Moisture sources in relation to conidial dissemination and infection by *Cladosporium carpophilum* within peach canopies”, *Phytopathology* 93(12):1581-1586.
- Levetin, E. 2002,** “Aerobiology of agricultural pathogens”, *Manual of Environmental Microbiology*, 2th edition, ASM Press, Washington, DC. pp. 884-897.
- López Urbina, A., 2017.** “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)” Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Tesis de maestría.
- Magaña V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay, 1996.** “Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México”. Programa de Investigación En Cambio Climático (PINCC), UNAM, México. Pp 9-26.
- Marin J.M., 2017.** “Introducción a la distribución normal multivariante: Análisis de Componentes Principales” En la dirección URL: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema3am.pdf> Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2019

- Morales, M. C., Madrigal D. U. y González B.A., 2007.** "Isla de calor en Toluca, México". *Ciencia Ergo Sum*, 14(3): 307-316.
- Ogórek R, A. Lejman, W. Pusz, A. Miłuch, P. Miodyńska. 2012.** "Characteristics and taxonomy of *Cladosporium* fungi" *Mikologia Lekarska*, 19 (2): 80-85.
- Ordóñez N. I., A. Ordóñez, W. B. Cárdenas, 2008.** "Aislamiento e Identificación de Microhongos Terrestres de Punta Fort William, Antártida". *Revista Tecnológica ESPOL*. ISSN: 0257-1749
- Ortiz-Catón M., R. Alatorre-Rosas, R. Valdivia-Bernal, A. Ortiz-Catón, R. Medina Torres, G. Alejo Santiago. 2011.** "Efecto de la temperatura y humedad relativa sobre el desarrollo de los hongos entomopatógenos". Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), *Rev. Bio Ciencias*, ISSN: 2007-3380.
- Payam, F., y K. Ramanathan. 2004.** "Fungus of the month: *Cladosporium* species", *The Environmental Report EMLab*, Gallup, D. (Chairman), vol. 2, no. 4.
- Pöschl, U., 2005.** "Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects. *Angew Chem. Int. Ed.* 44:7520-7540.
- Recio, M., M.M Trigo, S. Docampo, M. Melgar. 2011,** "Analysis of the predicting variables for daily and weekly fluctuations of two airborne fungal spores *Alternaria* and *Cladosporium*". *International Journal of Biometeorology* 56: 983–991.
- Ramos R. y V. Meza, 2018.** "Ocurrencia de *Cladosporium* en la atmósfera de la plaza San Martín de Lima (Perú) y su relación con algunos factores meteorológicos. *Ecología Aplicada*, 17(1).
- Rocha Estrada A., M.A. Alvarado Vázquez, R. Gutiérrez Reyes, S.M. Salcedo Martínez y S. Moreno Limón. 2013.** "Variación temporal de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el aire del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (2) 155-165.
- Rodríguez-Rajo F., Iglesias I. & Jato V. 2005.** Variation assessment of airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores at different bioclimatical conditions. *Mycol Res* 109 (4): 497-507.
- Romero Guzmán E.T. y L.R. Reyes Gutiérrez, 2008.** "Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca". *Rev. Contacto Nuclear*, ININ
- Sabariego Ruiz S., C. Díaz de la Guardia Guerrero y F. Alba Sánchez, 2004.** "Estudio aerobiológico de los conidios de *Alternaria* y *Cladosporium* en la atmósfera de la ciudad de Almería (SE de España)". *Rev Iberoam. Micol.*; 21: 121-127 121
- Sánchez J. 2009.** "Sesión sobre hongos dematiaceos". *Salud y Medicina*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/pampero54/hongos-dematiaceos> Fecha de consulta: 17 de octubre de 2019
- Sánchez K.C., M. Almaguer, 2014.** "Aeromicología y salud humana". *Revista Cubana de Medicina Tropical*. 66(3):322-337.
- Smits, N., Sinoquet H. 2004,** "Fungal bioinsecticide survival in response to UVB in 3D digitized grapevine canopies: a simulation study", pp. 187-189. En:

Godin, C. (ed), 4th International workshop on functional-structural plant models. 7-11 june 2004. Montpellier. France. 201 p

- Tang, J. W. 2009**, "The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents". R. Soc. Interface 6: 737-746.
- Ulevičius V., D. Pečiulytė, A. Lugauskas y J. Andriejauskienė, 2004**, "Field study on changes in viability of airborne fungal propagules exposed to UV radiation", Environmental Toxicology, Volume 19, Issue 4, International Symposium on Toxicity Assessment, pages 437-441
- Urán M.E., L.E. Cano. 2008**. "Melanina: implicaciones en la patogénesis de algunas enfermedades y su capacidad de evadir la respuesta inmune del hospedero". Universidad Pontificia Bolivariana, Asociación Colombiana de Infectología, Vol. 12 (2), pp. 357-377.
- Vaillant, M. 1996**. "A work aimed to Project the health of the documental heritage conservators", International Conference on Conservation and Restoration of Archive and Library Materials Pre-prints, Erice, 22-29 April, pp. 137-142.
- Valenzuela E., S. Leiva y R. Godoy. 2001**. "Variación estacional y potencial enzimático de microhongos asociados con la descomposición de hojarasca de *Nothofagus pumilio*". Rev. Chil. Hist. Nat., Vol. 74, Num. 4, Santiago.
- Vivar Martínez, E.F. 2014**. "Cuantificación de material particulado pm10 y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de azogues". Tesis de maestría en toxicología industrial y ambiental, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas
- World Wildlife Fund (WWF), 2019**. "Cambio Climático y Energía". Nota informativa, Disponible en:  
[https://www.wwf.org.mx/que\\_hacemos/cambio\\_climatico\\_y\\_energia/#sthash.pR1hjv1a.dpuf](https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/#sthash.pR1hjv1a.dpuf) Fecha de consulta: 17 de octubre de 2019
- Yeo H., J.K. Pell, P.G. Alderson, S.J. Clark, B.J. Pye, 2003**. "Laboratory evaluation of temperature effects on the germination and growth of entomopathogenic fungi and on their pathogenicity to two aphid species". Institute of Arable Crops Research, Pest Management Science, Vol. 59 (2), pp. 156-165
- Zhdanova, N N; A.N. Liulichev, A.I. Vasilevskaia y A.L. Antonenko, 1978**, "Survival rate of various species of dark-colored mushrooms under the influence of artificial solar radiation", Journal Kosm, Issled, Ukr.; Vol. 12, Pages: 20-24

## **CAPÍTULO III**

**ANÁLISIS DE RIESGO A LA SALUD ASOCIADO CON LA  
EXPOSICIÓN DE CONTAMINANTES QUÍMICOS Y  
BIOLÓGICOS EN SEIS SITIOS DE LA ZMVT.**

### 3.1 RESUMEN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Al mismo tiempo, se menciona que a través de la disminución de sus niveles los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma (OMS, 2016). Los contaminantes atmosféricos se originan de fuentes naturales y antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades físicas, químicas y termodinámicas, por lo que su presencia dependerá, en gran medida, de factores ambientales que también deben ser considerados al momento de colocar alguna estación de monitoreo (Arciniegas, 2011). Por lo anterior, surge la necesidad de realizar un seguimiento a las concentraciones y dinámicas estacionales de los contaminantes atmosféricos y para ello se crea el ICA, como una herramienta diseñada para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire y cuáles podrían ser los efectos en la salud (Aire CDMX, 2019).

El objetivo de este estudio fue detectar la relación entre los contaminantes inorgánicos presentes en la atmósfera de la ZMVT y los conidios de *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, con los síntomas respiratorios registrados para la zona de estudio. Se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días en los seis sitios indicados de la ZMVT a lo largo de 11 meses, abarcando las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida, lluvias y seca-fría. Los datos obtenidos se analizaron empleando el criterio de Yadav y Madelin; así como un estacional del comportamiento de los contaminantes químicos y un análisis de componentes principales. Se observó que la estacionalidad mostró valores que excedieron los niveles reportados por el ICA; asimismo se reportaron 22 géneros con el potencial de ser alérgenos, 4 patógenos potenciales, 15 patógenos y/o alérgenos y 35 géneros que no se asociaron a algún tipo de padecimiento al ser humano.

Palabras Clave: ICA, Contaminación Atmosférica, Toluca, Propágulos fúngicos

### **3.2 ABSTRACT**

According to the World Health Organization (WHO), air pollution represents a major environmental risk to health. At the same time, it is mentioned that through the reduction of their levels, countries can reduce the burden of morbidity derived from strokes, lung cancers and chronic/acute pneumopathies, including asthma (WHO, 2016). These pollutants can come from various natural or anthropogenic sources and have a wide range of morphological, physical, chemical and thermodynamic properties, so their presence depends, to a large extent, on various factors that can also be taken care of when placing a monitoring station (Arciniegas, 2011). Therefore, the need arises to study the seasonal concentrations and dynamics of these pollutants and for this purpose the ICA is created, as a necessary tool to inform the population about the state of air quality and could affect the effects on health (CDMX Air, 2019).

The objective was to detect the relationship between the inorganic pollutants present in the atmosphere of the ZMVT and the condos of Cladosporium, Penicillium and Aspergillus, with the respiratory symptoms registered for the study area. A sampling campaign was carried out with a periodicity of 15 days in the six indicated sites of the ZMVT over 11 months, covering the three climatic periods reported for the area: dry-warm, rainy and dry-cold. The analyzed data were analyzed using the Yadav and Madelin criteria; as well as a stationary behavior analysis of chemical contaminants and a main components analysis. It was determined that seasonality identified values that exceeded the levels reported by the ICA; possibly 22 genera were reported with the potential to be allergens, 4 potential pathogens, 15 pathogens and / or allergens and 35 genera that are not associated with any type of human condition.

**Keywords: ICA, Atmospheric Pollution, Toluca, Fungal Propagules**

### 3.3 INTRODUCCIÓN

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la contaminación atmosférica tiene un gran impacto en la vida de los seres vivos del planeta debido a que el aire es un componente vital. En la actualidad, una forma de monitorear los espacios para su estudio es clasificándolos en ambientes exteriores (al aire libre) e interiores (casas, oficinas, trabajos, etc.). De la clasificación anterior, el más estudiado ha sido el ambiente exterior debido a su facilidad. Sin embargo, la tendencia ha ido abriendo las puertas al análisis del ambiente interior y en el mejor de los casos, el estudio de ambos juntos, lo que permite identificar el impacto que ejerce uno en el otro.

Uno de los principales factores en este tipo de estudios es la ubicación del sitio que será analizado, pues debe considerar las diferentes fuentes de emisión de los diversos contaminantes, que están relacionadas con los índices de calidad de vida urbana, que miden complejos problemas económicos, sociales, territoriales, de relaciones sociales y ambientales. Estos últimos abarcan parámetros que pueden ser medidos de forma cuantitativa y cualitativa entre los que está la calidad del aire; de acuerdo Leva (2005) en este rubro se contempla:

- La calidad del aire medida a través del ICA y expresada por día
- La concentración de gases contaminantes en puntos críticos
- La distribución porcentual de la contaminación del aire según las fuentes (vehicular, industrial, comercial).

En esta clasificación de la calidad del aire inciden los contaminantes criterio, los contaminantes tóxicos y los bioaerosoles que se describieron en los capítulos anteriores. Por lo tanto, la identificación y monitoreo de algunos grupos fúngicos, más abundantes en el material particulado, podría complementar los indicadores de calidad del aire y ayudar en la precisión de diagnósticos y tratamientos, ya sea a nivel de patologías humanas, ocupacionales o fitosanitarias (Rodríguez Rajo et. al., 2002).

El conjunto del Material Particulado Atmosférico (MPA) ha sido aprovechado por las fracciones biológicas, desarrollando adaptaciones especializadas que les permiten soportar condiciones desfavorables para su supervivencia y 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 (De la Rosa et. al., 2002). También, algunos de estos microorganismos, gracias a las características de su metabolismo, representan una fuente adicional de gases producidos en la atmósfera tales como: amoníaco, óxido nítrico, óxido nitroso, sulfhídrico,



anhídrido carbónico (De la Rosa et. al., 2002). Aunque las cantidades emitidas son insignificantes con respecto a las producidas por el hombre o la industria, pueden contribuir a generar deterioros en algunos ambientes y materiales, como pinturas y el mal de la piedra de los monumentos o corrosión de metales (Stetzenbach, 1997). De esta relación entre las partículas suspendidas y los bioaerosoles, se desprende una nueva incógnita para lograr identificar la compleja naturaleza de la interacción entre dichos componentes.

### **3.4 REVISION BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.4.1 Material particulado atmosférico (MPA)**

Los problemas provenientes de la contaminación atmosférica empezaron a ser considerados como una cuestión de salud pública a partir de la Revolución Industrial (Cipriano-Bakonyi et. al. 2004), ya que es entonces cuando surge la necesidad de conocer sus componentes, también conocidos como MPA, los cuales se definen como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) menores a 100  $\mu\text{m}$  presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999); éstas prevalecen suspendidas en el aire al que estamos expuestos diariamente. Se ha relacionado la presencia del MPA a diversos problemas de salud (Sánchez de la Campa y De la Rosa, 2010; Ubilla y Yohannessen, 2017).

Hoy en día existe en la legislación mexicana, un conjunto de normas que regulan los límites máximos permitidos de los contaminantes criterio. De acuerdo con lo reportado con Arciniegas (2011), el MPA puede provenir de fuentes naturales o antropogénicas y posee un amplio rango de propiedades físicas, químicas y termodinámicas, por lo que su presencia dependerá, en gran medida, de diversos factores que también deben ser considerados al momento de colocar alguna estación de monitoreo, como se expone en el capítulo I.

Es fundamental conocer la presencia y concentración en la atmósfera de estos contaminantes, debido a que tienen la capacidad de ocasionar una amplia variedad de impactos a la salud del ser humano cuya manifestación puede ser inespecífica como cefalea, conjuntivitis, prurito nasal; también pueden tener efectos deletéreos sobre la vegetación y materiales como los monumentos (Chen, Ying & Kleeman, 2009; Pope et. al., 2004). Lo anterior toma aún mayor relevancia, debido a que un más del 80% de la población mundial habita en ciudades en donde las concentraciones de los contaminantes superan la norma recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019). Sin embargo, gracias a los grandes avances tecnológicos que se han desarrollado, ahora se cuenta con una inmensa gama de herramientas que nos permiten conocer, no solo sus concentraciones, también características de su composición

elemental y comportamiento espacio-temporal. Algunos autores clasifican a los principales tipos de partículas atmosféricas en:

- Materia mineral
- Aerosol marino
- Compuestos de Azufre (S), también llamados sulfatos (principalmente  $\text{SO}_2$ )
- Compuestos de Nitrógeno (N), principalmente  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$
- Compuestos de Carbono o compuestos carbonosos (carbono elemental y materia orgánica)

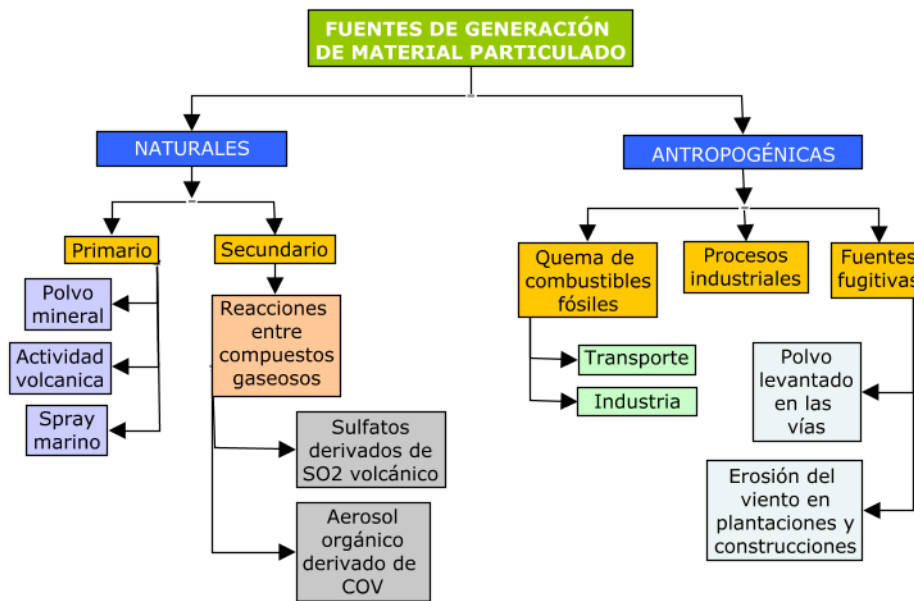


Figura 20. Fuentes de generación de material particulado, modificado de Vivar-Martínez (2014).

Una abreviatura bastante empleada en la literatura es PM, la cual hace referencia al material particulado (por sus siglas en inglés) presente en el aire y que actualmente está catalogado como un contaminante primario. Se puede clasificar de acuerdo a su diámetro aerodinámico, definido como la medida de una partícula esférica de densidad igual a uno, que tiene en el aire la misma velocidad de sedimentación que la partícula considerada (Repetto y San, 1995) y que puede clasificarse en: partículas suspendidas totales (PST, hasta  $100 \mu\text{m}$ ), gruesas ( $\text{PM}_{10}$ ,  $= \acute{o} < 10 \mu\text{m}$ ), finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ,  $= \acute{o} < 2.5 \mu\text{m}$ ) y ultra finas ( $\text{PM}_{0.1}$ ,  $= \acute{o} < 0.1 \mu\text{m}$ ).

### 3.4.2 Material Particulado $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$

El conocimiento del MPA, tomando en cuenta su diámetro, nos permite conocer el comportamiento e impacto que puede tener en la vida de los habitantes de una zona. En este apartado se hace referencia a las dos fracciones de este MPA

que han sido más estudiadas y monitoreadas.

El PM<sub>10</sub>, hace referencia a aquellas partículas con diámetro igual o menor a 10 µm y que tienen como fuente principal la combustión de diesel. Se puede encontrar tanto en exteriores como en interiores, y se ha reportado que puede tener efectos para la salud al depositarse en el tracto respiratorio (Gaviria et. al., 2011); se menciona que la exposición a PM<sub>10</sub> durante los meses de verano se asocia con mayores síntomas de apnea obstructiva y menor saturación de oxígeno durante el sueño. Es debido a la suma de efectos asociados a dichas partículas que la OMS ha establecido los límites permisibles para dicho contaminante como una forma de prevenir el riesgo para la salud humana estableciéndolo en 20 µg/m<sup>3</sup> (media anual) y 50 µg/m<sup>3</sup> (media diaria), sin embargo en la NOM-025-SSA1-2014 salud ambiental (en revisión), se establecen los límites máximos permisibles en 40 µg/m<sup>3</sup> (media anual) y 75 µg/m<sup>3</sup> (media diaria).

En cuanto al PM<sub>2.5</sub>, hace referencia a aquellas partículas con diámetro igual o menor a 2.5 µm y que generalmente consiste en varios compuestos asociados con partículas ácidas, provenientes de la quema de combustibles fósiles, producción manufacturera y quema agrícola (Gaviria et. al., 2011); se ha reportado que la exposición a niveles altos de este contaminante, a largo plazo está asociado al incremento en las hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (OMS, 2019). La OMS ha establecido los límites permisibles para dicho contaminante en 10 µg/m<sup>3</sup> (media anual) y 25 µg/m<sup>3</sup> (media diaria). De igual forma que con el PM<sub>10</sub>, en México la NOM-025-SSA1-2014 salud ambiental, establece límites máximos permisibles superiores a los de la OMS, quedando en 12 µg/m<sup>3</sup> (media anual) y 45 µg/m<sup>3</sup> (media diaria).

Otros impactos a la salud asociados con la presencia de estas partículas se presentan principalmente en individuos susceptibles, es decir en menores de 5 años, mayores de 65 años, mujeres embarazadas y en todos aquellos que tienen enfermedades preexistentes como: asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cardiovasculares como hipertensión. El mecanismo de generación de estos efectos se ha vinculado con el incremento en la respuesta inflamatoria y de estrés oxidante en los individuos expuestos. La incidencia de algunos de estos padecimientos se ha relacionado con la ubicación de las viviendas de los pacientes, principalmente si se encuentran cerca de zonas urbanas con alto tráfico, lo cual puede elevar el número de crisis asmáticas y puede aumentar el riesgo para las personas clínicamente sanas pero con antecedentes hereditarios de alergia, de presentar un proceso de sensibilización a aeroalérgenos.

### **3.4.3 Contaminantes criterio**

De acuerdo con García-Reynoso *et al.* (2007), los contaminantes criterio son sustancias que se liberan en grandes cantidades de gran variedad de fuentes y presentan un riesgo a la salud. Estos son: plomo (Pb), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas en suspensión (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>). De estos, conforme a los datos reportados por la RAMAT, las partículas en suspensión y el ozono, fueron aquellos contaminantes que se relacionaron con una calidad de aire regular/mala en la ZMVT. Dichas partículas ya fueron abordadas en este capítulo y a continuación se hace una breve referencia al ozono. Este es un componente natural de la atmósfera, vital para la vida cuando se encuentra en bajas concentraciones. Es una molécula que forma parte de la denominada "contaminación fotoquímica por oxidantes", debido a que se forma por la interacción de los NO<sub>x</sub> con la luz UV. Debido a esto la literatura menciona que la radiación solar es uno de los factores que cuenta con el potencial de alterar las concentraciones de esta molécula. Cuando se encuentran altas concentraciones de ozono a nivel de la superficie terrestre, éste se convierte en un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales, además de contribuir al calentamiento global. Se menciona que si se presenta una exposición a concentraciones elevadas durante un corto periodo de tiempo se puede observar una afectación temporal a los pulmones, el tracto respiratorio y los ojos; así como aumentar la susceptibilidad a los alérgenos respiratorios (GreenFacts, 2019. WHO, 2003).

#### **3.4.4 Índice de Calidad del Aire (ICA)**

En virtud de que la contaminación atmosférica comprende una mezcla de diversas partículas que pueden producir diferentes efectos en la población, es necesario identificar, cuantificar y clasificar la presencia de dichos componentes.

Es por lo antes mencionado que se desarrolla el Índice de Calidad del Aire (ICA) a partir de 2006 (antes llamado IMECA), el cual se calcula con fundamento en la Norma Ambiental NADF-009-AIRE-2017, que establece los requisitos para el cálculo y la difusión del Índice de Calidad del Aire vigente. Actualmente el ICA es reconocido como un indicador a nivel global, que nos permite medir la calidad del aire en un momento determinado y en una estación de monitoreo concreta (Vivar-Martínez, 2014). Está diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire, qué tan contaminado se encuentra el aire y cuáles podrían ser los efectos en la salud (Aire CDMX, 2019). Así mismo, este se puede encontrar en variadas plataformas digitales (SEDEMA), mapas en tiempo real, entre otras herramientas.

Este índice, de acuerdo a los valores obtenidos, clasifica y asigna un color determinado, el cual representa la calidad del aire, la población susceptible,

efectos en la salud y algunas recomendaciones a seguir (Tabla 13).

