

~~00361~~
00361



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

722j

FACULTAD DE CIENCIAS

*“Caracterización aeromicológica de una zona
suburbana en la Ciudad de México”*

T E S I S

*Que para obtener el grado de
MAESTRA EN CIENCIAS (BIOLOGIA)*

p r e s e n t a

MARIA DEL CARMEN LETICIA CALDERON EZQUERRO

México, D. F.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Objetivos	4
Antecedentes	4
ASPECTOS GENERALES SOBRE AEROMICOLOGÍA	8
Atmósfera y hongos	8
Características de las esporas	12
Dispersión de los conidios en el aire	14
Ecología de los hongos presentes en el aire	17
Periodicidad diurna	22
Efectos del tiempo y la estación	24
Importancia de la aeromicología	25
ÁREA DE ESTUDIO	33
MATERIALES Y MÉTODOS	38
Muestreo del aire	38
Análisis de resultados	42
RESULTADOS	46
DISCUSIÓN	73
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
LITERATURA CITADA	82

RESUMEN

Se realizó una caracterización aeromicológica en Ciudad Universitaria, que es una zona suburbana de la Ciudad de México, para conocer el tipo y la cantidad de hongos dispersos en el aire del dosel urbano, así como su posible variación diurna y estacional.

Los muestreos se realizaron con un muestreador para partículas viables Andersen, cuyas cajas de Petri contenían extracto de malta agar como medio de cultivo. Los 60 