Categoría	Intervalo	Riesgo a la salud	Recomendaciones
<b>BUENA</b>	<b>0-50</b>	<b>Bajo.</b> Existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
<b>REGULAR</b>	<b>51-100</b>	<b>Moderado.</b> Los grupos susceptibles pueden presentar síntomas en la salud.	Las personas que son extremadamente susceptibles a la contaminación deben considerar limitar la exposición aire libre.
<b>MALA</b>	<b>101-150</b>	<b>Alto.</b> Los grupos susceptibles presentan efectos en la salud.	Los niños, adultos mayores, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como personas que realizan actividad física al aire libre deben limitar la exposición.
<b>MUY MALA</b>	<b>151-200</b>	<b>Muy alto.</b> Todos pueden presentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos susceptibles experimentan efectos graves.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar la exposición al aire libre y el resto de la población debe limitar la exposición al aire libre.
<b>EXTREMADAMENTE MALA</b>	<b>201-300</b>	<b>Extremadamente alto.</b> Toda la población tiene probabilidades de experimentar efectos graves en la salud.	Toda la población debe evitar la exposición al aire libre.
<b>PELIGROSA</b>	<b>301-500</b>	<b>Peligro.</b> Toda la población experimenta efectos graves en la salud.	Suspensión de actividades al aire libre.

Tabla 13. Valores y descripción de la clasificación del índice de calidad de Aire ICA, modificado de Aire CDMX (2019) en la dirección: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhmI=&dc=%27Zw==>.

### 3.4.5 Reactividad a propágulos fúngicos aerotransportados

Como se abordó en los capítulos I y II, se retoma la importancia de los hongos microscópicos presentes en el aire como agentes capaces de producir patologías en el ser humano, ya sea como alérgenos y/o patógenos, pero tomando en cuenta que la presencia de un hongo no es sinónimo de enfermedades, ya que se ha observado que no todas las especies de un género producen estos efectos, además de que requieren condiciones favorables para lograr que se desencadene la respuesta inmune.

### 3.4.6 *Cladosporium*

Es un género fúngico perteneciente al filo Ascomycota y al grupo de los dematiáceos, caracterizados por presentar una coloración oscura; se caracteriza

por que sus conidios son fácilmente aerotransportadas (bioaerosoles) y pueden viajar grandes distancias por mucho tiempo, pues se encuentran y se transportan junto con las partículas de polvo (Borrego-Alonso, 2012), lo cual lo convierte en uno de los géneros más frecuentemente encontrados en ambientes exteriores e interiores. Las especies de *Cladosporium* son cosmopolitas en distribución y se encuentra comúnmente en todo tipo de vegetación (madera en putrefacción y humus de los bosques) y otros escombros. También se pueden aislar del suelo, alimentos, pinturas, textiles y otras materias orgánicas (Bensch et al, 2012). Cuenta con aproximadamente 500 especies, dentro de las cuales destacan:

- *C. cladosporoides*
- *C. fulvum*
- *C. geniculatum*
- *C. herbarum*
- *C. acaciicola*
- *C. indicum*
- *C. oxysporum*
- *C. brachormium*
- *C. pallidum*
- *C. sphaerospermum*
- *C. butyri*
- *C. verrucocladosporioides*
- *C. macrocarpum*
- *C. castellanii*
- *C. ziziphi*
- *C. elatum*
- *C. elegans*

Este género ha sido asociado principalmente con efectos alérgicos en climas templados y fríos, logrando producir casos de rinitis o fiebre del heno, asma y neumonitis por hipersensibilidad, así como con otras alergias respiratorias (*C. herbarum* y *C. cladosporioides*, *C. sphaerospermum*). También se le ha identificado como un patógeno oportunista capaz de producir algunos tipos de micosis, tales como: Feohifomicosis, cromoblastomicosis, cromomicosis (*C. Carrionii*) o dermatitis verrugosa y algunos casos de infecciones pulmonares, sinusitis y onicomycosis; de igual manera, se ha reportado que algunas especies pueden producir micotoxinas, tal es el caso de *C. cladosporioides* que produce cladosporina y emodina o *C. herbarum* que puede producir ácido epicladospórico (INSHT, 2014).

### **3.4.7 Penicillium**

Este género pertenece al grupo de los hongos filamentosos del filo Ascomycota y cuenta aproximadamente con 150 especies distintas, las cuales están ampliamente distribuidas en la naturaleza y se pueden localizar en distintos sustratos, vegetación en descomposición y el aire. Se ha referido que este género presenta una gran importancia en la economía y salud de los seres humanos debido a la producción de distintas micotoxinas que le brindan el potencial de fungir como microorganismo patógeno que afecta materias primas y alimentos y que genera diversos impactos a la salud del ser humano (Pieckova, 2012). Dentro de las afectaciones que puede causar este hongo se mencionan diferentes tipos de infecciones, especialmente en huéspedes

immunocomprometidos, algunas de las especies reportadas con mayor frecuencia son: *Penicillium chrysogenum*, *P. citrinum*, *P. janthinellum*, *P. purpurogenum* y *P. marneffeii*, ésta última está identificada como un organismo patógeno, principalmente en pacientes HIV positivos y se ha relacionado con un tipo de micosis denominada "Peniciliosis" (Link, 1809).

### **3.4.8 Aspergillus**

Este género está clasificado como un hongo filamentoso, hialino, saprófito, perteneciente al filo Ascomycota. Samson et. al. (2014) reporta aproximadamente 180 especies diferentes, las cuales cuentan con diferencias morfológicas individuales (tamaño, color de la colonia, textura, etc.); algunas de las reportadas con mayor frecuencia son: *A. niger*, *A. flavus*, *A. ochraceus*, *A. clavatus*, *A. terreus*, *A. parasiticus*, *A. versicolor*, *A. oryzae*, *A. nidulans* y *A. niveus*.

*Aspergillus* es uno de los principales hongos productores de micotoxinas; es de gran importancia debido a los impactos potenciales que representa para la salud humana, ha sido relacionado con diversas infecciones locales y superficiales como las micosis (otomicosis, onicomosis, queratitis) y el aspergiloma o bola fúngica que se desarrolla en una cavidad como en una lesión pulmonar; también se ha observado que en individuos con el sistema inmunitario debilitado, pueden producir infecciones invasivas, como la aspergilosis invasiva diseminada, que cursa de forma grave con neumonía, afectando al pulmón y pudiéndose diseminar a otros órganos (INSHT, 2014).

Aunado a lo anterior, este género está asociado a algunos efectos como alérgeno mediante la complicación de cuadros de asma, rinitis y alveolitis alérgica extrínseca o neumonitis por hipersensibilidad, padecimientos asociados a la exposición de los conidios del hongo; asimismo, se ha observado que tiene el potencial de producir efectos tóxicos como intoxicaciones alimentarias a través de micotoxinas y metabolitos extracelulares (Aflatoxina Hepatotóxico, inmunotóxico, etc.); incluso a algunas especies se le atribuyen algunos efectos cancerígenos principalmente por vía digestiva (Latge, 1999; INSHT, 2014).

## **3.5 OBJETIVOS**

### **3.5.1 General**

Detectar la relación entre los contaminantes inorgánicos presentes en la atmósfera de la ZMVT y los conidios de *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, con los síntomas respiratorios registrados para la zona de estudio.

### **3.5.2 Particulares**

- Analizar el comportamiento anual de los contaminantes (Ozono, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en los seis sitios de la ZMVT.
- Identificar cuáles de los géneros reportados presentan el potencial de afectar la salud de la población.



## **3.6 MATERIAL Y METODOS**

### **3.6.1 Propágulos fúngicos suspendidos en el aire**

Del 25 de mayo de 2017 al 27 de marzo de 2018, se realizó una campaña de muestreo con una periodicidad de 15 días en los seis sitios de la ZMVT indicados en el capítulo I, teniendo un total de 20 muestreos que abarcan las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida (marzo, mayo), lluvias (junio, julio, agosto, septiembre y octubre) y seca-fría (noviembre, diciembre, enero y febrero).

### **3.6.2 Obtención de UFC**

El muestreo se realizó forma simultánea en los seis sitios a las 12:00 hrs., empleando el método de sedimentación por gravedad, en el cual se expusieron por 15 minutos en cada sitio, tres cajas de Petri con medio de cultivo Rosa de Bengala (por su propiedad bacteriostática), adicionado con Cloranfenicol (500mg/1L) para inhibir el crecimiento de microorganismos diferentes a los hongos. El muestreo se realizó por triplicado, se colocaron 2 cajas a la altura del equipo de monitoreo atmosférico para captar propágulos fúngicos cercanos a la corriente de viento y una más en la base del equipo para la captación de material fúngico inerte. Posterior a la toma de muestra, las cajas se transportaron al laboratorio de la UAM-X, se incubaron a 28°C de 5 a 7 días, para favorecer el crecimiento de las colonias y realizar la identificación.

### **3.6.3 Identificación y cuantificación**

Una vez observado el crecimiento (macromorfología) de las colonias en las cajas, se realizaron preparaciones en fresco, extrayendo directamente de la caja una fracción de la colonia y colocándola en un portaobjetos con azul de lactofenol para facilitar la observación de estructuras reproductivas (conidios, septos e hifas), finalmente se colocó un cubreobjetos y se procedió a la identificación, utilizando los microscopios ópticos Olympus CH30® y Nikon Alphaphot-2 YS2-H®, microscopio estereoscópico Olympus SZ-PT® microscopio de contraste de fases Olympus BX40® y, mediante el uso de las Claves Dicotómicas de Barnett y Hunter 1987, Samson *et al.*, 1984 y Watanabe 2002; se realizó una identificación a nivel de género de aquellas colonias que desarrollaron estructuras óptimas de crecimiento.

### **3.6.4 Criterio de Yadav y Madelin**

Este criterio también es conocido como criterio de frecuencia o de presencia/ausencia, ya que permite clasificar los registros fúngicos obtenidos de

acuerdo con el número de incidencias observadas; asimismo, permite comparar los resultados en diferentes sitios con base en las categorías propuestas. Dichas categorías toman valores de 0 a 100%, en el cual al género con el valor más elevado se le asigna el 100% y a los demás registros se les asigna un valor en porcentaje que dependerá directamente del valor más alto. Se presenta a continuación una tabla con los criterios de frecuencia propuestos por los autores:

<b>Criterios de frecuencia de Yadav y Madelin</b>		
	Muy común	100-80 %
	Común	79-61 %
	Frecuente	60-41 %
	Ocasional	40-21 %
	Raro	20-0.1 %
	No encontrado	0 %

Tabla 14. Criterios de frecuencia propuestos por Yadav y Madelin

### **3.6.5 Identificación del potencial patógeno de los géneros fúngicos encontrados**

Se efectuó una revisión bibliográfica de los géneros fúngicos reportados en el proyecto y se condensó una tabla que incluye: una breve descripción taxonómica de cada microorganismo, la identificación de sus características y su categorización en torno al potencial que presentan como agentes patógenos y/o alérgenos.

### **3.6.6 Análisis Estadístico**

### **3.6.7 Análisis de componentes principales**

A través del uso de este método estadístico multivariado, se busca determinar si se presenta alguna interacción entre las variables ambientales, contaminantes químicos y los principales géneros fúngicos identificados. Esta técnica estadística multivariada y descriptiva tiene como punto de partida una matriz de datos con una serie de individuos a los que se les han medido distintas variables y nos permite estudiar las relaciones que se presentan entre éstas.

### **3.6.8 Coeficiente de correlación de Spearman**

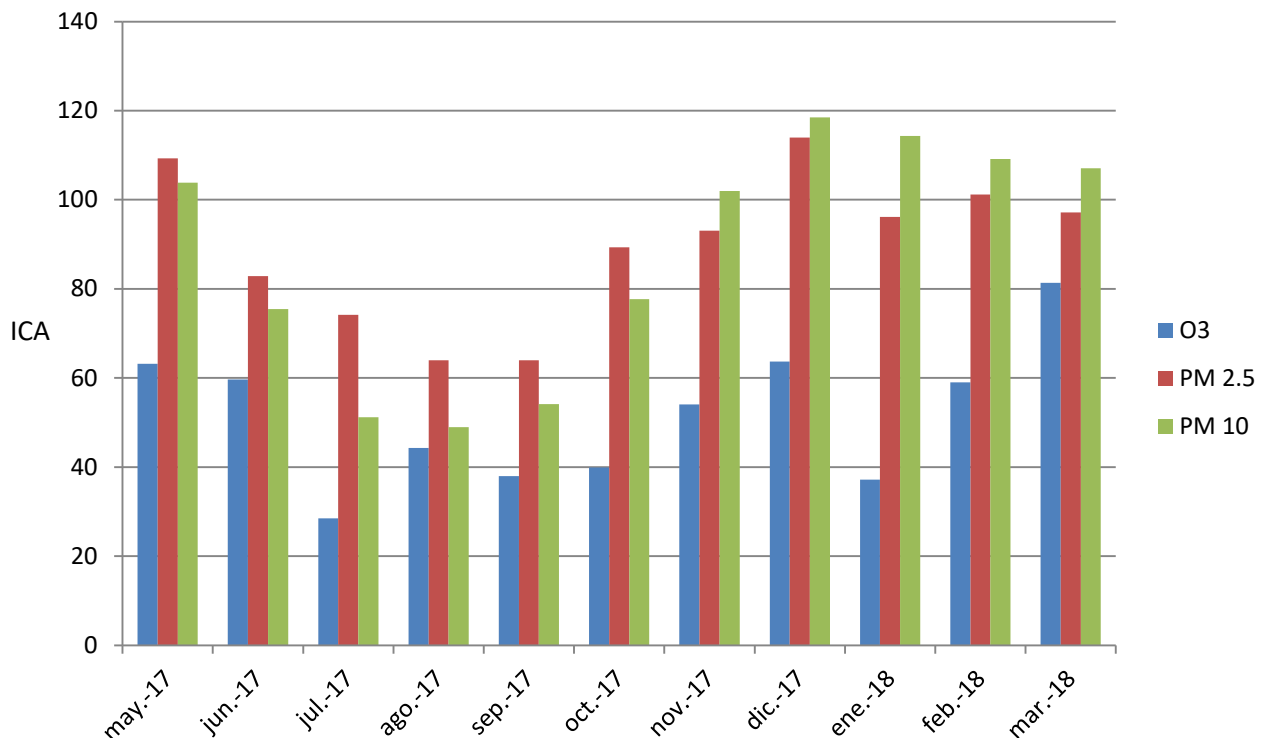
Este coeficiente se utiliza principalmente para el análisis de datos y permite determinar la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables clasificadas. Permite obtener un coeficiente de asociación ente variables que no se comportan normalmente, entre variables ordinales. Se calcula con base en una serie de rangos asignados. Los valores van de -1 a 1, siendo 0 el valor que indica no correlación, y los signos indican correlación directa e inversa.

### 3.6.9 Análisis de sintomatologías

Con base en cuestionarios realizados por el personal del Departamento de Investigación en Inmunología y Medicina Ambiental del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER), a ciento cuatro habitantes de la ZMVT, se efectuó el análisis de los datos obtenidos referentes a la sintomatología respiratoria más común y su comportamiento. Para esta parte del estudio, los participantes firmaron un consentimiento informado, donde se les indicaba en que consistió el estudio. Se garantizó la confidencialidad de sus datos personales y el protocolo de muestreo fue aprobado por el Comités de Investigación y de Ética en Investigación del INER.

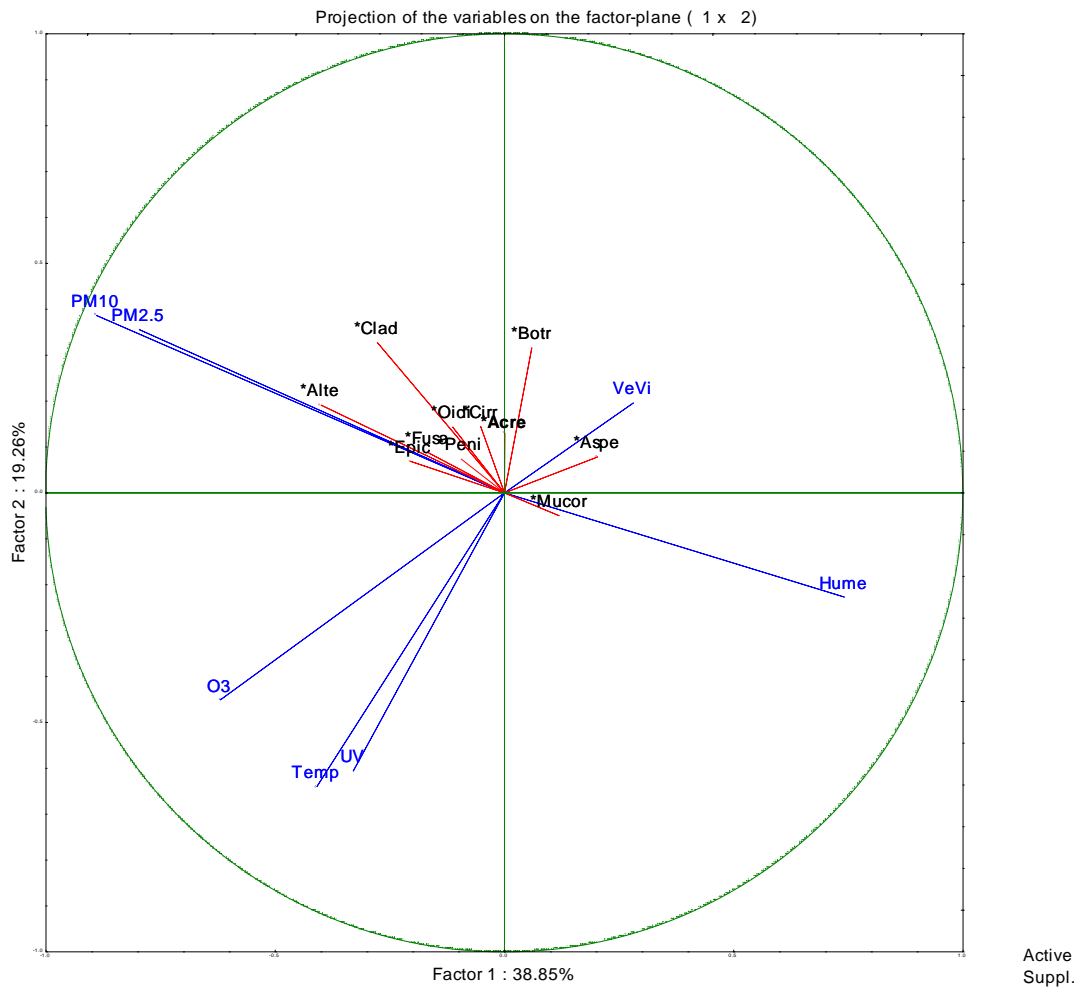
### 3.7 RESULTADOS

Se elaboró una gráfica para representar el comportamiento de tres contaminantes atmosféricos:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y Ozono. De acuerdo con los valores establecidos en el ICA, se observó que los sus máximos (114) y mínimos (64) referentes a  $PM_{2.5}$  indicaron una calidad del aire que oscilo entre regular-mala durante el año del periodo de muestreo. En cuanto a las  $PM_{10}$ , los máximos (119) y mínimos (49) representaron una calidad del aire que oscilo entre regular-mala, con excepción del mes de agosto que se clasificó como buena. Para el Ozono se mostró una dinámica diferente, registrando valores que indicaron una buena calidad del aire en julio, agosto, septiembre y enero; mientras que una calidad regular en los meses restantes.



Gráfica 12. Comportamiento estacional de los tres contaminantes criterio que presentaron valores elevados de acuerdo con los registros de la RAMAT.

Se realizó un análisis de componentes principales, el cual mostró una relación entre la velocidad del viento y los géneros fúngicos *Aspergillus*, *Botrytis* y *Acremonium*; mientras que los datos referentes a PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> se relacionaron con *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicilium*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Acremonium*, *Oidium* y *Cirrenalia*; de igual manera, *Mucor* presentó relación con la humedad relativa. Los parámetros ambientales que no presentaron relación con la presencia de los géneros reportados fueron el O<sub>3</sub>, la temperatura y la radiación de rayos UV (Gráfica 13).



Gráfica 13. Análisis de componentes principales, se presentan los datos de los géneros fúngico más frecuentes, los contaminantes de origen químico y parámetros ambientales.

Se realizó un análisis de frecuencia en cada uno de los seis sitios de muestreo utilizando el criterio de Yadav y Madelin; se identificó a San Mateo (50) como el sitio que presentó la mayor cantidad de géneros fúngicos identificados, seguido de Zinacantepec (48); mientras que los sitios con menos registros fueron San Lorenzo y Ceboruco con 41 géneros respectivamente. A continuación se presentan las tablas que resumen el comportamiento de cada género fúngico en cada sitio.

### 3.7.3 Nueva Oxtotitlan

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (173) en la categoría muy común, seguido de *Alternaria* (90) como frecuente, *Fusarium* (69), *Esteril* (51), *Penicillium* (49), *Gonatobotrys* (38), *Acremonium* (37) y *Epicoccum* (37) como ocasionales; 38 géneros se reportaron como raros y los 32 restantes como no encontrados.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	173	100	<i>Torula</i>	6	3.5	<i>Genicularia</i>	1	0.6	<i>Gonytrichum</i>	0	0.0
<i>Alternaria</i>	90	52.0	<i>Bispora</i>	5	2.9	<i>Geotrichum</i>	1	0.6	<i>Helicosporium</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	69	39.9	<i>Nigrospora</i>	5	2.9	<i>Helicocephalium</i>	1	0.6	<i>Hirsutella</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	51	29.5	<i>Paecilomyces</i>	5	2.9	<i>Hyalodendron</i>	1	0.6	<i>Humicola</i>	0	0.0
<i>Penicilium</i>	49	28.3	<i>Phoma</i>	5	2.9	<i>Memnoniella</i>	1	0.6	<i>Monascus</i>	0	0.0
<i>Gonatobotrys</i>	38	22.0	<i>Trichocladium</i>	5	2.9	<i>Papulospora</i>	1	0.6	<i>Neosartorya</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	37	21.4	<i>Aureobasidium</i>	4	2.3	<i>Amblyosporium</i>	0	0.0	<i>Oidiodendron</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	37	21.4	<i>Monilia</i>	4	2.3	<i>Arthrotrichum</i>	0	0.0	<i>Periconia</i>	0	0.0
<i>Botrytis</i>	28	16.2	<i>Wardomyces</i>	4	2.3	<i>Asteromyces</i>	0	0.0	<i>Phialophora</i>	0	0.0
<i>Verticillium</i>	18	10.4	<i>Basipeptospora</i>	3	1.7	<i>Byssochlamys</i>	0	0.0	<i>Picnidios</i>	0	0.0
<i>Bipolaris</i>	13	7.5	<i>Trichoderma</i>	3	1.7	<i>Cacumisporium</i>	0	0.0	<i>Pseudotorula</i>	0	0.0
<i>Mucor</i>	13	7.5	<i>Chalaropsis</i>	2	1.2	<i>Chaetophoma</i>	0	0.0	<i>Rizophus</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	12	6.9	<i>Oidium</i>	2	1.2	<i>Chrysosporium</i>	0	0.0	<i>Rynchosporium</i>	0	0.0
<i>Aspergillus</i>	8	4.6	<i>Stemphylium</i>	2	1.2	<i>Cirrenalia</i>	0	0.0	<i>Scedosporium</i>	0	0.0
<i>Peyronellaea</i>	8	4.6	<i>Ampelomyces</i>	1	0.6	<i>Dematiaceo</i>	0	0.0	<i>Sirosporium</i>	0	0.0
<i>Pythium</i>	8	4.6	<i>Chaetomium</i>	1	0.6	<i>Dreschlera</i>	0	0.0	<i>Stachybotrys</i>	0	0.0
<i>Absidia</i>	7	4.0	<i>Cristulariella</i>	1	0.6	<i>Dwayabeeja</i>	0	0.0	<i>Umbelopsis</i>	0	0.0
<i>Asteromella</i>	7	4.0	<i>Curvularia</i>	1	0.6	<i>Exophiala</i>	0	0.0	<i>Wallemia</i>	0	0.0
<i>Pithomyces</i>	7	4.0	<i>Dendryphion</i>	1	0.6	<i>Fusicladium</i>	0	0.0			
<i>Scopulariopsis</i>	7	4.0	<i>Eurotium</i>	1	0.6	<i>Gliccephalothricum</i>	0	0.0			

Tabla 15. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en Nueva Oxtotitlan.

### 3.7.4 Ceboruco

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (228) en la categoría muy común, seguido de *Alternaria* (138) como frecuente, *Fusarium* (69), *Penicillium* (53) y *Acremonium* (50) como ocasionales; 48 géneros se reportaron como raros y los 25 restantes como no encontrados.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	228	100	<i>Pithomyces</i>	9	3.9	<i>Neosartorya</i>	2	0.9	<i>Eurotium</i>	0	0.0
<i>Alternaria</i>	138	60.5	<i>Basipeptospora</i>	8	3.5	<i>Absidia</i>	1	0.4	<i>Fusicladium</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	69	30.3	<i>Chaetomium</i>	6	2.6	<i>Arthrotrichum</i>	1	0.4	<i>Gliccephalothricu</i>	0	0.0
<i>Penicilium</i>	53	23.2	<i>Chaetophoma</i>	5	2.2	<i>Cacumisporium</i>	1	0.4	<i>Gonytrichum</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	50	21.9	<i>Nigrospora</i>	5	2.2	<i>Chrysosporium</i>	1	0.4	<i>Helicosporium</i>	0	0.0
<i>Gonatobotrys</i>	46	20.2	<i>Oidium</i>	5	2.2	<i>Cirrenalia</i>	1	0.4	<i>Hirsutella</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	45	19.7	<i>Papulospora</i>	5	2.2	<i>Dematiaceo</i>	1	0.4	<i>Humicola</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	37	16.2	<i>Sirosporium</i>	5	2.2	<i>Exophiala</i>	1	0.4	<i>Hyalodendron</i>	0	0.0
<i>Peyronellaea</i>	29	12.7	<i>Wallemia</i>	5	2.2	<i>Genicularia</i>	1	0.4	<i>Memnoniella</i>	0	0.0
<i>Scopulariopsis</i>	18	7.9	<i>Wardomyces</i>	5	2.2	<i>Helicocephalium</i>	1	0.4	<i>Monascus</i>	0	0.0
<i>Verticillium</i>	17	7.5	<i>Aspergillus</i>	4	1.8	<i>Pseudotorula</i>	1	0.4	<i>Mucor</i>	0	0.0
<i>Phoma</i>	16	7.0	<i>Asteromella</i>	4	1.8	<i>Trichoderma</i>	1	0.4	<i>Oidiodendron</i>	0	0.0
<i>Pythium</i>	15	6.6	<i>Bispora</i>	4	1.8	<i>Umbelopsis</i>	1	0.4	<i>Picnidios</i>	0	0.0
<i>Trichocladium</i>	15	6.6	<i>Periconia</i>	4	1.8	<i>Amblyosporium</i>	0	0.0	<i>Rizophus</i>	0	0.0
<i>Paecilomyces</i>	14	6.1	<i>Torula</i>	4	1.8	<i>Asteromyces</i>	0	0.0	<i>Rynchosporium</i>	0	0.0
<i>Botrytis</i>	13	5.7	<i>Curvularia</i>	3	1.3	<i>Byssochlamys</i>	0	0.0	<i>Scedosporium</i>	0	0.0
<i>Bipolaris</i>	12	5.3	<i>Phialophora</i>	3	1.3	<i>Chalaropsis</i>	0	0.0	<i>Stachybotrys</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	11	4.8	<i>Aureobasidium</i>	2	0.9	<i>Cristulariella</i>	0	0.0	<i>Stemphylium</i>	0	0.0
<i>Ampelomyces</i>	9	3.9	<i>Dwayabeeja</i>	2	0.9	<i>Dendryphion</i>	0	0.0			
<i>Geotrichum</i>	9	3.9	<i>Monilia</i>	2	0.9	<i>Dreschlera</i>	0	0.0			

Tabla 16. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en Ceboruco.

### 3.7.5 Zinacantepec

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (152) en la categoría muy común, seguido de *Alternaria* (105) como común, *Fusarium* (74) como frecuente, *Acremonium* (55), *Epicoccum* (54), Estéril (46) y *Penicillium* (41) como ocasionales; 41 géneros se reportaron como raros y los 30 restantes como no encontrados.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	152	100	<i>Pithomyces</i>	6	3.9	<i>Dwayabeeja</i>	1	0.7	<i>Exophiala</i>	0	0.0
<i>Alternaria</i>	105	69.1	<i>Wardomyces</i>	6	3.9	<i>Eurotium</i>	1	0.7	<i>Fusicladium</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	74	48.7	<i>Aureobasidium</i>	5	3.3	<i>Geotrichum</i>	1	0.7	<i>Genicularia</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	55	36.2	<i>Oidium</i>	4	2.6	<i>Helicocephalium</i>	1	0.7	<i>Glicoecephalothricu</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	54	35.5	<i>Ampelomyces</i>	3	2.0	<i>Oidiodendron</i>	1	0.7	<i>Gonytrichum</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	46	30.3	<i>Bispora</i>	3	2.0	<i>Papulospora</i>	1	0.7	<i>Helicosporium</i>	0	0.0
<i>Penicillium</i>	41	27.0	<i>Nigrospora</i>	3	2.0	<i>Pseudotorula</i>	1	0.7	<i>Humicola</i>	0	0.0
<i>Gonatotryps</i>	29	19.1	<i>Paecilomyces</i>	3	2.0	<i>Rhynchosporium</i>	1	0.7	<i>Memnoniella</i>	0	0.0
<i>Pythium</i>	27	17.8	<i>Periconia</i>	3	2.0	<i>Absidia</i>	0	0.0	<i>Monascus</i>	0	0.0
<i>Botrytis</i>	15	9.9	<i>Trichoderma</i>	3	2.0	<i>Amblyosporium</i>	0	0.0	<i>Monilia</i>	0	0.0
<i>Scopulariopsis</i>	15	9.9	<i>Basipeptospora</i>	2	1.3	<i>Asteromyces</i>	0	0.0	<i>Mucor</i>	0	0.0
<i>Verticillium</i>	12	7.9	<i>Bipolaris</i>	2	1.3	<i>Byssochlamys</i>	0	0.0	<i>Neosartorya</i>	0	0.0
<i>Trichocladium</i>	11	7.2	<i>Hirsutella</i>	2	1.3	<i>Cacumisporium</i>	0	0.0	<i>Picnidios</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	9	5.9	<i>Phialophora</i>	2	1.3	<i>Chaetomium</i>	0	0.0	<i>Scedosporium</i>	0	0.0
<i>Phoma</i>	8	5.3	<i>Rizophus</i>	2	1.3	<i>Chaetophoma</i>	0	0.0	<i>Sirosporium</i>	0	0.0
<i>Chrysosporium</i>	7	4.6	<i>Wallemia</i>	2	1.3	<i>Chalaropsis</i>	0	0.0	<i>Stachybotrys</i>	0	0.0
<i>Hyalodendron</i>	7	4.6	<i>Arthrotrichum</i>	1	0.7	<i>Cristulariella</i>	0	0.0	<i>Stemphylium</i>	0	0.0
<i>Torula</i>	7	4.6	<i>Asteromella</i>	1	0.7	<i>Dematiaceo</i>	0	0.0	<i>Umbelopsis</i>	0	0.0
<i>Aspergillus</i>	6	3.9	<i>Cirrenalia</i>	1	0.7	<i>Dendryphion</i>	0	0.0			
<i>Peyronellaea</i>	6	3.9	<i>Curvularia</i>	1	0.7	<i>Dreschlera</i>	0	0.0			

Tabla 17. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en Zinacantepec

### 3.7.6 San Mateo

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (196) en la categoría muy común; seguido de *Alternaria* (136) como común; *Epicoccum* (74), Esteril (74), *Fusarium* (72), *Acremonium* (43) como ocasionales; 44 géneros se reportaron como raros y los 28 restantes como no encontrados.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Cladosporium</i>	196	100	<i>Aspergillus</i>	5	2.6	<i>Amblyosporium</i>	1	0.5	<i>Exophiala</i>	0	0.0
<i>Alternaria</i>	136	69.4	<i>Basipeptospora</i>	5	2.6	<i>Asteromella</i>	1	0.5	<i>Fusicladium</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	74	37.8	<i>Cristulariella</i>	5	2.6	<i>Dreschlera</i>	1	0.5	<i>Genicularia</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	74	37.8	<i>Monilia</i>	5	2.6	<i>Gonytrichum</i>	1	0.5	<i>Geotrichum</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	72	36.7	<i>Mucor</i>	5	2.6	<i>Humicola</i>	1	0.5	<i>Glicoecephalothricu</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	43	21.9	<i>Periconia</i>	5	2.6	<i>Monascus</i>	1	0.5	<i>Helicosporium</i>	0	0.0
<i>Scopulariopsis</i>	26	13.3	<i>Phoma</i>	5	2.6	<i>Pseudotorula</i>	1	0.5	<i>Hirsutella</i>	0	0.0
<i>Penicillium</i>	24	12.2	<i>Trichoderma</i>	5	2.6	<i>Pythium</i>	1	0.5	<i>Memnoniella</i>	0	0.0
<i>Gonatotryps</i>	22	11.2	<i>Dwayabeeja</i>	4	2.0	<i>Scedosporium</i>	1	0.5	<i>Neosartorya</i>	0	0.0
<i>Nigrospora</i>	17	8.7	<i>Hyalodendron</i>	4	2.0	<i>Stachybotrys</i>	1	0.5	<i>Oidiodendron</i>	0	0.0
<i>Verticillium</i>	13	6.6	<i>Papulospora</i>	4	2.0	<i>Asteromyces</i>	0	0.0	<i>Phialophora</i>	0	0.0
<i>Arthrotrichum</i>	12	6.1	<i>Torula</i>	4	2.0	<i>Cacumisporium</i>	0	0.0	<i>Rizophus</i>	0	0.0
<i>Botrytis</i>	12	6.1	<i>Ampelomyces</i>	3	1.5	<i>Chaetomium</i>	0	0.0	<i>Rhynchosporium</i>	0	0.0
<i>Pithomyces</i>	12	6.1	<i>Helicocephalium</i>	3	1.5	<i>Chaetophoma</i>	0	0.0	<i>Sirosporium</i>	0	0.0
<i>Trichocladium</i>	12	6.1	<i>Paecilomyces</i>	3	1.5	<i>Chalaropsis</i>	0	0.0	<i>Stemphylium</i>	0	0.0
<i>Peyronellaea</i>	11	5.6	<i>Absidia</i>	2	1.0	<i>Chrysosporium</i>	0	0.0	<i>Umbelopsis</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	11	5.6	<i>Aureobasidium</i>	2	1.0	<i>Cirrenalia</i>	0	0.0	<i>Wallemia</i>	0	0.0
<i>Bipolaris</i>	9	4.6	<i>Curvularia</i>	2	1.0	<i>Dematiaceo</i>	0	0.0	<i>Wardomyces</i>	0	0.0
<i>Bispora</i>	6	3.1	<i>Oidium</i>	2	1.0	<i>Dendryphion</i>	0	0.0			
<i>Byssochlamys</i>	6	3.1	<i>Picnidios</i>	2	1.0	<i>Eurotium</i>	0	0.0			

Tabla 18. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en San Mateo

### 3.7.7 San Cristóbal

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (127) y *Alternaria* (127) en la categoría muy común; seguido por *Fusarium* (73) y Estéril (60) como frecuentes; *Acremonium* (43), *Epicoccum* (32) y *Scopulariopsis* (32) como ocasionales; 35 géneros se reportaron como raros y los 36 restantes como no encontrados.

Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%	Género	UFC	%
<i>Alternaria</i>	127	100	<i>Asteromyces</i>	4	3.1	<i>Pseudotorula</i>	1	0.8	<i>Glicoecephalothricu</i>	0	0.0
<i>Cladosporium</i>	127	100	<i>Monascus</i>	4	3.1	<i>Stemphylium</i>	1	0.8	<i>Gonytrichum</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	73	57.5	<i>Papulospora</i>	4	3.1	<i>Absidia</i>	0	0.0	<i>Helicocephalium</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	60	47.2	<i>Cristulariella</i>	3	2.4	<i>Amblyosporium</i>	0	0.0	<i>Hirsutella</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	41	32.3	<i>Curvularia</i>	3	2.4	<i>Ampelomyces</i>	0	0.0	<i>Humicola</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	32	25.2	<i>Monilia</i>	3	2.4	<i>Asteromella</i>	0	0.0	<i>Hyalodendron</i>	0	0.0
<i>Scopulariopsis</i>	32	25.2	<i>Oidium</i>	3	2.4	<i>Basipeptospora</i>	0	0.0	<i>Memnoniella</i>	0	0.0
<i>Penicilium</i>	24	18.9	<i>Paecilomyces</i>	3	2.4	<i>Byssochlamys</i>	0	0.0	<i>Neosartorya</i>	0	0.0
<i>Gonotobotrys</i>	17	13.4	<i>Aspergillus</i>	2	1.6	<i>Cacumisporium</i>	0	0.0	<i>Oidiodendron</i>	0	0.0
<i>Verticilium</i>	15	11.8	<i>Botrytis</i>	2	1.6	<i>Chaetomium</i>	0	0.0	<i>Phialophora</i>	0	0.0
<i>Phoma</i>	11	8.7	<i>Chalaropsis</i>	2	1.6	<i>Chaetophoma</i>	0	0.0	<i>Rizophus</i>	0	0.0
<i>Pithomyces</i>	11	8.7	<i>Dwayabeeja</i>	2	1.6	<i>Chrysosporium</i>	0	0.0	<i>Rynchosporium</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	11	8.7	<i>Picnidios</i>	2	1.6	<i>Cirrenalia</i>	0	0.0	<i>Scedosporium</i>	0	0.0
<i>Nigrospora</i>	8	6.3	<i>Pythium</i>	2	1.6	<i>Dematiaceo</i>	0	0.0	<i>Sirosporium</i>	0	0.0
<i>Aureobasidium</i>	5	3.9	<i>Torula</i>	2	1.6	<i>Dreschlera</i>	0	0.0	<i>Stachybotrys</i>	0	0.0
<i>Bipolaris</i>	5	3.9	<i>Trichoderma</i>	2	1.6	<i>Eurotium</i>	0	0.0	<i>Umbelopsis</i>	0	0.0
<i>Bispora</i>	5	3.9	<i>Arthrotrichum</i>	1	0.8	<i>Exophiala</i>	0	0.0	<i>Wallemia</i>	0	0.0
<i>Periconia</i>	5	3.9	<i>Dendryphion</i>	1	0.8	<i>Fusicladium</i>	0	0.0	<i>Wardomyces</i>	0	0.0
<i>Peyronellaea</i>	5	3.9	<i>Helicosporium</i>	1	0.8	<i>Genicularia</i>	0	0.0			
<i>Trichocladium</i>	5	3.9	<i>Mucor</i>	1	0.8	<i>Geotrichum</i>	0	0.0			

Tabla 19. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en San Cristóbal

### 3.7.8 San Lorenzo

Con base en los conteos de las UFC, se identificó a *Cladosporium* (148) y *Alternaria* (147) en la categoría muy común; seguido por *Fusarium* (80) como frecuente; Estéril (60), *Epicoccum* (44) y *Acremonium* (34) como ocasionales; 35 géneros se reportaron como raros y los 37 restantes como no encontrados.

Género	SNL	%	Género	SNL	%	Género	SNL	%	Género	SNL	%
<i>Cladosporium</i>	148	100	<i>Scopulariopsis</i>	7	4.7	<i>Trichoderma</i>	1	0.7	<i>Helicosporium</i>	0	0.0
<i>Alternaria</i>	147	99.3	<i>Dwayabeeja</i>	6	4.1	<i>Absidia</i>	0	0.0	<i>Hirsutella</i>	0	0.0
<i>Fusarium</i>	80	54.1	<i>Paecilomyces</i>	6	4.1	<i>Amblyosporium</i>	0	0.0	<i>Humicola</i>	0	0.0
<i>Esteril</i>	60	40.5	<i>Picnidios</i>	5	3.4	<i>Ampelomyces</i>	0	0.0	<i>Hyalodendron</i>	0	0.0
<i>Epicoccum</i>	44	29.7	<i>Torula</i>	5	3.4	<i>Arthrotrichum</i>	0	0.0	<i>Monilia</i>	0	0.0
<i>Acremonium</i>	34	23.0	<i>Helicocephalium</i>	4	2.7	<i>Asteromella</i>	0	0.0	<i>Mucor</i>	0	0.0
<i>Gonotobotrys</i>	29	19.6	<i>Bispora</i>	3	2.0	<i>Aureobasidium</i>	0	0.0	<i>Neosartorya</i>	0	0.0
<i>Penicilium</i>	26	17.6	<i>Byssochlamys</i>	3	2.0	<i>Cacumisporium</i>	0	0.0	<i>Oidiodendron</i>	0	0.0
<i>Botrytis</i>	17	11.5	<i>Geotrichum</i>	3	2.0	<i>Chaetomium</i>	0	0.0	<i>Papulospora</i>	0	0.0
<i>Ulocladium</i>	15	10.1	<i>Memnoniella</i>	3	2.0	<i>Chaetophoma</i>	0	0.0	<i>Phialophora</i>	0	0.0
<i>Pithomyces</i>	13	8.8	<i>Phoma</i>	3	2.0	<i>Chalaropsis</i>	0	0.0	<i>Pseudotorula</i>	0	0.0
<i>Peyronellaea</i>	12	8.1	<i>Curvularia</i>	2	1.4	<i>Chrysosporium</i>	0	0.0	<i>Rizophus</i>	0	0.0
<i>Verticilium</i>	12	8.1	<i>Periconia</i>	2	1.4	<i>Cirrenalia</i>	0	0.0	<i>Rynchosporium</i>	0	0.0
<i>Pythium</i>	11	7.4	<i>Trichocladium</i>	2	1.4	<i>Cristulariella</i>	0	0.0	<i>Scedosporium</i>	0	0.0
<i>Wardomyces</i>	11	7.4	<i>Aspergillus</i>	1	0.7	<i>Dematiaceo</i>	0	0.0	<i>Sirosporium</i>	0	0.0
<i>Nigrospora</i>	9	6.1	<i>Asteromyces</i>	1	0.7	<i>Dreschlera</i>	0	0.0	<i>Stemphylium</i>	0	0.0
<i>Basipeptospora</i>	8	5.4	<i>Dendryphion</i>	1	0.7	<i>Eurotium</i>	0	0.0	<i>Umbelopsis</i>	0	0.0
<i>Bipolaris</i>	8	5.4	<i>Fusicladium</i>	1	0.7	<i>Exophiala</i>	0	0.0	<i>Wallemia</i>	0	0.0
<i>Monascus</i>	8	5.4	<i>Glicoecephalothricu</i>	1	0.7	<i>Genicularia</i>	0	0.0			
<i>Oidium</i>	8	5.4	<i>Stachybotrys</i>	1	0.7	<i>Gonytrichum</i>	0	0.0			

Tabla 20. Análisis de frecuencia de los géneros fúngicos reportados mediante el criterio de Yadav y Madelin en San Lorenzo

Se realizó un segundo análisis de frecuencia en tomando el universo de los 450 registros referentes a los seis sitios, y se empleó el criterio de Yadav y Madelin para comparar el comportamiento de los géneros; mostrando diferencias en los géneros *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Acremonium* y *Gonatobotrys*.

Género	NVO			CEB			ZIN			SNM			SNC			SNL		
	No.	%	Cat.	No.	%	Cat.	No.	%	Cat.	No.	%	Cat.	No.	%	Cat.	No.	%	Cat.
<i>Absidia</i>	7	3.1		1	0.4		0	0.0		2	0.9		0	0.0		0	0.0	
<i>Acremonium</i>	37	16.2		50	21.9		55	24.1		43	18.9		41	18.0		34	14.9	
<i>Alternaria</i>	90	39.5		138	60.5		105	46.1		136	59.6		127	55.7		147	64.5	
<i>Amblyospori</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Ampelomyce</i>	1	0.4		9	3.9		3	1.3		3	1.3		0	0.0		0	0.0	
<i>Arthrotrichum</i>	0	0.0		1	0.4		1	0.4		12	5.3		1	0.4		0	0.0	
<i>Aspergillus</i>	8	3.5		4	1.8		6	2.6		5	2.2		2	0.9		1	0.4	
<i>Asteromella</i>	7	3.1		4	1.8		1	0.4		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Asteromyces</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		4	1.8		1	0.4	
<i>Aureobasidium</i>	4	1.8		2	0.9		5	2.2		2	0.9		5	2.2		0	0.0	
<i>Basiseptospora</i>	3	1.3		8	3.5		2	0.9		5	2.2		0	0.0		8	3.5	
<i>Bipolaris</i>	13	5.7		12	5.3		2	0.9		9	3.9		5	2.2		8	3.5	
<i>Bispora</i>	5	2.2		4	1.8		3	1.3		6	2.6		5	2.2		3	1.3	
<i>Botrytis</i>	28	12.3		13	5.7		15	6.6		12	5.3		2	0.9		17	7.5	
<i>Byssochlamy</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		6	2.6		0	0.0		3	1.3	
<i>Cacumispori</i>	0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Chaetomium</i>	1	0.4		6	2.6		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Chaetophora</i>	0	0.0		5	2.2		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Chalaropsis</i>	2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0		2	0.9		0	0.0	
<i>Chrysospori</i>	0	0.0		1	0.4		7	3.1		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Cirrenalia</i>	0	0.0		1	0.4		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Cladosporium</i>	173	75.9		228	100.0		152	66.7		196	86.0		127	55.7		148	64.9	
<i>Cristulariella</i>	1	0.4		0	0.0		0	0.0		5	2.2		3	1.3		0	0.0	
<i>Curvularia</i>	1	0.4		3	1.3		1	0.4		2	0.9		3	1.3		2	0.9	
<i>Dematiaceae</i>	0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Dendryphion</i>	1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		1	0.4	
<i>Dreschlera</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Dwayabeeja</i>	0	0.0		2	0.9		1	0.4		4	1.8		2	0.9		6	2.6	
<i>Epicoccum</i>	37	16.2		45	19.7		54	23.7		74	32.5		32	14.0		44	19.3	
<i>Esteril</i>	51	22.4		37	16.2		46	20.2		74	32.5		60	26.3		60	26.3	
<i>Eurotium</i>	1	0.4		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Exophiala</i>	0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Fusarium</i>	69	30.3		69	30.3		74	32.5		72	31.6		73	32.0		80	35.1	
<i>Fusicladium</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4	
<i>Genicularia</i>	1	0.4		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Geotrichum</i>	1	0.4		9	3.9		1	0.4		0	0.0		0	0.0		3	1.3	
<i>Glioccephala</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4	
<i>Gonatobotry</i>	38	16.7		46	20.2		29	12.7		22	9.6		17	7.5		29	12.7	
<i>Gonytrichum</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Helicocephala</i>	1	0.4		1	0.4		1	0.4		3	1.3		0	0.0		4	1.8	
<i>Helicosporium</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0	
<i>Hirsutella</i>	0	0.0		0	0.0		2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Humicola</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Hyalodendro</i>	1	0.4		0	0.0		7	3.1		4	1.8		0	0.0		0	0.0	
<i>Memnoniella</i>	1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0		3	1.3	
<i>Monascus</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		4	1.8		8	3.5	
<i>Monilia</i>	4	1.8		2	0.9		0	0.0		5	2.2		3	1.3		0	0.0	
<i>Mucor</i>	13	5.7		0	0.0		0	0.0		5	2.2		1	0.4		0	0.0	
<i>Neosartorya</i>	0	0.0		2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Nigrospora</i>	5	2.2		5	2.2		3	1.3		17	7.5		8	3.5		9	3.9	
<i>Oidiodendro</i>	0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Oidium</i>	2	0.9		5	2.2		4	1.8		2	0.9		3	1.3		8	3.5	
<i>Paeclomyces</i>	5	2.2		14	6.1		3	1.3		3	1.3		3	1.3		6	2.6	
<i>Papulospora</i>	1	0.4		5	2.2		1	0.4		4	1.8		4	1.8		0	0.0	
<i>Penicillium</i>	49	21.5		53	23.2		41	18.0		24	10.5		24	10.5		26	11.4	
<i>Periconia</i>	0	0.0		4	1.8		3	1.3		5	2.2		5	2.2		2	0.9	
<i>Peyronellaea</i>	8	3.5		29	12.7		6	2.6		11	4.8		5	2.2		12	5.3	
<i>Phialophora</i>	0	0.0		3	1.3		2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Phoma</i>	5	2.2		16	7.0		8	3.5		5	2.2		11	4.8		3	1.3	
<i>Picnidios</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		2	0.9		2	0.9		5	2.2	
<i>Pithomyces</i>	7	3.1		9	3.9		6	2.6		12	5.3		11	4.8		13	5.7	
<i>Pseudotorul</i>	0	0.0		1	0.4		1	0.4		1	0.4		1	0.4		0	0.0	
<i>Pythium</i>	8	3.5		15	6.6		27	11.8		1	0.4		2	0.9		11	4.8	
<i>Rizophus</i>	0	0.0		0	0.0		2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Rynchospori</i>	0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Scedosporium</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0	
<i>Scopulariopsis</i>	7	3.1		18	7.9		15	6.6		26	11.4		32	14.0		7	3.1	
<i>Sirosporium</i>	0	0.0		5	2.2		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Stachybotrys</i>	0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0		1	0.4	
<i>Stemphylium</i>	2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0		1	0.4		0	0.0	
<i>Torula</i>	6	2.6		4	1.8		7	3.1		4	1.8		2	0.9		5	2.2	
<i>Trichocladium</i>	5	2.2		15	6.6		11	4.8		12	5.3		5	2.2		2	0.9	
<i>Trichoderma</i>	3	1.3		1	0.4		3	1.3		5	2.2		2	0.9		1	0.4	
<i>Ulocladium</i>	12	5.3		11	4.8		9	3.9		11	4.8		11	4.8		15	6.6	
<i>Umbelopsis</i>	0	0.0		1	0.4		0	0.0		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Verticillium</i>	18	7.9		17	7.5		12	5.3		13	5.7		15	6.6		12	5.3	
<i>Wallemia</i>	0	0.0		5	2.2		2	0.9		0	0.0		0	0.0		0	0.0	
<i>Wardomyces</i>	4	1.8		5	2.2		6	2.6		0	0.0		0	0.0		11	4.8	

Tabla 21. Análisis individual de frecuencia por sitio de UFC con el criterio de Yadav y Madelin. NVO: Nueva Oxtotitlan, CEB: Ceboruco, ZIN: Zinacantepec, SNM: San Mateo, SNC: San Cristóbal SNL: San Lorenzo



Se elaboró una tabla con los 75 géneros fúngicos y micelio estéril reportados, en la cual se enlistaron, de acuerdo a sus características como alérgenos y/o patógenos potenciales.

Veintidós géneros con el potencial de ser alérgenos:

- *Aureobasidium*
- *Bispora*
- *Botrytis*
- *Chaetomium*
- *Chalaropsis*
- *Chrysosporium*
- *Curvularia*
- *Epicoccum*
- *Esteril*
- *Eurotium*
- *Geotrichum*
- *Monilia*
- *Nigrospora*
- *Oidiodendron*
- *Paecilomyces*
- *Peyronellaea*
- *Phoma*
- *Scedosporium*
- *Stemphylium*
- *Torula*
- *Trichoderma*

Cuatro identificados como patógenos potenciales

- *Absidia*
- *Phialophora*
- *Pithomyces*
- *Stachybotrys*

Quince géneros que pueden fungir como patógenos y/o alérgenos:

- *Acremonium*
- *Alternaria*
- *Aspergillus*
- *Bipolaris*
- *Cladosporium*
- *Exophiala*
- *Fusarium*
- *Monascus*
- *Mucor*
- *Oidium*
- *Penicillium*
- *Pythium*
- *Rizophus*
- *Scopulariopsis*
- *Ulocladium*

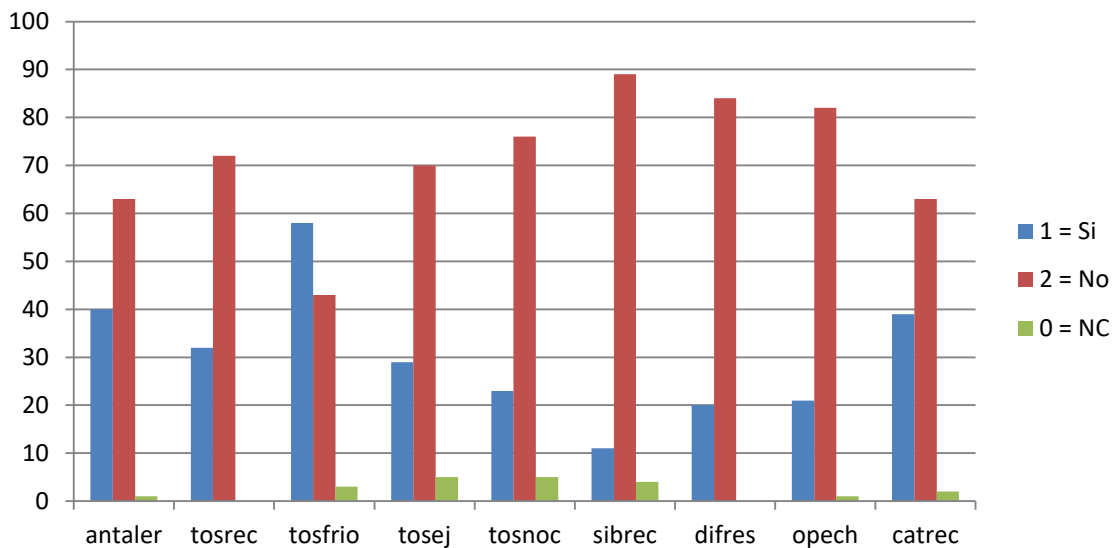
Treinta y cinco géneros que no están asociados a algún tipo de padecimiento al ser humano, pero que pueden tener características fitopatógenas o entomopatógenas:

- *Amblyosporium*
- *Ampelomyces*
- *Arthrobotrys*
- *Asteromella*
- *Asteromyces*
- *Basipetospora*
- *Byssochlamys*
- *Cacumisporium*
- *Chaetophoma*
- *Cirrenalia*
- *Cristulariella*
- *Dendryphion*
- *Drechslera*
- *Dwayabeeja*
- *Fusicladium*
- *Genicularia*
- *Glicoecephalothricum*
- *Gonatobotrys*
- *Gonytrichum*
- *Helicocephalium*
- *Helicosporium*
- *Hirsutella*
- *Humicola*
- *Hyalodendron*
- *Memnoniella*
- *Neosartorya*
- *Papulospora*
- *Periconia*
- *Pseudotorula*
- *Rynchosporium*
- *Sirosporium*
- *Trichocladium*
- *Umbelopsis*
- *Wallemia*
- *Wardomyces*

Clase	Familia	Género	Efecto en la salud	Padecimiento	Nombre
Zygomycota	Cunninghamellaceae	<i>Absidia</i>	Patógeno	Micosis	Mucormicosis, Otomicosis y Zigomicosis
Ascomycota	Hypocreaceae	<i>Acremonium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Rinitis, Asma, Micetomas, Onicomocosis.
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Alternaria</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias e infecciones	Rinitis, Asma, Conjuntivitis.
Ascomycota	Sclerotiniaceae	<i>Amblyosporium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Phaeosphaeriaceae	<i>Ampelomyces</i>	NO	----	----
Ascomycota	Orbiliaceae	<i>Arthrotrichum</i>	NO	----	----
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Rinitis, Asma, Aspergilosis, Aspergiloma y Alveolitis
Ascomycota	Mycosphaerella	<i>Asteromella</i>	NO	----	----
Ascomycota	Dermatiaceae	<i>Asteromyces</i>	NO	----	----
Ascomycota	Sacrotheciaceae	<i>Aureobasidium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Monascaceae	<i>Basipetospira</i>	NO	----	----
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Bipolaris</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias e infecciones	Rinitis, Asma
Ascomycota	Helotiaceae	<i>Bispora</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Sclerotiniaceae	<i>Botrytis</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Byssochlamys</i>	NO	----	----
Ascomycota	Hippolytidae	<i>Cacumisporium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Chaetomiaceae	<i>Chaetomium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Didymellaceae	<i>Chaetophoma</i>	NO	----	----
Ascomycota	Ceratocystidiaceae	<i>Chalaropsis</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Onygenaceae	<i>Chrysosporium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Halosphaeriaceae	<i>Cirrenalia</i>	NO	----	----
Ascomycota	Cladosporiaceae	<i>Cladosporium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Rinitis, Asma, Cromomicosis.
Ascomycota	Sclerotiniaceae	<i>Cristulariella</i>	NO	----	----
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Curvularia</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Torulaceae	<i>Dendryphion</i>	NO	----	----
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Drechslera</i>	NO	----	----
Ascomycota	????	<i>Dwayabeeja</i>	NO	----	----
Ascomycota	Didymellaceae	<i>Epicoccum</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
----	----	<i>Esteril</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Eurotium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Herpotrichiellaceae	<i>Exophiala</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Ascomycota	Nectriaceae	<i>Fusarium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Rinitis, Asma, Onicomocosis, Hialohifomicosis, Queratitis
Ascomycota	Venturiaceae	<i>Fusicladium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Orbiliaceae	<i>Genicularia</i>	NO	----	----
Ascomycota	Dipodascaceae	<i>Geotrichum</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
????	????	<i>Glicoecephalothricum</i>	NO	----	----
Ascomycota	Ceratostomataceae	<i>Gonatobotrys</i>	NO	----	----
Ascomycota	Chaetosphaeriaceae	<i>Gonytrichum</i>	NO	----	----
Zygomycota	????	<i>Helicocephalium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Tubeufiaceae	<i>Helicosporium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Ophiocordycipitaceae	<i>Hirsutella</i>	NO	----	----
Ascomycota	Chaetomiaceae	<i>Humicola</i>	NO	----	----
Basidiomycota	Trichosporonaceae	<i>Hyalodendron</i>	NO	----	----
Ascomycota	Hypocreaceae	<i>Memnoniella</i>	NO	----	----
Ascomycota	Monascaceae	<i>Monascus</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Ascomycota	Sclerotiniaceae	<i>Monilia</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Zygomycota	Mucoraceae	<i>Mucor</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Mucormicosis y Zigomicosis
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Neosartorya</i>	NO	----	----
Ascomycota	Trichosphaeriaceae	<i>Nigrospora</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Myxotrichaceae	<i>Oidiodendron</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Erysiphaceae	<i>Oidium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Paecilomyces</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Heliconiaceae	<i>Papulospora</i>	NO	----	----
Ascomycota	Aspergillaceae	<i>Penicillium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Ascomycota	Periconiaceae	<i>Periconia</i>	NO	----	----
Ascomycota	Didymellaceae	<i>Peyronellaea</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Herpotrichiellaceae	<i>Phialophora</i>	Patógeno	Micosis	Feohifomicosis, Cromomicosis
Ascomycota	Didymellaceae	<i>Phoma</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Didymellaceae	<i>Pithomyces</i>	Patógeno	Micosis	Micosis de piel (Esporidesmina)
Ascomycota	Torulaceae	<i>Pseudotorula</i>	NO	----	----
Oomycota	Pythiaceae	<i>Pythium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Zygomycota	Mucoraceae	<i>Rizophus</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	Mucormicosis y Zigomicosis
????	????	<i>Rynchosporium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Microascaceae	<i>Scedosporium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Microascaceae	<i>Scopulariopsis</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Ascomycota	Mycosphaerellaceae	<i>Sirosporium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Stachybotryaceae	<i>Stachybotrys</i>	Patógeno	Micosis	
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Stemphylium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Torulaceae	<i>Torula</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Chaetomiaceae	<i>Trichocladium</i>	NO	----	----
Ascomycota	Hypocreaceae	<i>Trichoderma</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Ascomycota	Pleosporaceae	<i>Ulocladium</i>	Patógeno / Alérgeno	Alergias y Micosis	
Zygomycota	Umbelopsidaceae	<i>Umbelopsis</i>	NO	----	----
Ascomycota	Plectosphaerellaceae	<i>Verticillium</i>	Alérgeno	Alergias	Rinitis, Asma
Basidiomycota	Wallemiaceae	<i>Wallemia</i>	NO	----	----
Ascomycota	Microascaceae	<i>Wardomyces</i>	NO	----	----

Tabla 22. Clasificación de los géneros fúngicos reportados y los padecimientos a los que se les asocia.

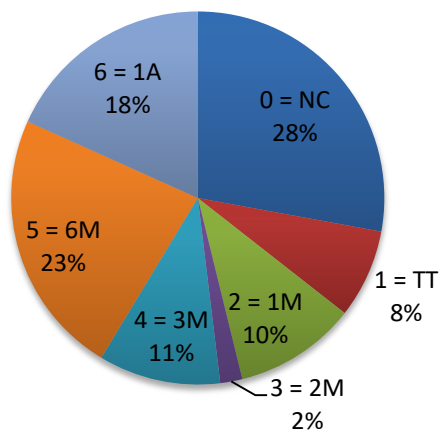
En relación a la sintomatología analizada, se encontró que el dato referente al aumento de tos con el frío fue el que presentó mayor número de respuestas afirmativas.



Gráfica 14. Registro de sintomatologías respiratorias en 104 habitantes de la ZMVT. Antecedentes familiares de alergia (antaler), cuadros de tos recurrente (tosrec), aumento de tos con el frío (tosfrio), aumento de tos con ejercicio (tosej), tos de predominio nocturno (tosnoc), sibilancias recurrentes (sibrec), dificultad respiratoria (difres), opresión del pecho (opech) y cuadros recurrentes de catarro (catrec).

Por lo que se realizó un análisis de la frecuencia de los cuadros de tos referidos por los encuestados, obteniendo el mayor porcentaje en el registro referente a incidencias cada seis meses, mientras que los cuadros que se presentaron cada dos meses, registraron el menor porcentaje. Cabe mencionar que el 28% de los encuestados no contestó esta pregunta.

### Frecuencia de Tos



Gráfica 15. Recurrencia de los cuadros de tos en 104 habitantes de la ZMVT. NC=no contestó, TT=todo el tiempo, 1M=1 vez/mes, 2M=2 veces/mes, 3M= cada 3 meses, 6M=cada 6 meses, 1A=una vez/año

### 3.8 DISCUSIÓN

La contaminación atmosférica es una de las problemáticas actuales que ha despertado el interés de diferentes sectores, debido a los impactos a la salud asociados con esta. Jędryczka (2014) resalta la importancia del monitoreo aerobiológico como una de las herramientas ampliamente usadas en la epidemiología de las enfermedades humanas; la OMS (2019) indica que cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo. Una forma de vigilar las concentraciones del MPA, es a través del ICA que permite informar a la población sobre el estado de la calidad del aire, mostrando qué tan contaminado se encuentra y cuáles podrían ser los efectos en la salud (Aire CDMX, 2019); principalmente para aquellos sectores de la población expuesta más susceptible, como es el caso de los niños (menores de 5 años) y personas de la tercera edad (mayores de 60).

Se analizó el comportamiento de tres contaminantes atmosféricos:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y Ozono con base en los valores del ICA a lo largo de once meses. Se observó que  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  registraron una calidad del aire regular-mala y el ozono indicó una calidad buena-regular. Morales *et al.* (2007), señalan que en el caso de la ZMVT, las anomalías climáticas de esta ciudad se deben principalmente al cambio del uso del suelo, como son la expansión urbana, la deforestación, el abatimiento de los mantos de agua y un aumento en los niveles de la contaminación ambiental. De acuerdo con SEMARNAT (2013) las altas concentraciones de los contaminantes atmosféricos ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y Ozono) representan efectos en la salud humana como: complicaciones en cuadros asmáticos, enfermedades respiratorias cardiovasculares, irritación en vías respiratorias, reducción de la función pulmonar, entre otras. De igual manera, Pérez-Vidal *et al.* (2010) refieren que de los efectos agudos, se ha identificado que el incremento en la concentración de partículas ( $PM_{10}$ ) y ozono se encuentran relacionados con un incremento en la tasa de mortalidad prematura. De acuerdo con lo anterior, el Centro Mario Molina (2018) recomienda tomar acciones en pro del fortalecimiento de las redes de monitoreo atmosférico, la actualización y sistematización continuas de los inventarios de emisiones, la participación de grupos ciudadanos como contraparte "auditora" del progreso, y la posible vinculación a campañas globales por el aire limpio.

Como se hizo referencia en el capítulo I, los contaminantes atmosféricos están formados por fracciones químicas y biológicas (bioaerosoles) que interactúan entre ellas. Para identificar si existe algún vínculo entre dichos elementos, se realizó un análisis de componentes principales, el cual indicó que el  $O_3$  no mostró influencia en alguno de los microorganismos identificados; mientras que

las fracciones PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> mostraron una relación con algunos de los géneros reportados (*Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicilium*, *Fusarium*, *Epicoccum*, *Acremonium* y *Oidium*). Lo anterior coincide con lo reportado por Barahona-Crisostomo (2010) el cual destaca que algunos agentes contaminantes atmosféricos (NO, CO, hidrocarburos) pueden tener un efecto protector para los microorganismos; facilitando su aerotransporte. En ese sentido Granadillo *et al.* (2016) menciona que diversos estudios epidemiológicos demuestran la relación del material particulado presente en el aire y sus microorganismos asociados con la incidencia de enfermedades respiratorias. También se observaron coincidencias con el estudio realizado por Vélez *et al.* (2009) quienes señalan que la liberación de aerosoles fúngicos hacia la atmósfera dependerá, entre otros factores, del tamaño de las partículas y la presencia de polvo que propicia su aerotransporte a través de grandes distancias; facilitando su prevalencia ambiental. Raisi *et al.* (2010) realizaron un estudio sobre la relación entre las concentraciones de propágulos fúngicos viables y de bacterias con el material particulado de diferentes diámetros aerodinámicos; observaron que la concentración bacteriana incrementó junto a la concentración de hongos y que ambos se relacionaron con la concentración de PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> o PM<sub>10</sub>.

Posterior al análisis frecuencia y al conteo de los géneros reportados para cada sitio, se señaló a San Mateo como el de mayor cantidad de géneros identificados, mientras que los de menores registros fueron San Lorenzo y Ceboruco. Se examinaron asimismo, los conteos individualmente con la finalidad de identificar cuál de los sitios representa un posible riesgo a la salud de los habitantes, de acuerdo con el comportamiento de los hongos.

Dichos datos contrastaron con lo reportado en el capítulo I, debido a que los resultados muestran diferencias entre los conteos de UFC y el riesgo asociado a los géneros reportados. Para el primer capítulo se señalaron a Ceboruco y San Cristóbal como los sitios que presentaron los conteos de UFC máximos y mínimos, respectivamente; sin embargo, para el presente capítulo se observó una dinámica inversa en los mismos sitios con relación al riesgo potencial. En el caso de San Cristóbal se presume un mayor riesgo debido a que las principales categorías del criterio Yadav y Madelin registraron géneros de importancia para la salud como: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Scopulariopsis* y *Penicillium*. Mientras que para Ceboruco se supone un riesgo menor debido a la dominancia en los conteos de *Cladosporium*, aun cuando también se encontraron presentes *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Acremonium*. Lo anterior concuerda con lo referido por Ramos y Meza (2017), que identificaron como los géneros predominantes a lo largo de su muestreo a *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, abarcando el 82% del total de esporas aisladas

Ahora bien, en un contexto más específico, se aborda la relación de algunas

sintomatologías o padecimientos asociados a los géneros reportados en las principales categorías. Tal es el caso reportado por Wheat *et al.* (1984), en el cual se analizó la evolución de un paciente inmunodeprimido que presentó un cuadro de neumonía asociada a *Scopulariopsis*, mismo organismo que presentó una alta resistencia a la aplicación de agentes antifúngicos. Cuenca *et al.* (2003) señalaron que en las últimas dos décadas se ha asociado al género *Scopulariopsis* con pacientes inmunocomprometidos, que presentaron diversos padecimientos severos como: esferas de hongos en cavidades pulmonares preformadas, queratitis, endoftalmitis postraumática, infecciones subcutáneas granulomatosas, hialohifomicosis invasiva, entre otras; de igual manera Farwa *et al.* (2011) asocian este género con padecimientos menos severos como la onicomycosis, definida como una infección fúngica en las uñas de los dedos.

En cuanto al género *Alternaria*, De la Torre *et al.* (2007) identificaron a *A. alternata* como agente causante de alternariosis cutánea, la cual se considera una infección oportunista que aparece en personas inmunodeficientes; también se le relaciona con la queratomycosis, endoftalmitis o conjuntivitis alérgica. Pastor y Guarro (2008) señalaron algunas de las manifestaciones clínicas presentes en pacientes inmunocomprometidos asociadas a dicho género, entre las que reportaron se encuentran: infecciones cutáneas y subcutáneas, seguidas de oculomycosis, rinosinusitis invasiva y no invasiva, así como onicomycosis. Por otro lado, Ghannoum (2003) menciona que las infecciones más comunes causadas por algunas especies de *Acremonium* son los micetomas o infecciones oculares, así como infecciones superficiales causadas por una inoculación traumática u onicomycosis. De igual forma, Roehm *et al.* (2012) analizó el caso de un neonato que presentaba un cuadro agudo de leucemia, el cual facilitó el desarrollo de rinosinusitis avanzada asociada con a los género *Acremonium* y *Phoma*

Aunado a lo anterior, algunos de los géneros que se encontraron han sido catalogados como invasivos tanto para plantas como animales, entre estos están: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Phoma*, *Ulocladium*, *Mucor*, *Rhizopus* y *Rhizomucor*, algunas de las enfermedades con las que inciden en el ser humano son principalmente infecciones en tejidos epiteliales, otitis, infecciones oculares, algunas incluso pueden diseminarse hacia los pulmones (Gauthier y Keller, 2013), de estos géneros coinciden 11 con los registrados en el presente estudio. En la ciudad industrializada de Thessaloniki, Grecia; durante 15 años se registró la presencia de 15 géneros catalogados como alérgenos, los que coinciden con el presente estudio son *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Phoma*, *Stemphylium* y *Torula*, registrando el mayor porcentaje *Cladosporium* (72.22%), seguido de *Alternaria* (9.82%), el resto de los géneros

no sobrepasó el 1% (Gioulekas et al., 2004), esto demuestra la ubicuidad de los géneros alérgenos mencionados y su presencia una ciudad industrializada. Cabe mencionar que en el caso de los sitios San Lorenzo y San Cristobal, tanto *Alternaria* como *Cladosporium*, con conteos muy similares (100%) se ubicaron en el la categoría "Muy Común" del criterio empleado.

De acuerdo con el Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales (FSRI, 2017) se han observado algunas de las manifestaciones clínicas asociadas a la contaminación por partículas inorgánicas y gases del aire como la exacerbación del asma, el incremento en la incidencia de infecciones respiratorias, la disminución en las funciones respiratorias, así como bronquitis y tos crónica; asimismo, representa un importante riesgo ambiental. Dockery *et al.* (1993) han demostrado una diferencia en la tasa de mortalidad entre las ciudades más contaminadas y menos contaminadas en EE.UU; estos mismos autores refirieron que la contaminación en ciudades que tenían niveles elevados de partículas suspendidas totales (PST), PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, se asociaban con muerte por cáncer pulmonar y enfermedades cardiopulmonares. Por otro lado, Cortez-Lugo *et al.* (1998) mencionan que para el caso del O<sub>3</sub>, sus concentraciones máximas han ido en aumento en los últimos cinco años, rebasando en México la NOM-025-SSA1-2014 salud ambiental, en más de 300%; favoreciendo las condiciones prevalecientes de distintos contaminantes. Si bien en la ZMVT los niveles de calidad del aire referidos oscilan entre buena y regular, es importante mantener sobre vigilancia este contaminante para prevenir que los valores continúen al alza debido a los impactos a la salud que puede producir. Hajat *et al.* (2002), encontraron una asociación entre el contaminante PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> y la incidencia de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) en adultos mayores y en niños, en los meses fríos. Torillo (2008) menciona que el ozono es uno de los contaminantes del aire que en concentraciones elevadas, afectan a la salud causando irritación de nariz y garganta, incremento en la producción de mucosidad, tendencia a tos, irritación de ojos, dolor de cabeza, y, durante episodios severos, dolor de pecho y dificultad para respirar reduciendo el volumen de expiración forzado, la cual es una medida clínica de la función pulmonar.

De acuerdo con la WHO (2012), se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas PM<sub>2.5</sub>, que causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias e inclusive se ha relacionado con el desarrollo de cáncer. El 91% de esas defunciones prematuras se producen en países de bajos y medianos ingresos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones de Asia

Sudoriental y el Pacífico Occidental (OMS 2019). Asimismo, Brandt (2017), refiere que el impacto de la contaminación y la falta de política pública enfocada a reducir las emisiones de contaminantes pueden costarle a nuestro país alrededor de 20,000 millones de pesos en 2018.

Diversos padecimientos respiratorios cuentan con una amplia gama de sintomatología que puede no ser de gran utilidad como indicadores de un cuadro en particular. Sin embargo, existen algunas identificadas en la mayoría de las condiciones respiratorias, tal como es el caso de la tos, considerado el síntoma respiratorio más frecuente (Morice, 2002). Algunos estudios relacionan la presencia de la tos con los padecimientos respiratorios más comunes, por ejemplo: el resfriado común, faringitis, amigdalitis, bronquitis, enfisema pulmonar, rinosinusitis, rinitis, asma, entre otras (Vega-Briceño y Sánchez, 2004).

Dichas enfermedades pueden presentarse debido a diversas fuentes que incluyen virus, bacterias, contaminantes químicos y hongos. Este último componente, con diversos géneros, ha sido asociado a complicaciones de cuadros asmáticos y a los síntomas característicos presentados, tal como lo son: sibilancias recurrentes, dificultad respiratoria, opresión torácica, tos recurrente, tos que se incrementa con el frío, cuadros catarrales recurrentes, tos de predominio nocturno y tos que aumenta con el ejercicio (Mancilla *et al.*, 2015). Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Mancilla *et al.* (2016), quienes posterior a entrevistar a 7,947 estudiantes observaron que los síntomas asociados al asma, como la tos (63%), aumentaron su prevalencia en las temporadas climáticas que presentaron bajas temperaturas. De igual manera coinciden con lo reportado por Donaldson *et al.* (2012) quienes reportaron una exacerbación de tos en 1,052 casos referidos en Londres para la temporada fría (noviembre a febrero). Lo anterior se relaciona con lo reportado en los capítulos I y II, en los cuales se registraron los conteos de UFC fúngicas más elevados en la temporada seca fría, pudiendo ser esta la causa de aumento de complicaciones y/o sintomatologías respiratorias reportadas para la ZMVT.

De acuerdo con lo propuesto por Riojas *et al.* (2014), resaltan la importancia de realizar una evaluación de impacto en salud (EIS) que documente los beneficios en salud ante diversos escenarios de reducción de PM10 y O3 en el aire, con el objetivo de desarrollar un plan de gestión de calidad del aire que desemboque en una mejora de la misma, que a su vez refleje importantes beneficios para la salud.



### 3.9 CONCLUSIONES

En la actualidad estamos expuestos a una inmensa cantidad de partículas provenientes de una amplia gama de fuentes potenciales y de las cuales desconocemos la totalidad de las implicaciones que pueden representar en la salud de los habitantes de la ZMVT. Si bien es complicado realizar una descripción total de las partículas atmosféricas, hoy en día se cuenta con herramientas más precisas que permiten ejecutar análisis con mayor velocidad, precisión y que arrojan información referente a su concentración, tamaño, composición y morfología; brindando un panorama con mayor amplitud para su manejo y prevención. La importancia de esta información ha sido menospreciada, ya que es mediante esta que, se puede vigilar el comportamiento de dichas partículas y sus fuentes de emisión como una estrategia de prevención en lugar de tomar acciones reactivas a través de medicamentos para tratar "padecimientos cotidianos". Hoy en día numerosas incógnitas prevalecen sin respuestas ¿Cuál es la relación entre los contaminantes, además de las partículas? ¿Cuál es la relación la presencia fúngica en personas sanas? ¿Cuál es la población con más alto riesgo?, entre otras.

En aras de mejorar la calidad del aire y por ende la salud de las personas, es de vital importancia monitorear las emisiones de contaminantes atmosféricos, a través del desarrollo de políticas preventivas que se enfoquen al transporte, planificación urbana e industria, que conlleven a una notable reducción de la contaminación del aire. Lo anterior es alcanzable a través de la utilización de tecnologías limpias y accesibles, mejoramiento de transporte público urbano eficiente y en buen estado, fomento del uso de bicicletas en las ciudades, perfeccionamiento en la planificación urbana con el mejoramiento de la eficiencia energética de los edificios y control del crecimiento de las ciudades; uso de combustibles de bajas emisiones y fuentes de energía renovable sin combustión; así como estrategias de reducción, separación, reciclado y reutilización o reelaboración de desechos. De igual manera, el ampliar el desarrollo de estudios que nos permitan conocer la estacionalidad, diversidad y abundancia fúngica en diferentes regiones y condiciones ambientales; así como la correcta difusión y divulgación de los resultados, permitirá la prevención de riesgos potenciales asociados a la presencia de determinadas especies identificadas como causantes de alguna sintomatología. Lo anterior se lograría con estrategias preventivas, en lugar de acciones reactivas ante alguna sintomatología.

### 3.10 LITERATURA CITADA

- Aire CDMX, 2016.** "¿Qué es el Ozono?". Dirección de Monitoreo Atmosférico, Artículo de divulgación disponible en:  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-es-ozono.pdf> Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2019
- Aire CDMX, 2019.** "Índice de calidad del aire". Gobierno de la Ciudad de México, Artículo disponible en:  
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=&dc=%27Zw==> Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2019
- Arciniégas Suárez C.A. 2011.** "Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10". Revista Luna Azul, núm. 34, pp. 195-213
- Barahona-Crisostomo S.K. 2010.** "Estudio microbiológico del material particulado atmosférico de Santiago mediante herramientas de biología molecular". Tesis de maestría, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza
- Bensch K., U. Braun, J.Z. Groenewald y P.W. Crous, 2012.** "The genus Cladosporium". Studies in Mycology 72: 1-401. München, Germany.
- Borrego-Alonso S.F., 2012.** "Cladosporium: género fúngico que deteriora soportes documentales y afecta a la salud del hombre". Boletín del Archivo Nacional, 18-19-20: 104-118; Cuba.
- Brandt D. 2017.** "El costo de la mala calidad del aire". Boletín Informativo Digital, Museo Interactivo de Economía, Dinero en Imagen, Imagen Digital. Disponible en: <https://www.dineroenimagen.com/blogs/seria-distinto-si-supieras-de-economia/el-costo-de-la-mala-calidad-del-aire/87369#view-1> Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2019
- Centro Mario Molina (CMM), 2018.** "Análisis de la contaminación por PM2.5 en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, enfocado a la identificación de medidas estratégicas de control". Reporte técnico. Disponible en: [http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2019/05/3.-ResumenEjecutivo\\_CalidadAire\\_2018.pdf](http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2019/05/3.-ResumenEjecutivo_CalidadAire_2018.pdf) Fecha de consulta: 20 de octubre de 2019
- Chen, J., Ying, Q., y Kleeman, M. 2009.** "Source apportionment of visual impairment during the California regional PM10/PM2.5 air quality study", Atmospheric Environment, 43, 6136-6144
- Chow, J.; Watson, J.G.; Sah, J.J.; Kiang, C.S.; Loh, C.; Lev-On, M.; Lents, J.M.; Molina, M.J.; Molina, L.T. 2004.** "Megacities and atmospheric pollution, critical review discussion". J. Air & Waste Manage. 54, 1226-1235.
- Cipriano Bakonyi S.M.; I.M. Danni-Oliveira; L. Conceição Martins; A.L. Ferreira Braga. 2004.** "Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR". Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Revista de Saúde Pública 38(5).
- Cortez-Lugo M., A. Mercado-García, M. Hernández-Avila, F. Meneses-González, E. Palazuelos-Rendón. 1998.** "Evaluación de la calidad del aire interior y exterior en un jardín de niños de la Ciudad de México". Salud pública de México / vol.40, no.5.
- Cuenca-Estrella M., A. Gómez-López, E. Mellado, M.J. Buitrago, A. Monzón y J.L. Rodríguez-Tudela, 2003,** "Scopulariopsis brevicaulis, a Fungal Pathogen Resistant to Broad-Spectrum Antifungal Agents", Antimicrobial

Agents and Chemotherapy, p. 2339–2341 Vol. 47, No. 7

- De la Rosa M. C., M. A. Mosso y C. Uullan. 2002.** "El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos". Observatorio Medioambiental ISSN: 1139-1987 Vol. 5 (2002): 375-402
- De la Torre M., Sánchez I., Matheu V. y Álvarez J. 2007.** "Alergia ocular". En Peláez H. y Dávila G. Tratado de Alergología, Tomo I (pp. 561-580). España: Editorial Ergon.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014.** "NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación". En la dirección URL: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/normas/NOM-025-SSA1-2014.pdf>. Fecha de consulta: 22 de julio de 2017.
- Dockery D.W., C. Arden-Pope, X. Xiping, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris, Jr., and F.E. Speizer. 1993.** "An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities". N Engl J Med 1993; 329:1753-1759
- Donaldson G.C., J.J. Goldring, J.A. Wedzicha, 2012,** "Influence of Season on Exacerbation Characteristics in Patients with COPD", Chest Journal, Volume 141, Issue 1, Pages 94-100
- Farwa U., S. Ahmad Abbasi, I. Ali Mirza, A. Amjad, A. Ikram, N. Malik and F. Hanif, 2011,** "Non-Dermatophyte Moulds as Pathogens of Onychomycosis", Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan, Vol. 21 (10): 597-600
- Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales. 2017.** "El impacto global de la Enfermedad Respiratoria" Segunda edición. México, Asociación Latinoamericana de Tórax.
- García-Reynoso J.A., M. Grutter y D. Cintora, 2007.** "Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la Ciudad de México". Rev. Int. Contam. Ambient vol.23 no.4 México.
- Gaviria C.F.; P.C. Benavides; C.A. Tangarife. 2011.** "Contaminación por material particulado (pm2,5 y pm10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)". Rev. Fac. Nac. Salud Pública Vol. 29 N.º 3
- Ghannoum M.A., 2003,** "Human Hyalohyphomycoses: A Review of Human Infections Due to Acremonium spp., Paecilomyces spp., Penicillium spp., and Scopulariopsis spp." Journal of chemotherapy, Center for Medical Mycology, University Hospitals Case Medical Center, pp. 327-342
- Granadillo Cuello J.A., A. Armesto Arenas, J.C. Hernández Criado, J.A. Duarte, M. Pedraza Felizola. 2016.** "Hongos asociados al material particulado, en Ocaña norte de Santander". Revista Ingenio UFPSO, Vol. 12, núm. 1, pp. 75-83
- Greenfacts, 2019.** "Contaminación del Aire Ozono". Cogeneris sprl. Dossier de Prensa. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/ozono-o3/index.htm> Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2019
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). 2014.** "Fichas de agentes biológicos Aspergillus sp.". DB-H-A.spp-12.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014.** "Fichas de agentes biológicos Cladosporium sp.". España. DB-H-C.spp-14.
- Jędryczka M. 2014,** "Aeromycology: studies of fungi in aeroplankton". Folia Biologica et Oecologica, 10(1), 18– 26.

- Latge J.P. 1999.** "Aspergillus fumigatus and Aspergillosis", Clinical Microbiology Reviews, p. 310–350, Paris, France
- Leva G. 2005.** "Indicadores de calidad de vida urbana". Rev. Hábitat Metrópolis, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina.
- Link, 1809.** "Penicillium" Publicado en: Mag. Gesell. naturf. Backbone Taxonomy Freunde, Berlin 3(1-2):16
- Mancilla-Hernández E., Medina-Ávalos M.A., Barnica R.H., Soto D. y col. 2015.** "Prevalencia de asma y determinación de los síntomas como indicadores de riesgo". Revista Alergia México, 62:271-278.
- Mancilla-Hernández E., EVM. González-Solórzano, Medina-Ávalos M.Á., BarnicaAlvarado R.H. 2016.** "Prevalencia de asma y sus síntomas en población escolar de Cuernavaca, Morelos, México". Rev. Alerg. Mex. 63(4):351-357
- Marin J.M. 2017.** "Introducción a la distribución normal multivariante: Análisis de Componentes Principales" En la dirección URL: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema3am.pdf> Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2019
- Mészáros, E. 1999,** "Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry", Budapest, Hungría, Editorial Budapest, Akadémiai Kiadó
- Morales, M. C., Madrigal D. U. y González B.A., 2007.** "Isla de calor en Toluca, México". Ciencia Ergo Sum, 14(3): 307-316.
- Morales González, J., P.C. Fernández-Mensaque y F.J. González Minero. 2004.** "Relación entre la concentración de algunas esporas fúngicas en el aire de Sevilla (España), y los índices bioclimáticos". Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, Santander.
- Morice AH, 2002,** "Epidemiology of cough". Pulm Pharmacol Ther; 15: 253-9.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2016.** Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Nota descriptiva. Septiembre de 2016. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> Fecha de consulta: 10 de Julio de 2017
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2019.** "Calidad del aire y salud". Artículo. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2019
- Pastor F.J. and J. Guarro, 2008,** "Alternaria infections: laboratory diagnosis and relevant clinical features", Journal Compilation European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, CMI,14, 734–746
- Pérez-Vidal H., M.A. Lunagómez-Rocha, L.I. Acosta-Pérez. 2010.** "Análisis de Partículas Suspendidas Totales (PST) y partículas fracción respirable (PM<sub>10</sub>), en Cunduacán, Tabasco". Universidad y Ciencia. 26(2):151-162
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., y Thurston, G.D. 2002.** "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and longterm exposure to fine particulate air pollution", JAMA, 287(9), 1132-1141
- Piecková E. 2012.** "Adverse health effects of indoor moulds". Slovak Medical University, Slovakia. Arh Hig Rada Toksikol; 63:545-549
- Raisi L, Lazaridis M & Katsivela E. 2010,** "Relationship between airborne microbial and particulate matter concentrations in the ambient air at a Mediterranean site", Global NEST Journal, 12: 84-91
- M. Repetto y P. Sanz, 1995.** "Glosario de términos toxicológicos". Asociación Española de Toxicología (AET), versión española ampliada por Sevilla
- Riojas-Rodríguez H., U. Álamo-Hernández, J.L. Texcalac-Sangrador, I. Romieu,**

**2014**, "Health impact assessment of decreases in PM10 and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area. A basis for a new air quality management program", *Salud pública de México*, Vol. 56, No. 6, noviembre-diciembre.

**Rodríguez-Rajo F., Seijo M y Jato V. 2002.** Estudio aerobiológico de la atmósfera de A Guardia, NO de España. *REA* 7: 7-15.

**Roehm C.E., J.C. Salazar, N. Hagstrom, T.A.Valdez, 2012,** "Phoma and Acremonium invasive fungal rhinosinusitis in congenital acute lymphocytic leukemia and literature review", *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, Volume 76, Issue 10, Pages 1387-1391

**Romero Guzmán E.T. y L.R. Reyes Gutiérrez. 2008.** "Influencia de emisiones naturales y antropogénicas en el material aerotransportado del Valle de Toluca". *Rev. Contacto Nuclear, ININ*

**Samson R.A., C.M. Visagie, J. Houbroken, S.-B. Hong, V. Hubka, C.H.W. Klaassen, G. Perrone, K.A. Seifert, A. Susca, J.B. Tanney, J. Varga, S. Kocsub, G. Szigeti, T. Yaguchi, and J.C. Frisvad. 2014.** "Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*". *STUDIES IN MYCOLOGY* 78: 141-173.

**Sánchez de la Campa, A.M. y J. De la Rosa. 2010.** "Caracterización del material particulado atmosférico de la provincia de Huelva" Repositorio Institucional de la Universidad de Huelva, España. Disponible en el sitio: <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8545/Caracterizacion%20del%20material%20particulado.pdf?sequence=2> Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2019

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013.** "Calidad del aire: una práctica de vida". Cuadernos de divulgación ambiental, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf> Fecha de consulta: 17 de octubre de 2019

**Stetzenbach, L. 1997,** "Introduction to aerobiology". En: Hurst, C.J. et al., *Manual of environmental microbiology*. Ed. American Society for Microbiology, Washington

**Ubilla C. y K. Yohannessen, 2017.** "Contaminación atmosférica, efectos en la salud respiratoria en el niño". *Revista Médica Clínica Las Condes*, Vol. 28, Issue 1, January-February, Pages 111-118

**Vega-Briceño L.E., I. Sánchez. 2004.** "Tos persistente como expresión de asma en el niño". *Rev. Chil. Pediatr.* 75 (5); 463-470

**Vélez A.M., M.R. Mejía, Y.P. Salcedo, Y. Camargo. 2009.** "Emisiones atmosféricas de origen biológico: generalidades, impactos asociados y medidas de control de aerosoles fungi". *Revista RE'TAKVN* Vol. II, Número 1. ISSN: 2027-162

**Vivar Martínez, E.F. 2014.** "Cuantificación de material particulado pm10 y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de azogues". Tesis de maestría en toxicología industrial y ambiental, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas

**Wheat LJ, M. Bartlett, M. Ciccarelli, J.W. Smith, 1984,** "Opportunistic Scopulariopsis pneumonia in an immunocompromised host", *South Med J.* 77(12):1608-9.

**World Health Organization (WHO), 2003,** "Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide", Report on a WHO

Working Group Bonn, Germany.

**World Health Organization, 2016**, "Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease", Geneva, Disponible en:  
<http://who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>  
Fecha de consulta 22 de octubre de 2019

## **CAPÍTULO IV**

**TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN  
(TICS) COMO HERRAMIENTA PARA LA TRANSFERENCIA DE  
CONOCIMIENTO DE HONGOS AEROTRANSPORTADOS.**

## 4.1 RESUMEN

Una de las problemáticas con mayor importancia en la actualidad contaminación ambiental, principalmente en el aire; la cual ha sido relacionada con diversos impactos potenciales a la salud de la población. El crecimiento de las concentraciones de dichos contaminantes se le ha atribuido al aumento de las actividades antropogénicas; lo cual se ha asociado al rápido y desordenado crecimiento urbano e industrialización, fenómenos que muchas veces no van acompañados de programas cuyo objetivo son proteger el ambiente (Lacasaña-Navarro *et. al.*, 1999). Es debido a la necesidad de afinar y profundizar el estudio de los componentes de esta problemática, que surge la necesidad de la aplicación de nuevas tecnologías que permitan dicho objetivo. Una de las herramientas de gran relevancia para el fomento de ese tipo de estudios es la difusión y divulgación de los resultados obtenidos; sin embargo, debido al acelerado ritmo de vida en la actualidad se resalta el potencial del uso de la tecnología con esta finalidad. Aunado a lo anterior, el uso de la tecnología supone una herramienta amigable y dinámica, que a su vez cuenta con la disponibilidad de estar en diversos dispositivos móviles.

El objetivo fue diseñar una app como plataforma de difusión de la información referente a la presencia de hongos aerotransportados en la atmósfera de la ZMVT. Posterior al procesamiento de las muestras y con base en los resultados de los capítulos I, II y III de la presente tesis, Mediante el uso del software InVision®, se elaboró la interfaz de una aplicación para equipos móviles con en la cual se desarrollaron cinco secciones de la app móvil, las cuales son: Acervo bibliográfico, Fichas fúngicas, Datos estadísticos, Semáforo de riesgo, Galería fúngica. Para la obtención de la información se realizaron búsquedas en motores de búsqueda especializados como Google Scholar®

Palabras Clave: Hongos, Aerotransporte, Aplicaciones móviles, Difusión



## 4.2 ABSTRACT

One of the most important problems nowadays is the environmental pollution, mainly the air; which has been related to potential impacts to the population health. The growth of these pollutants concentrations can be attributed to the increase of anthropogenic activities; which has been associated with the accelerated and disorderly urban growth and industrialization phenomena that are often not accompanied by program whose objective is environmental protection (Lacasaña-Navarro *et. al.*, 1999). It is due to the need to refine and deepen the study of the components of this problem that focus the need for the application of new technologies that allow achieving this objective. One of the tools of great relevance for the promotion of such studies is the dissemination of the obtained results; however, due to the accelerated way of life, the potential of using technology for this purpose is highlighted. In addition, the use of technology is a friendly and dynamic tool, which has the availability of being on various mobile devices.

The objective was to design an app as a platform for information dissemination regarding the presence of airborne fungi in the ZMVT atmosphere. After processing the samples and based on the results on chapters I, II and III of this thesis, through the use of InVision® software, the application sketch was developed including with five sections for the mobile app which are: bibliographic collection, fungal cards, statistics, risk traffic light and fungal gallery. Specialized search engines such as Google Scholar® to obtain information.

Key Words: Fungi, Airborne, Mobile App, Information dissemination

## 4.3 INTRODUCCIÓN

Una de las principales características del ser humano es el interés por analizar y comprender al medio donde se desenvuelve, así como sus componentes y el efecto que tienen en éste las actividades que realiza. En la actualidad, la contaminación ambiental ha sido reconocida ampliamente como una problemática de gran interés, especialmente en cuanto al aire, debido a los impactos potenciales a la salud de la población y considerando que ha ido en aumento por las diversas actividades antropogénicas. Además, gran parte del problema deriva del rápido y desordenado crecimiento urbano e industrialización, fenómenos que muchas veces no van acompañados de programas cuyo objetivo son proteger el ambiente (Lacasaña-Navarro *et. al.*, 1999). Uno de los componentes con gran importancia de estudio es la presencia de hongos alérgenos en el aire a nivel mundial, identificada como un problema de salud pública, debido a que son aproximadamente 100 géneros los que inciden en las reacciones alérgicas (Green et al., 2005).

Esta problemática ha hecho que las miradas volteen en esa dirección, ya que todavía queda una gran cantidad de aspectos a estudiar y, por ello, el uso de la tecnología se ha vuelto indispensable. La tecnología puede definirse como “un conjunto de conocimientos técnicos que se llevan a la práctica o se aplican” (Tecno, 2018); y permite el desarrollo de diversas herramientas que posibiliten análisis más profundos y exactos. Así ha quedado demostrado en los últimos años, donde se ha observado un gran crecimiento tecnológico y una constante innovación. Inicialmente, el sociólogo James D. Thompson, clasificó los tipos de tecnología en dos grandes conjuntos: tecnología flexible y tecnología fija, sin embargo, con la evolución de la misma, diversos autores, como Romaní (2009), propusieron una categorización con base en las condiciones particulares de conocimiento que agrupan, algunas de ellas son:

- **Tecnología fija:** se clasifica como no reutilizable, debido a que su utilidad se enfoca en el fin primario para el que se diseñó, sin la posibilidad de cambiar en el futuro. Ej.- Refinerías de petróleo, siderúrgica, cementeras, etc.
- **Tecnología flexible:** es la más perceptible en el día a día, denominada como flexible porque del uso de sus conocimientos técnicos se desprenden otro tipo de servicios y productos. Ej.- Farmacéutica, industria alimenticia y automotriz.
- **Tecnología blanda:** agrupación de conocimientos vinculados a la planificación, comercialización o administración, sin ser conocimientos técnicos como tal. No es tangible. Ej.- Procedimientos del marketing, softwares, conexiones de Wi-Fi, herramientas de administración, etc.

- **Tecnología dura:** conocimientos técnicos aplicados para el desarrollo de aparatos como máquinas, materiales o productos tangibles. Ej.- Impresora, medios de transporte, brújula, etc.
- **Tecnología de equipo:** es la aplicada en industrias, en la cual se tiene como objetivo la obtención de algún producto mediante un equipo. Ej.- Industrias de conversión como plástico, textiles y hules.
- **Tecnología de operación:** está basada en la observación, evaluación y propuesta para otra clase de tecnología como la de equipo o de procesos. Ej.- Procesos de fabricación de un producto o servicio.
- **Tecnología de producto:** agrupación de técnicas, características y conocimientos empleados para el desarrollo de un servicio o producto. Suma de habilidades manuales y conocimientos teóricos. Ej.- Producción de robots, fabricación de muebles, etc.
- **Tecnología limpia:** la desarrollada con la finalidad de producir el menor impacto posible al ambiente. Apela al uso de racionalizado y equilibrado de los recursos, promoviendo el cuidado y la menor afectación a los sistemas naturales. Ej.- Focos ahorradores, uso de energía renovable, manejo de los desechos sólidos, etc.

En este capítulo se hará referencia al uso de las tecnologías blandas como una herramienta para vencer el reto de la difusión de la información de forma amigable y sencilla, para que cualquier persona que esté interesada en el tema pueda tener acceso.

## 4.4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.4.1 Relación humano - tecnología

Las técnicas y conocimientos que comprenden la tecnología han estado presentes en la vida diaria del ser humano desde la época del hombre primitivo, quien desarrollaba y utilizaba herramientas que le permitían llevar a cabo acciones de importancia para su supervivencia. Conforme el lenguaje humano se fue desarrollando, estos utensilios fueron modificados, adaptados y compartidos entre diversos individuos hasta perfeccionarse, al punto de lograr la adaptación del medio para convertirlo en un paraíso tecnológico, cómodo en todo sentido.

En 1829 Jacob Bigelow definió la tecnología como: “principios, procesos y nomenclaturas de las artes más famosas, particularmente aquéllas que involucran aplicaciones de la ciencia y que pueden ser consideradas útiles, promoviendo el beneficio de la sociedad”. A raíz de esto, la finalidad del desarrollo tecnológico es facilitar las labores cotidianas al ser humano, tal y como lo fue la creación de la pluma, una de las primeras tecnologías que facilitó

a los humanos escribir y recordar sus pensamientos; posteriormente, y como parte del proceso evolutivo, esta herramienta se mejoró con el desarrollo de la imprenta, dispositivo que permitió la reproducción masiva de la palabra escrita y una difusión más amplia de la información con otras personas.

Uno de los parteaguas históricos del desarrollo tecnológico es sin duda la revolución industrial, ya que en ella se marcó un antes y un después en la tecnología; se modificó y eficientó el trabajo a mano a través de una cadena de producción, mediante una máquina de vapor con la que se movía algún tipo de herramienta y correa de transporte en él, desarrollando una mejora en cantidad, presupuesto y calidad (Concepto Definición, 2019).

El siglo XX es denominado el Siglo de la Tecnología debido a sus grandes avances, tal como la aparición de los primeros aviones, la llegada de la electricidad a ciudades y fábricas, el desarrollo de la tecnología espacial que permitió colocar los primeros satélites artificiales en órbita y sondas interplanetarias (1957); asimismo, comienza el auge de la tecnología nuclear, se presentan grandes avances en el campo de la medicina que permiten que la calidad y expectativa de vida mejoren, se desarrollan las grandes redes de comunicación telefónica fijas y móviles, aparece Internet (1967), la llegada del Hombre a la luna (1969), y el correo electrónico (1971) y surge la electrónica como una rama tecnológica de la que se desprende la elaboración de los primeros ordenadores personales (1980) (González, 2008).

El siglo XXI no se encuentra lejos de esta tendencia de constante innovación, ya que algunos de los inventos tecnológicos que se prospectan para los siguientes años prometen seguir con este interés, algunos de estos son: apps de reconocimiento facial (2006), coches eléctricos y de diversos combustibles(2008), autos que se conducen solos (2010), "casas inteligentes" conectadas a internet (2014); otros continúan en desarrollo como: drones repartidores, pastillas para olvidar (se identificó una proteína capaz de influir en el mecanismo del cerebro), nanobots que detectan y curan enfermedades, ropa invisible, gafas capaces de detectar niveles de glucosa y auxiliares para personas con daltonismo y ceguera, dispositivos electrónicos controlados por la mente, manos biónicas controladas por señales cerebrales, edificios rotatorios, el "boom" de la energía solar como alternativa a los combustibles fósiles, bioimpresoras de órganos, capaces de crear órganos a medida (célula a célula), diseño especializado de robots como asistentes personales y el uso de nanotecnología en la ropa (nanofibras), entre otros (Tiwari S., 2008; Sabán, 2018).

#### **4.4.2 Tecnologías de la información y comunicación (TICs)**

Dentro de las tecnologías blandas, una de las herramientas que ha obtenido mayor importancia son las tecnologías de la información y comunicación (TICs),

sobre las cuales, Cabero (1998) definió algunas de las características representativas:

- Inmaterialidad: realizan la creación, proceso y comunicación de la información (inmaterial) de forma transparente e instantánea a lugares lejanos.
- Interactividad: su característica más importante, ya que mediante las TICs se consigue un intercambio de información entre el usuario y el ordenador; permite la adaptación a las necesidades y características de los sujetos.
- Interconexión: es la creación de nuevas posibilidades tecnológicas a partir de la suma de dos tecnologías.
- Instantaneidad: a través de las redes de comunicación se ha posibilitado la comunicación y transmisión de la información de una forma rápida entre lugares alejados físicamente.
- Elevados parámetros de calidad de imagen y sonido: permite transmisiones multimedia (texto, imagen y sonido) con gran calidad, lo cual ha sido facilitado por el proceso de digitalización.
- Digitalización: su objetivo es que la información de distinto tipo (sonidos, texto, imágenes, animaciones, etc.) pueda ser transmitida por los mismos medios al estar representada en un formato único universal.
- Influencia sobre los procesos y productos: se menciona una posible influencia sobre los procesos mentales que realizan los usuarios para la adquisición de conocimientos, más que sobre los propios conocimientos adquiridos.
- Penetración en diversos sectores: hace referencia al impacto de las TIC's en los individuos, grupos y países, así como en los diferentes sectores: culturales, económicos, educativos, industriales, etc.
- Innovación: participan en la generación de mejoras y cambio constante en todos los ámbitos sociales.
- Tendencia hacia automatización: la aparición de diferentes posibilidades y herramientas permiten un manejo automático de la información en diversas actividades personales, profesionales y sociales.
- Diversidad: la aplicación de estas tecnologías puede ser muy diversa, desde la mera comunicación, hasta el proceso para crear informaciones nuevas.

Es debido a esta gama de particularidades, que las TICs representan un instrumento de gran impacto y accesibilidad, que facilita el intercambio de información al hacerla accesible a diversos sectores de la población a través de los dispositivos electrónicos, los cuales juegan un papel importante en la vida cotidiana de las personas. De acuerdo con las estadísticas mundiales, desde agosto de 2017 hay aproximadamente más de 3,500 millones de usuarios conectados en internet a través de su móvil, lo que representa el 80% del uso

global de internet; el 50% del tiempo destinado se emplea en aplicaciones móviles.

#### **4.4.3 Importancia de informar a la población de la presencia de propágulos fúngicos en el aire**

El análisis de la carga fúngica en la atmósfera ha sido motivo de diversos estudios a nivel mundial, debido a que desde hace varias décadas la contaminación del aire se ha asociado con ciertos efectos nocivos para la salud de las poblaciones. Acinas (2007), refiere la relevancia de comunicar, de forma consciente y cuidadosa, información seleccionada, ya que puede facilitar a la población contar con el conocimiento sobre dichos riesgos y de esta manera minimizar la probabilidad de que las personas malinterpreten el riesgo y tomen decisiones incorrectas respecto a qué hacer. De acuerdo con lo reportado por Lacasaña (1999), a través de una recopilación histórica de información, se observó que en 1948 los niveles extremadamente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de exceso de mortalidad en Pennsylvania, EUA; al igual que en Londres, Inglaterra, en 1957 y en Meuse Valley, Bélgica, en 1930. Los análisis de datos procedentes de Londres han mostrado una asociación entre la mortalidad y un amplio rango de concentraciones de contaminantes. por lo que se requieren tácticas de comunicación que permitan que la información permee a diversos sectores de la población. La salud es un derecho el cual implica que el estado tiene el deber de crear las condiciones necesarias para que la población pueda acceder y mantenerla (Blanco, 2005 en López Urbina, 2017).

Antecedentes como los mencionados son de vital importancia y deben considerarse para el diseño y creación de estrategias para la difusión de este tipo de información ya que, aun cuando tiene una gran significancia, el reporte de los resultados de los estudios debe manejarse con la delicadeza y prudencia que merece un tema como la salud de la población. Lo antes mencionado concuerda con lo señalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) en su página web, haciendo hincapié en que: "para prevenir la contaminación se necesitan políticas sobre la calidad del aire y el transporte, regulaciones que monitoreen la contaminación en las ciudades, controles de emisiones en la industria y la promoción de fuentes de energía limpia y renovable; así como aplicar tecnologías y sistemas de ventilación eficientes en los hogares, escuelas y entornos de trabajo, así como la promoción de hábitos de vida saludable.

#### **4.4.4 Divulgación científica**

Una amplia gama de proyectos se realiza, año tras año, en los variados campos de estudio de las diferentes disciplinas, sin embargo, no siempre los resultados

llegan a compartirse fuera de los gremios de cada materia. En la actualidad se reconocen dos maneras para comunicar estas actividades y su importancia:

1. el primero de ellos es la "difusión de la ciencia", la cual estipula un intercambio de información entre colegas o "pares", con la finalidad de desarrollar nuevas propuestas de investigaciones o líneas de interés con un enfoque multidisciplinario (Berruecos, 1995).
2. El segundo es la "divulgación de la ciencia", según Ana María Sánchez Mora (2002 en Lozada-Chavez, 2017), que se define como una labor multidisciplinaria, cuyo objetivo es comunicar el conocimiento científico, utilizando diversos medios, a diversos públicos voluntarios recreando ese conocimiento con fidelidad y contextualizándolo para hacerlo accesible.

Tanto la difusión, como la divulgación de la ciencia van de la mano con una gran responsabilidad, Lozada-Chavez (2017) enlistó una serie de características que componen un producto de divulgación:

- ser fiel al contenido científico.
- estar dirigida a un público no especializado.
- ser tratada bajo el proceso de recreación divulgativa, a partir de la cual el divulgador tiene que crear un nuevo mensaje con lenguaje no técnico y contextualizado para que sea accesible, ameno y de interés a su público.
- expresarse bajo el convenio de un público voluntario.

De acuerdo con lo anterior, la divulgación científica supone una herramienta de gran impacto social, así como una manera de compartir la información de forma que permea a sectores externos al gremio científico.

#### **4.4.5 Aplicaciones digitales (app) como herramienta de información**

Hoy en día, uno de los términos más empleados en los medios digitales, por usuarios de todas las edades y diversos estratos sociales, es: "app", que es una abreviatura de la palabra en inglés application (aplicación en español). Funcionalmente hablando, una app es un programa que cuenta con características específicas para la realización de una tarea o proceso de forma rápida y accesible; actualmente este término hace referencia principalmente a las aplicaciones de tabletas (ej. iPad®), teléfonos celulares (smartphone) y computadoras.

Las características y funcionamiento de cada app obedecerán a las ideas del programador y su finalidad, ya que algunos de los procesos dependerán de Internet y/o redes sociales para funcionar, además de ser herramientas de fácil acceso ya que su instalación es instantánea, pues basta hacer un par de clics

para que se descarguen y empezar a usarlas. Otra ventaja es su portabilidad, su tamaño (pequeñas) y especificidad; pueden abarcar juegos, redes sociales o recuperación de información de todo tipo, edición de fotos, videos o música, etc.

De acuerdo con el sitio Multi Atlas (2019), las estadísticas de 2018 arrojaron que aproximadamente existen más de 8 millones de apps en las tiendas del sistema Android-Google Play, 2.2 millones para la AppStore de iOS (Apple), cerca de 669,000 en la Microsoft Store de Windows y 600,000 en la tienda de Amazon; asimismo, se menciona que la media de uso de éstas por los consumidores es de 9 apps diarias y 30 mensuales. Las aplicaciones móviles son la razón por la que los usuarios pasan cada vez más tiempo en sus teléfonos, pues simplifican gran parte de los procesos de la vida cotidiana como las compras, comunicaciones y entretenimiento (Economía TIC, 2019).



## **4.5 OBJETIVOS**

### **4.5.1 General**

Diseñar una app como plataforma de difusión de la información referente a la presencia de hongos aerotransportados en la atmósfera de la ZMVT.

### **4.5.2 Particulares**

- Generar un espacio de difusión científica para los trabajos realizados por las instituciones que conforman el proyecto
- Proponer un semáforo de calidad de aire relacionado a la presencia de propágulos fúngicos aerotransportados
- Producir un banco de imágenes que funcione como una herramienta de apoyo para la identificación de microorganismos fúngicos

## **4.6 MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Propágulos fúngicos suspendidos en el aire**

Se realizó una campaña de muestreo del 25 de Mayo de 2017 al 27 de Marzo de 2018, con una periodicidad de 15 días en seis sitios de la ZMVT, teniendo un total de 20 muestreos y abarcando las tres épocas climáticas reportadas para la zona: seca-cálida (Marzo, Mayo), lluvias (Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre) y seca-fría (Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero).

#### **4.6.1 Obtención de UFC**

El muestreo se realizó forma simultánea en los seis sitios a las 12:00 hrs., empleando el método de sedimentación por gravedad en el cual se expusieron por 15 minutos en cada sitio tres cajas de Petri con medio de cultivo Rosa de Bengala (por su propiedad bacteriostática), adicionado con Cloranfenicol (500mg/1L) para inhibir el crecimiento de microorganismos diferentes a los hongos. El muestreo se realizó por triplicado, se colocaron 2 cajas a la altura del equipo marca TCR TECORA para captar propágulos fúngicos cercanos a la corriente de viento, y una más en la base del equipo para la captación de material fúngico inerte. Posterior a la toma de muestra las cajas se transportaron al laboratorio de la UAM-X, se incubaron a 28°C de 5 a 7 días, para favorecer el crecimiento de las colonias y realizar la identificación.

#### **4.6.2 Identificación y cuantificación**

Una vez observado el crecimiento (macromorfología) de las colonias en las cajas, se realizaron preparaciones en fresco, extrayendo directamente de la caja una fracción de la colonia y colocándola en un portaobjetos con azul de lactofenol para facilitar la observación de estructuras reproductivas (conidios, septos e hifas), finalmente se colocó un cubreobjetos y se procedió a la identificación utilizando los microscopios ópticos Olympus CH30® y Nikon Alphaphot-2 YS2-H®, microscopio estereoscópico Olympus SZ-PT® microscopio de contraste de fases Olympus BX40® y mediante el uso de las Claves Dicotómicas de Barnett y Hunter 1987, Samson *et al.*, 1984 y Watanabe 2002; se realizó una identificación a nivel de género de aquellas colonias que desarrollaron estructuras óptimas de crecimiento.

#### **4.6.3 Desarrollo de las secciones**

Posterior al procesamiento de las muestras y con base en los resultados de los capítulos I, II y III de la presente tesis, se propuso la elaboración de cinco secciones de la app móvil, las cuales son:

- Acervo bibliográfico
- Fichas fúngicas
- Datos estadísticos
- Semáforo de riesgo
- Galería fúngica

Para la obtención de la información se realizaron búsquedas en motores de búsqueda especializados como Google Scholar®.

#### 4.6.4 Desarrollo de la interfaz

Con la ayuda de la Lic. Stephanie Alcocer Galicia, diseñadora gráfica, se utilizó el software InVision Studio® versión 0.94.20 para la creación de la interfaz de usuario, a la cual se le dio formato empleando las herramientas preexistentes en el programa. Se trabajó en diversos diseños (sketchs) para cada una de las secciones propuestas, con la finalidad de presentar un diseño atractivo pero amigable a la vista.

Se diseñó cada pantalla forma individual y se organizaron a manera de capas desde la pantalla de inicio de Studio; cada una fue importada y vinculada con la pantalla de inicio, donde se les asignó un “acceso directo” en el menú; de igual manera, se cargó la información de cada apartado y se geo posicionó en un mapa digital la ubicación de cada una de las estaciones de muestreo.

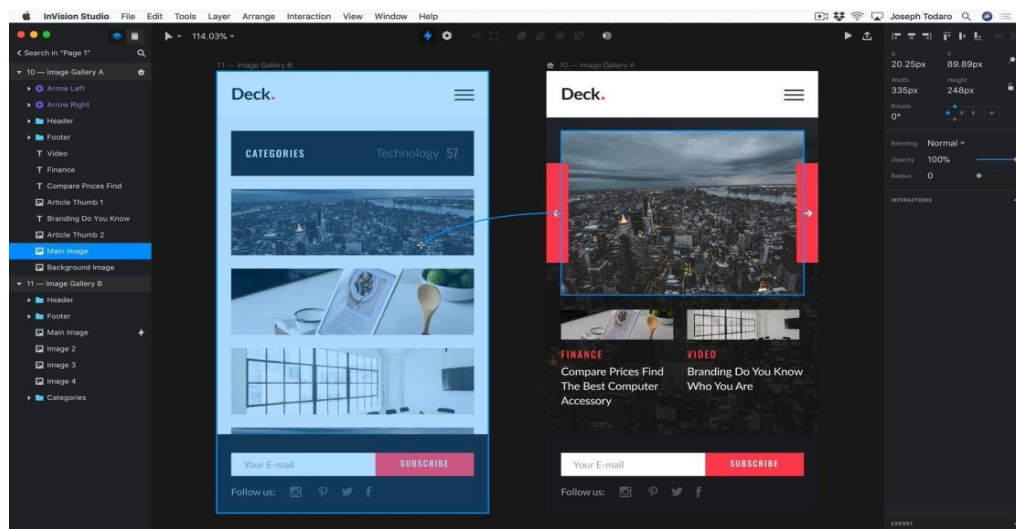


Figura 21. Captura de pantalla de la ventana de trabajo del software InVision Studio® obtenida del sitio: <https://support.invisionapp.com/hc/en-us/articles/360000096603-Basic-Prototyping-Interactions>

#### 4.7 RESULTADOS

Se elaboró una aplicación para equipos móviles con el software InVision®, en la cual se desarrollaron cinco secciones donde se muestran los resultados obtenidos del estudio, las cuales se explican a continuación:

- **Pantalla inicial:** la primera en aparecer, muestra el menú de acceso a las cinco secciones, así como los logos de las instituciones que participaron en el desarrollo del proyecto. (A)
- **Acervo bibliográfico:** En ésta se muestran las publicaciones: artículos científicos, tesis y reportes de servicio social o licenciatura, generadas por los integrantes de las instituciones que conforman el grupo de trabajo del proyecto. (B)



A)  
Figura 22. Pantalla inicial (A)



B)  
Figura 23. Sección de acervo bibliográfico (B)

- **Fichas fúngicas:** está conformada por dos sub secciones en las cuales se describen los géneros reportados en la campaña de muestreo:
  - en la primera se presenta una versión simplificada de la ficha fúngica de cada género con los datos más relevantes del microorganismo; dirigida al público general. (C)
  - la segunda contiene una descripción más detallada de las características de cada organismo, donde se incluyen impactos a la salud, reservorios, prevalencia ambiental, entre otra información; destinado a sectores específicos (laboratorios, médicos, etc). (D)

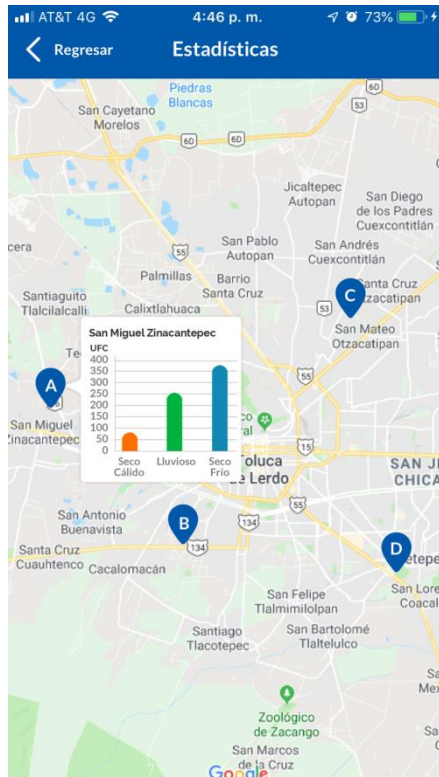


C) *Figura 24. Ficha Fúngica Simplificada (C)*

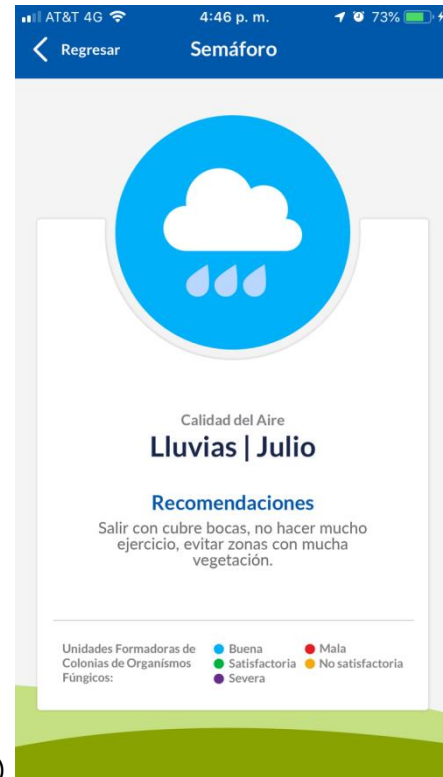


D) *Figura 25. Ficha Fúngica Detallada (D).*

- **Datos estadísticos:** aquí se presentan los resultados en forma de gráficas y mapas, en los cuales se pueden observar el comportamiento estacional de los microorganismos a lo largo del año de muestreo. De igual manera contiene una breve explicación de las gráficas. (E)
- **Semáforo de riesgo:** este apartado está íntimamente vinculado con la sección anterior, ya que con base en los datos reportados se identificaron los meses que presentaron una mayor carga fúngica y, de acuerdo con la literatura, se presentan algunas recomendaciones para prevenir algunas sintomatologías asociadas con la presencia de estos microorganismos en el aire. (F)



E) *Figura 26. Datos Estadísticos (E)*

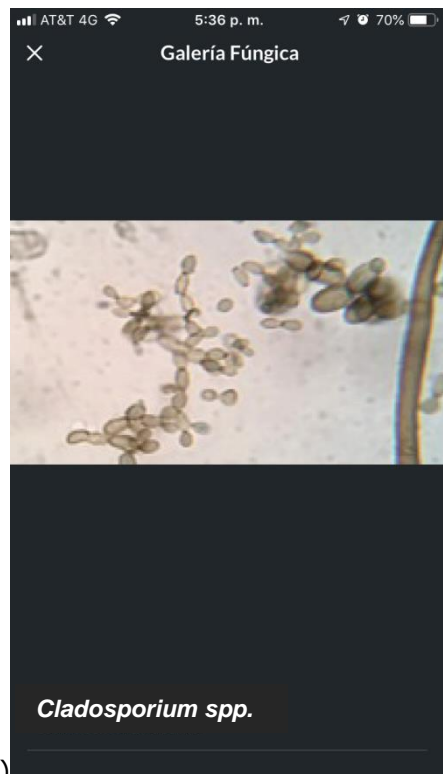


F) *Figura 27. Semáforo de riesgo (F).*

- **Galería fúngica:** en ella se presentan las fotografías generadas en el laboratorio de los géneros fúngicos identificados durante el procesamiento de las muestras colectadas (G) y la opción de elegir un determinado género.



G) *Figura 28. Galería Fúngica General (G)*



H) *Figura 29. Selección de un género (H).*

## 4.8 DISCUSIÓN

Los medios de comunicación en sus diferentes opciones como: impresos, reuniones especializadas, fotografía, cinematografía, radiodifusión, televisión, computadoras y multimedia constituyen un elemento fundamental para la transmisión de la información, ya que es a través de estas herramientas que la difusión y divulgación se puede dar de forma veloz y eficiente. Si bien, existe una gran cantidad de avances e innovaciones en ciencia y tecnología que nos permiten explorar y conocer el mundo que nos rodea a mayor profundidad; desafortunadamente, no siempre cuentan con una divulgación adecuada a diversos sectores de la población.

Tagüeña (2018) menciona que la divulgación de la ciencia es necesaria para que la información sea accesible y pueda ser utilizada en la toma de decisiones en diferentes campos: sociales, económicos, democráticos e inclusive personales así como comprender la naturaleza; sin embargo, en numerosas ocasiones la información resultante de los estudios en las diferentes ramas científicas, no es expuesta más allá del mismo gremio, ya sea por temor a su manejo inadecuado y a las repercusiones sociales que pudieran desencadenarse o por considerar que no todo el mundo puede entenderla, aunque no es así. Esto se relaciona a lo indicado por Acinas (2007) quien defiende que “la información no conduce al pánico”, toda vez que con un manejo consciente, hace posible recuperar la confianza en las autoridades y preparar al público para enfrentar algún riesgo en caso de una emergencia. Sin embargo, también es importante resaltar la importancia de realizar un manejo consciente y adecuado de la información apoyándose en otras disciplinas, invitándolas a trabajar de forma multidisciplinaria

Al respecto, Muñoz y Álvarez (2000), refieren que “A pesar de la modernización y especialización creciente en este campo, queda todavía por avanzar más en los aspectos psicosociales de la información: qué información dar en situaciones de grandes emergencias y/o cuando hay un gran número de personas implicadas en la misma”. Lo anterior abre la posibilidad de propiciar una mayor conciencia por parte de la población en torno a diversas problemáticas que pueden decantar en mesas de diálogo que se acerquen a la toma de una decisión “acertada” en cuanto a la obtención de consecuencias favorables, tanto a nivel de gestión como de percepción de atención por parte de las personas afectadas. Lozada-Chávez (2017) indica que es en este punto donde se percibe un reto para el divulgador, debido a que se ve en la necesidad de re-crear (volver a crear) el lenguaje original –especializado- de un mensaje científico por otro que sea accesible, comprensible y con el contexto necesario, de tal manera que el público objetivo pueda encontrar un sentido y su significado; es aquí donde debe predominar la claridad para prevenir el mal manejo de la

información.

Hoy en día el ser humano, a través de la tecnología ha eficientado el proceso de comunicación mediante el uso del internet y diversos dispositivos electrónicos, un ejemplo de esto son los teléfonos inteligentes (smartphones), los cuales se han convertido no solo en un aparato de comunicación, sino en un organizador en el cual las personas “vieren” sus vidas y actividades. De acuerdo con datos del INEGI (2017), las tres principales actividades de los usuarios de Internet en fueron: entretenimiento, comunicación y obtención de información; mientras que el uso de smartphones creció en 2017, pues el número de usuarios pasó de 60.6 millones, en 2016, a 64.7 millones, manteniendo una tendencia al crecimiento que probablemente continúe en los años subsecuentes. Gracias a la existencia de este “vínculo” humano-tecnología, se abre una oportunidad de sacar provecho para la divulgación de la ciencia. Una de las herramientas con mayor impacto en la actualidad, son las apps disponibles en los diferentes smartphones, las que han mejorado con el tiempo, desarrollando más funciones y aumentando la productividad, lo que se traduce en una mejora dentro de la vida laboral y personal del individuo. De acuerdo con la Universidad de Granada (UGR, 2019), existe una amplia gama de aplicaciones distintas que se enfocan a temas específicos o que permiten la obtención de información especializada, tal es el caso de:

- Mendeley / Zotero- Gestores bibliográficos
- Springer Link- Consulta de artículos científicos
- LHSee- Difusión de experimentos en tiempo real
- EarthNow- Consulta de datos de la NASA referentes al cambio climático
- Google Drive / Dropbox Gestión de documentos en la “nube”, entre otros.

El panorama abordado permite analizar el impacto que puede adquirir una app en la vida cotidiana del usuario y, al efecto, existen diversas características para asegurar el éxito de una aplicación, como se muestra en el sitio Marketing Movil (2019): a) Contar con un objetivo definido, b) Aportar un valor añadido al usuario, c) Presentar un diseño creativo y atractivo, d) Ser simple, fácil de utilizar y permitir la interacción con otros usuarios. Es debido al gran impacto que tienen este tipo de tecnologías, que se les reconoce como una herramienta con inmensa importancia, ya que se puede generar en la población una mayor conciencia en torno a algún tema de interés y fomentar su participación activa. De acuerdo con lo anterior, el objetivo de la divulgación científica debe encaminarse a fomentar la participación social, definida por la Freie Universität Berlin (FUB, 2019) como: “Aquellas iniciativas en las que las personas toman parte consciente en un espacio, posicionándose y sumándose a ciertos grupos para realizar determinadas causas que dependen en la práctica, del manejo de estructuras sociales de poder”.



## 4.9 CONCLUSIONES

Antiguos filósofos empleaban constantemente la frase "el conocimiento es poder", haciendo referencia a que, en cuanto mayor conocimiento tenga una persona sobre algún tema, más poder tendrá, al mismo tiempo de que dispondrá de un nuevo abanico de opciones y formas de enfrentar una situación. Posterior a la lectura del artículo "las claves ocultas de la sostenibilidad" de Toledo 2010, diferentes puntos tratados cobran otro sentido a la luz de la alienación del ser humano como parte de su medio. Hoy en día nos encontramos frente al desarrollo de una crisis de la civilización íntimamente relacionada con la falta de una percepción del ser humano como parte de su realidad, que se traduce en una pérdida del conocimiento ancestral, también conocido como Ecología Sagrada, el cual tiene como base una visión holística (ser humano y naturaleza como partes del todo), que contrasta con la elección de una postura racionalista, que nos aleja como sujetos del objeto que se está observando y analizando. Lo anterior evidencia la ruptura entre la unidad que existía entre individuo, sociedad y naturaleza, que a su vez impacta en la carente presencia de la "conciencia de especie", perdiendo el principio básico "somos habitantes de una misma casa y con un destino común" y que requiere de acciones preventivas, con base en el planteamiento de probables escenarios derivados de las decisiones que elijamos, tal como lo plantea la paradoja universal "somos libres de elegir, pero no somos libres de las consecuencias de nuestras elecciones".

Esta "brecha" entre la sociedad y la ciencia se ha hecho más grande, debido a que en ocasiones esta disciplina se convierte en una "tarima" en la cual no caben todos, retomando la postura de la alienación del investigador con el objeto de estudio. La ciencia es ocasionalmente percibida como una cuestión reservada para las personas con estudios y preparación, asociada con posturas egocéntricas que generan una partición entre los investigadores y diversos sectores sociales, los cuales pueden estar íntimamente involucrados con el objeto de estudio/problemática, además de contar con interés y conocimientos que complementen el estudio realizado con la posibilidad de generar propuestas de mejora. Lo antes mencionado desemboca en una pérdida de interés por parte de los estudiantes en torno a una carrera relacionada con la ciencia, ya sea por las trabas impuestas por cuestiones tan subjetivas, como "no tener la capacidad" o "no ser digno de trabajar con el investigador" y a su vez supone, a largo plazo, una reducción en la capacidad para innovar y realizar investigaciones científicas de muchos países. Hoy en día existe una amplia gama de métodos de enseñanza, captación de talento y promoción de la ciencia que pueden fungir como plataforma que ayude a recuperar el interés de las personas en este campo; por ejemplo, la vinculación entre la información

obtenida y su aplicación en la vida cotidiana, generando un aprendizaje significativo que despierte la indagación y cuestionamiento por parte de los estudiantes. Gracias a los avances tecnológicos y pedagógicos (apps, plataformas, sitios webs, material audiovisual, etc.) esta tarea puede resultar un poco menos complicada; sin embargo, el verdadero objetivo será la obtención de la participación de la sociedad como vía para recuperar y fortalecer el poder social.

Por otro lado, no hay que perder de vista algunos de los “riesgos” que existen al contar con esta facilidad de acceso a la información, ya que actualmente nos encontramos en una época de sobrecarga informativa (exceso de información por diferentes medios) que pueden conducir a datos dudosos o noticias falsas (Fake News), que en muchas ocasiones se dan por ciertas por el simple hecho de estar en internet o en una plataforma digital. Lo anterior impacta en la vida cotidiana, debido a que contamos con un ritmo de vida acelerado que nos demanda mayor velocidad y practicidad a costa de nuestra capacidad de analizar y discernir el material que leemos; sin embargo, es ahí donde existe la oportunidad de restablecer el vínculo con la ciencia mediante un acercamiento empático e inclusivo. Es mediante la unión con diferentes conocimientos, el involucramiento de la sociedad y un acercamiento humilde, que la ciencia puede retomar ese protagonismo en la vida diaria de más personas, permitiendo explorar y desarrollar nuevas soluciones a problemas antiguos.

En virtud de lo anterior, la propuesta de una aplicación móvil como herramienta de difusión accesible y práctica referente a la presencia de hongos aerotransportados en la atmósfera, brinda una mayor atención a un tema de vital importancia que no frecuentemente permea fuera del ámbito científico. Asimismo, surge la posibilidad de continuar el desarrollo de la app, incluyendo nuevas secciones y materiales enfocados a la divulgación científica, con la intención de fomentar el interés y la participación social, así como otras propuestas innovadoras en beneficio de la sociedad.

#### 4.10 LITERATURA CITADA

- Acinas-Acina M.P. 2007.** "Información a la población en situaciones de emergencia y riesgo colectivo" *Psychosocial Intervention*, vol.16 no.3, Madrid. Acinas M.P. 2007. "Información a la población en situaciones de emergencia y riesgo colectivo" *Psychosocial Intervention*, vol.16 no.3, Madrid.
- Berruecos V., M.L. 1995.** "La producción discursiva de la ciencia". En *Argumentos*, núm. 23, México, UAM-Xochimilco, pp. 93-108
- Berkes F. 1999.** "Sacred ecology. Traditional ecological knowledge and resource management. Taylor and Francis, Philadelphia & London.
- Boff, L. 2001.** "Ética Planetaria desde el Gran Sur", Trotta, Barcelona.
- Cabero, J. 1998.** "Impacto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en las organizaciones educativas". En Lorenzo, M. *Enfoques en la organización y dirección de instituciones educativas formales y no formales* (pp. 197-206). Grupo Editorial Universitario
- ConceptoDefinicion.de, Redacción. 2019.** "Definición de Tecnología". Disponible en: <https://conceptoDefinicion.de/tecnologia/>. Consultado el 20 de septiembre del 2019
- Economía TIC. 2019.** "La importancia de las apps móviles en las empresas" Blog sobre economía digital. Disponible en: <https://economyTIC.com/importancia-apps-moviles-empresas/> Fecha de consulta: 14 septiembre 2019
- Freie Universität Berlin (FUB), 2019.** "Participación Social". Instituto de Estudios Latinoamericanos, Berlín, Alemania. Disponible en: [https://www.lai.fu-berlin.de/es/e-learning/projekte/frauen\\_konzepte/projektseiten/konzeptebereich/rot\\_participacion/contexto/index.html](https://www.lai.fu-berlin.de/es/e-learning/projekte/frauen_konzepte/projektseiten/konzeptebereich/rot_participacion/contexto/index.html) Fecha consulta: 02 de octubre de 2019
- Green, B. J., J.K. Sercombe y E.R. Tovey, 2005.** "Fungal fragments and undocumented conidia function as new aeroallergen sources". *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 115(5), 1043-1048.
- González F. 2008.** "¿Hacia una nueva ilustración? Una década trascendente". Proyecto OpenMind de BBVA, pp. 7-25 Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2019/02/BBVA-OpenMind-libro-2019-Hacia-una-nueva-Ilustracion-una-decada-trascendente.pdf> Fecha de consulta 20 de octubre de 2019
- Hasni, A., Potvin, P. 2015.** "Student's Interest in Science and Technology and its Relationships with Teaching Methods, Family Context and Self-Efficacy", *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(3), 337-366
- Lacasaña-Navarro, M; C. Aguilar-Garduño; I. Romieu. 1999.** "Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina". *Salud Pública de México*, Vol. 41 (3), p. 203-215. Disponible en: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6150/7257> Fecha de acceso: 09 sep. 2019

- López Urbina, A., J. Castellanos-Moguel, R. V. Díaz Godoy, M. R. Reyes Montes 2017.** "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. Maestría en Ecología Aplicada. UAM Xochimilco, Ciudad de México, México.
- Lozada-Chavez, I. 2017.** "Divulgación científica". Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, México. Disponible en: <http://www.divulgacion.ccg.unam.mx/panel/8/divulgaci%C3%B3n-cient%C3%ADfica> Fecha de acceso: 09 sep. 2019
- Marketing Móvil, 2019.** "Cómo hacer una aplicación móvil que triunfe". Nota informativa. Disponible en la URL: <http://www.marketing-movil-sms.com/aplicaciones-moviles/como-hacer-una-aplicacion-movil-que-triunfe/> Fecha de consulta: 02 de octubre de 2019
- Multi Atlas, (2019).** "Estadísticas uso móvil 2018-como afectará esto a tu negocio y qué debes saber sobre las app para el futuro de tus ventas." Recuperado de: <https://www.comercios-electronicos.com/estadisticas-uso-movil-2018-como-afectara-a-tu-negocio-y-lo-que-debes-saber-sobre-las-app-para-el-futuro-tus-ventas/> Fecha de acceso: 09 sep. 2019
- Muñoz, F.A. y Álvarez A.J. 2000.** "Programa de intervención psico-social para la información a la población en emergencias masivas y catástrofes". *Emergencias*, (12), 42-46.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), 2019.** "Contaminación del aire". Nota descriptiva. Septiembre de 2019. [https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/air\\_pollution/es/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/) Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2019
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., y Hemmo, V. 2007,** "Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe. Report to the European Commission of the expert group on science education", Disponible en: [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf) Fecha de consulta 23 de agosto de 2019
- Romaní, J.C.C, 2009.** "El concepto de tecnologías de la información. Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la sociedad del conocimiento". *Rev. Estudios de Comunicación*. Vol. 14 Issue 27, p295-318. 24p.
- Sabán A. 2018.** "Los inventos que habrá en el siglo XXI, y que aún no hemos visto". Nota informativa. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/los-inventos-que-habra-en-el-siglo-xxi-y-que-aun-no-hemos-visto> Fecha de consulta: 20 de octubre de 2019
- Sánchez M., AM. y Sánchez MC. 2003.** "Glosario de términos relacionados con la divulgación: una propuesta". En *El Muégano Divulgador*, núm. 21, Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, México, 9p.
- Tagüeña J., 2018.** "Los problemas de la comunicación pública en ciencia tecnología e innovación, y sus posibles soluciones".

Foro Consultivo Científico y Tecnológico, UNAM, México.

**Tecno247, 2018.** "Tipos de tecnología". Nota informativa. Disponible en:  
<https://247tecno.com/tipos-de-tecnologia/> Fecha de consulta: 20 de octubre de 2019

**Toledo V., 2010.** "Las claves ocultas de la sostenibilidad". Informe anual del Worldwatch Institute, ISSN 1576-1266, págs. 355-378

**Tiwari S. 2008.** "El espíritu en la máquina. La nanotecnología, la complejidad y nosotros". Proyecto OpenMind de BBVA, pp. 106-126 Disponible en:  
<https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2019/02/BBVA-OpenMind-libro-2019-Hacia-una-nueva-Ilustracion-una-decada-trascendente.pdf> Fecha de consulta 20 de octubre de 2019

**Universidad de Granada (UGR), 2019.** " Las 10 mejores apps para científicos". Nota informativa, Medialab UGR. Disponible en:  
<https://medialab.ugr.es/noticias/10-mejores-apps-para-cientificos/>  
Fecha de consulta: 02 de octubre de 2019

## 4.11 Anexos

Comprobante de la Transferencia de Conocimiento.



Ciudad de México a 27 de Febrero del 2019

**Antonio Lozada Canuda**

**Maestro**

Presente.

Sirva este conducto para agradecer su participación en el programa Terramar, Conversaciones sobre ecología, biodiversidad y ambiente, abordando el tema "CONTAMINANTES BIOLÓGICOS EN LA ATMÓSFERA BAJA DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA" el cual se llevó a cabo el 27 de Febrero del 2019, en XEDTL, Ciudadana 660 AM del Instituto Mexicano de la Radio.

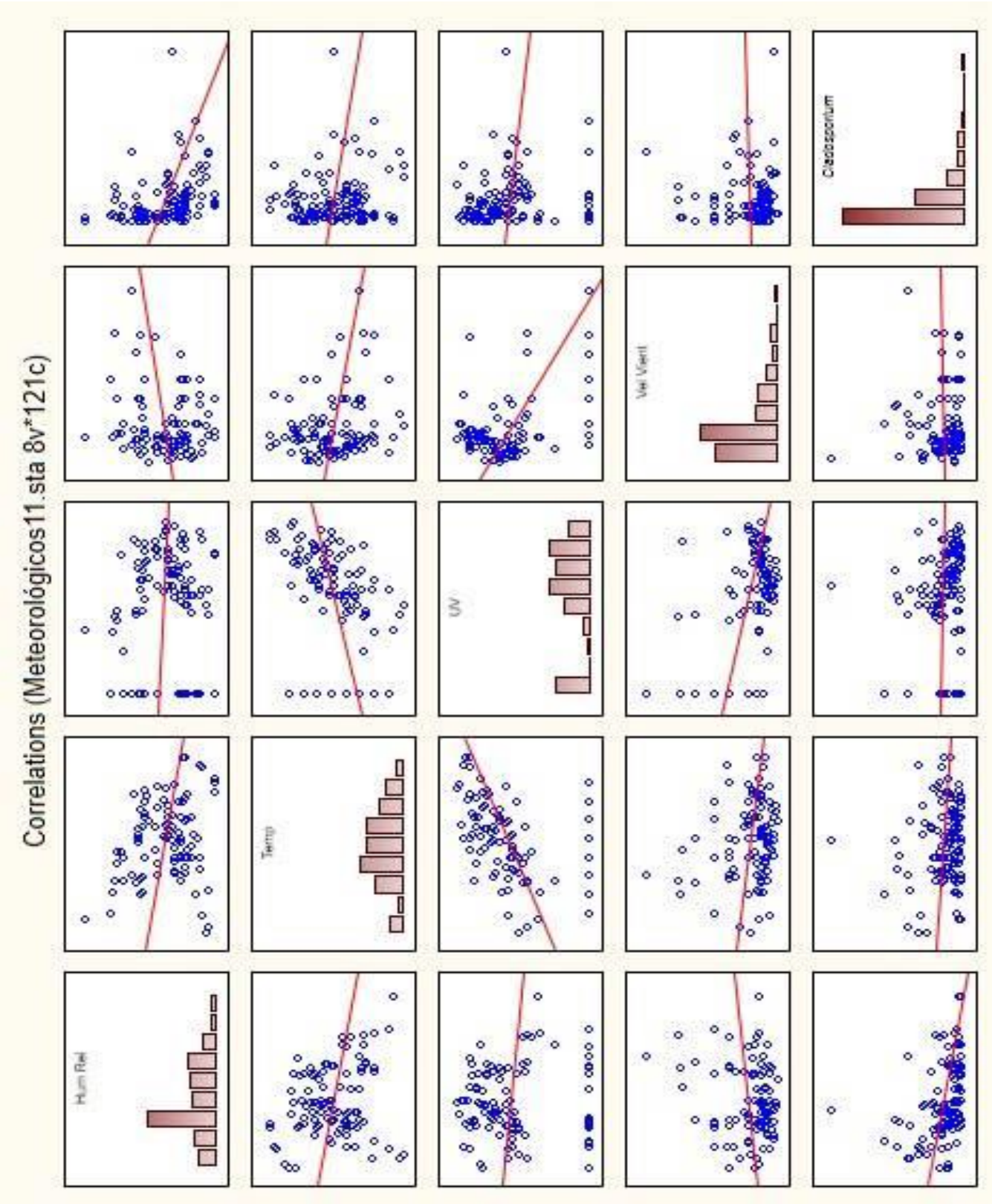
Valoramos el poder contar con ciudadanos/ciudadanas comprometidas como usted, que ha contribuido honoríficamente a llevar a nuestros y nuestras radioescuchas información valiosa.

Cordialmente

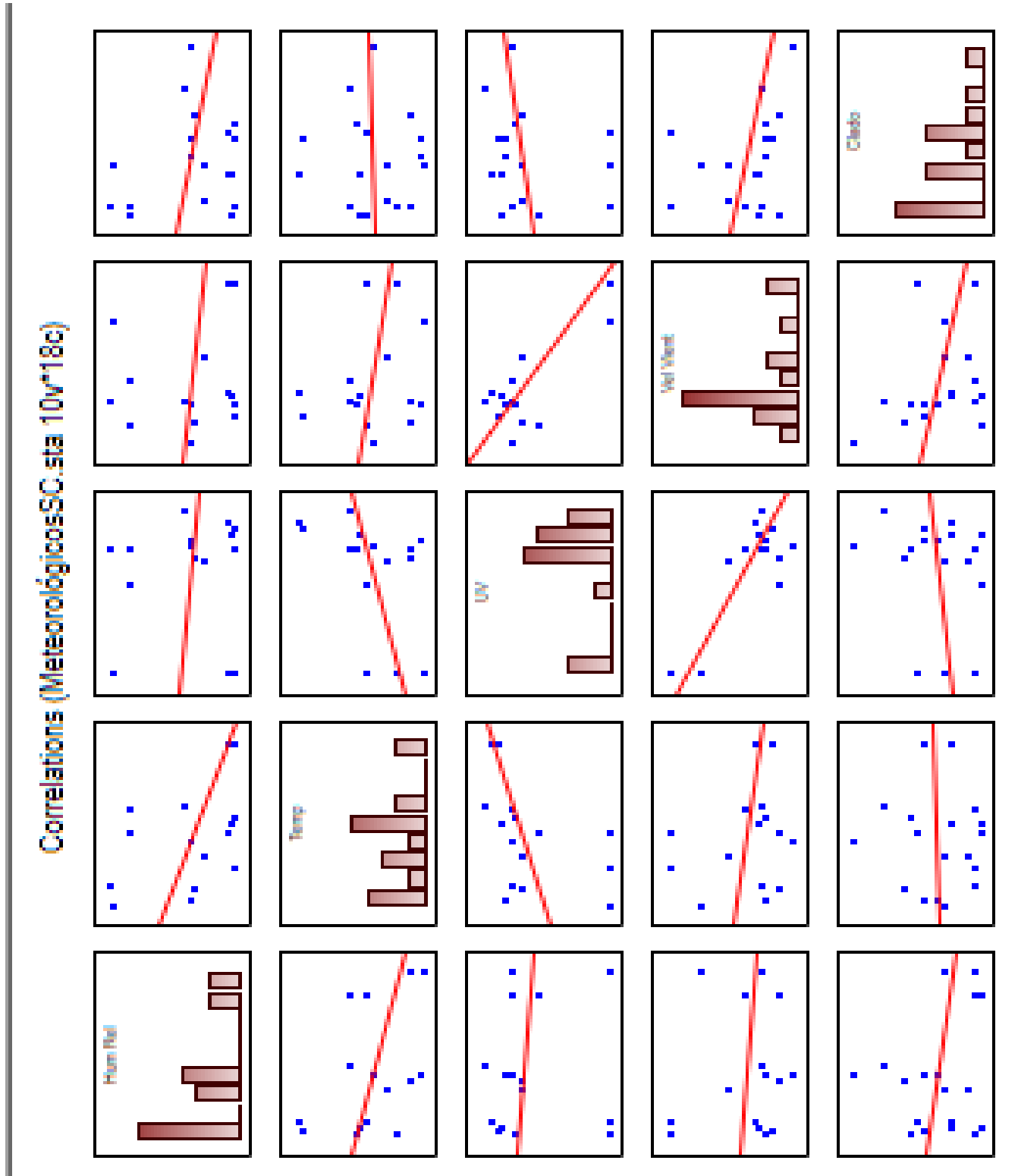
Lic. Claudia Ortigoza Pérez  
Gerente



Gráficas obtenidas por la correlación de Spearman del capítulo II, Relación de parámetros ambientales con el género *Cladosporium*.



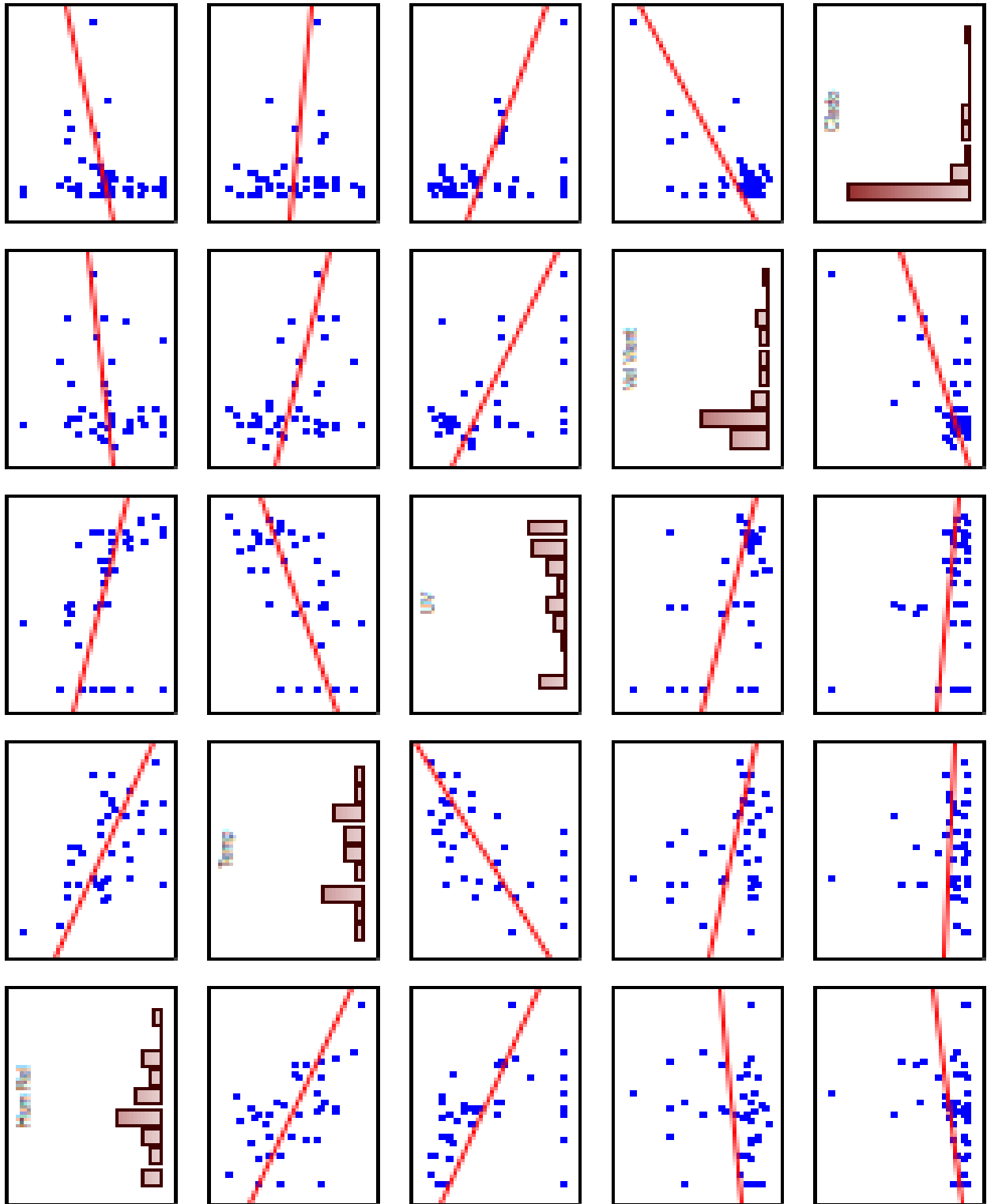
Gráficas obtenidas por la correlación de Spearman del capítulo II, Relación de parámetros ambientales para la temporada Seca Calida con el género *Cladosporium*.





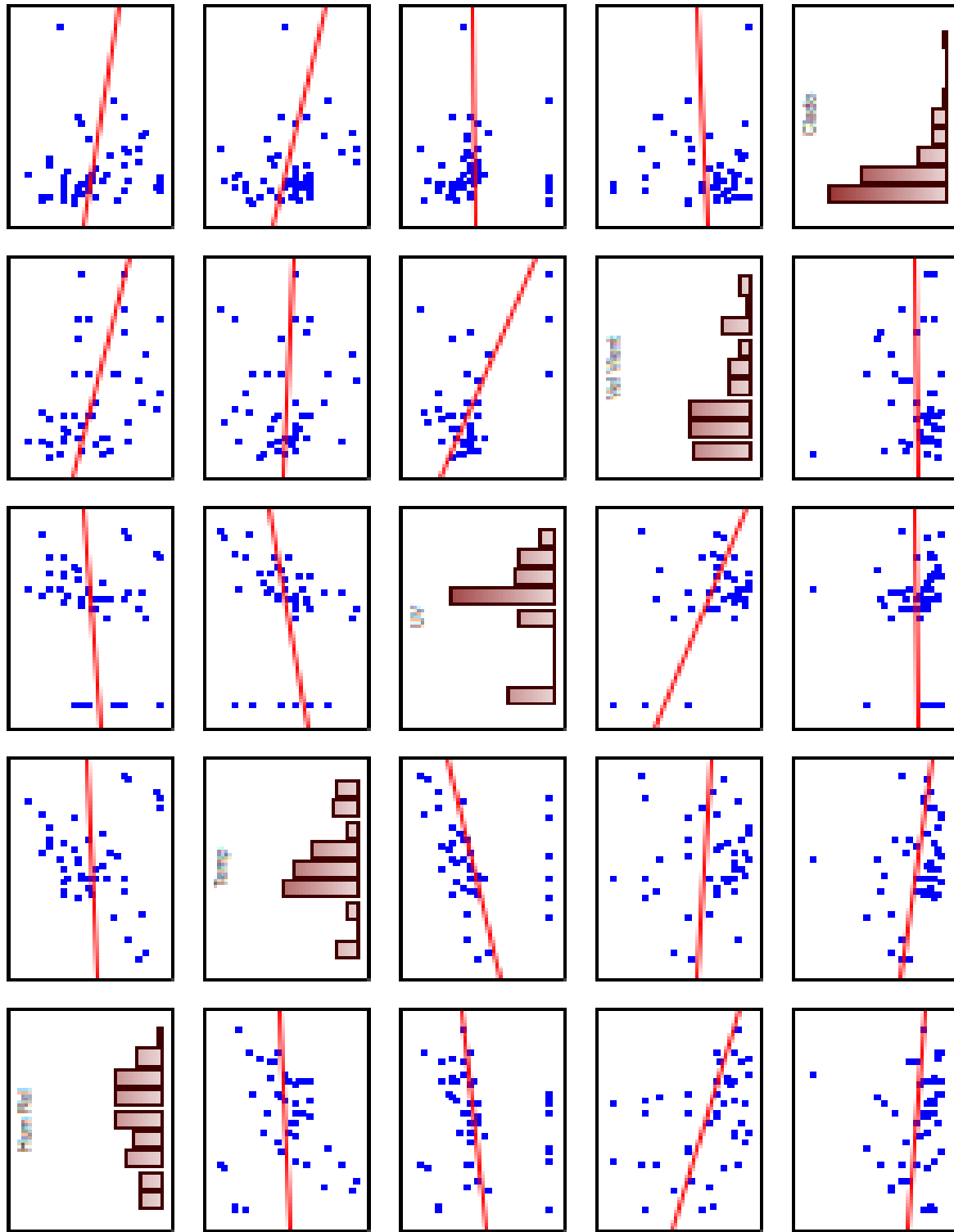
Gráficas obtenidas por la correlación de Spearman del capítulo II, Relación de parámetros ambientales para la temporada de Lluvias con el género *Cladosporium*.

Correlations (MeteorológicosLluv.sta 10v\*48c)

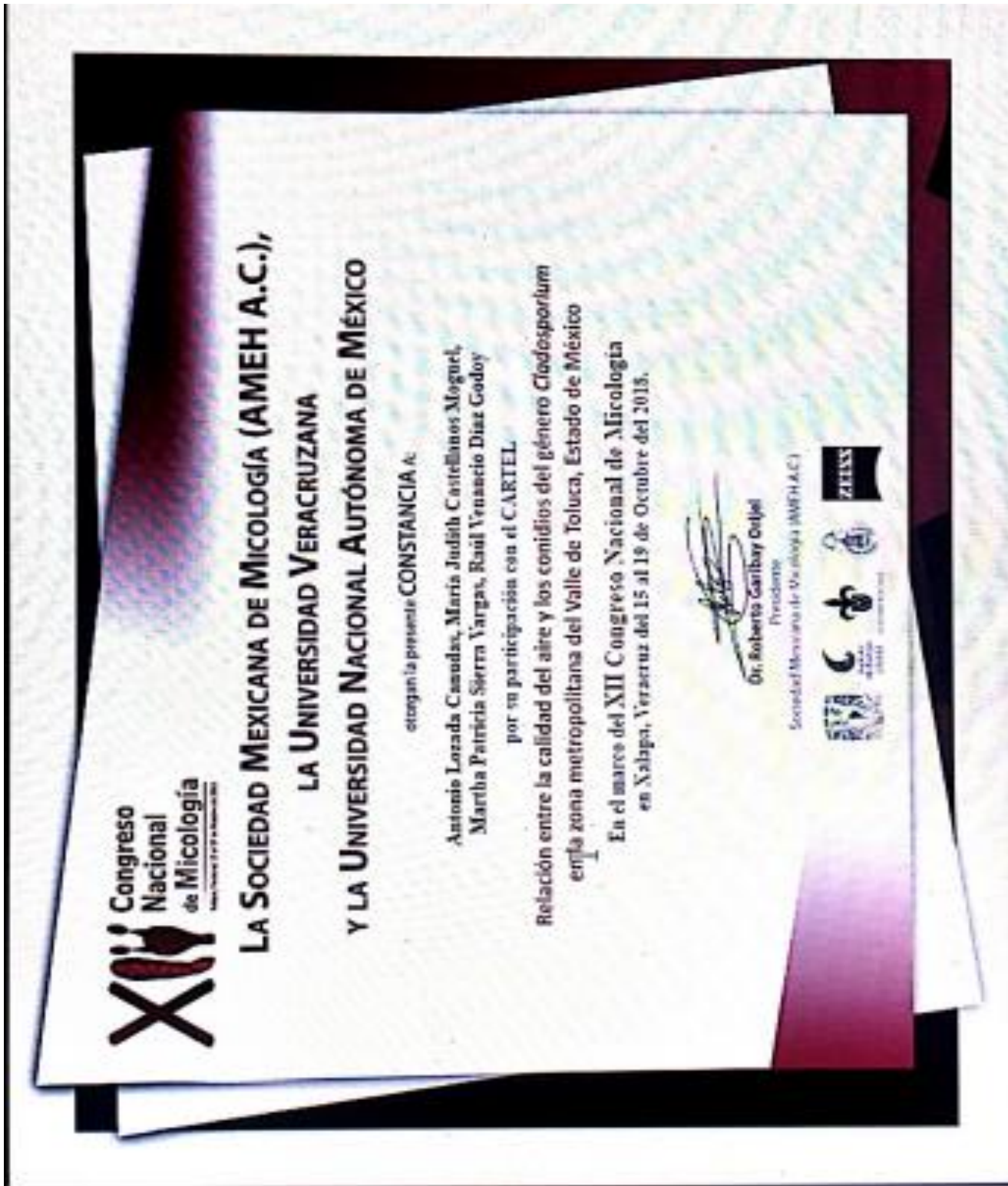


Gráficas obtenidas por la correlación de Spearman del capítulo II, Relación de parámetros ambientales para la temporada Seca Fría con el género *Cladosporium*.

Correlations (MeteorológicosSF.sta 10v\*54c)



Constancias de congresos, simposios y reuniones, en las que se presentó el presente proyecto.





División de Ciencias Biológicas y de la Salud


Otorgan la presente  
**CONSTANCIA**  
A

Antonio Lozada Canudas, María Judith Castellanos Moguel, Raúl Venancio Díaz Godoy y Martha Patricia Sierra Vargas

Por su participación en la  
Tercera Reunión Científica Interinstitucional sobre Diversidad Biológica  
con el cartel

**Relación entre la calidad del aire y los conidios del género Cladosporium en la zona metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México**

Ciudad de México, 18 de mayo de 2010

  
Mtro. Rafael Díaz García  
Director de la División de  
Ciencias Biológicas y de la Salud





Casa abierta al tiempo

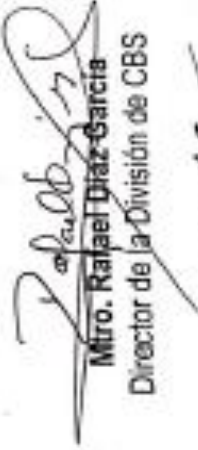
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
**UNIDAD XOCHIMILCO**  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Departamento El Hombre y su Ambiente

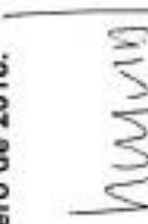
## OTORGAN LA PRESENTE CONSTANCIA

*A: Lozada-Canudas Antonio, Castellanos- Moguel Maria Judith, Díaz-Godoy Raúl Venancio y Sierra-Vargas Martha Patricia*

Por su participación en la presentación del cartel científico "PRESENCIA DE LOS CONIDIOS DEL GENERO *Cladosporium* EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO" en el Encuentro Académico Día del Biólogo 2018.

Celebrado en la Ciudad de México, 25 de Enero de 2018.

  
Miro. Rafael Díaz-García  
Director de la División de CBS

  
M. en SIG. Gilberto Sven Binnquíst Cervantes  
Jefe del Departamento El Hombre y su Ambiente

  
Dra. Judith Castellanos Moguel  
Coordinadora de la Licenciatura en Biología

  
M. en C. Araceli Cortes García  
Coordinadora del Evento



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
**UNIDAD XOCHIMILCO**  
 División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
 Departamento de Sistemas Biológicos



Otorga la presente

# CONSTANCIA

a

*Lozada-Canudas A, Castellanos-Moguel M. J, Diaz-Godoy R.V. Sierra-Vargas M.P.*

Por la presentación del trabajo titulado:

*Relación entre la calidad de aire y los conidias del género Cladosporium en la zona metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México.*

## “XXI Simposium de Micología”

Realizado los días 9 y 10 de noviembre de 2017 en la Unidad Xochimilco

  
 Mtro. Rafael-Díaz-García  
 Director de la División de CBS

  
 Dra. Julia Pérez Ramos  
 Jefa del departamento de  
 Sistemas Biológicos

  
 M. en C. Alejandro Palma Ramos  
 Presidente del Comité Organizador





Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

1er. Seminario de Presentación de Proyectos de Tesis y Servicio Social  
de los estudiantes de los laboratorios de Edafología y Micología



*Otorgan la presente*

# CONSTANCIA

A: Antonio Lozada Canudas

Por la presentación de su proyecto de Tesis de Maestría,  
titulado "Análisis de la calidad del aire e identificación de la  
presencia de hongos microscópicos en seis sitios de muestreo  
en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México"

Ciudad de México, a 8 de marzo de 2017

  
DRA. JUDITH CASTELLANOS MOGUEL  
Laboratorio de Micología



  
DR. GILBERTO VELA CORREA  
Laboratorio de Edafología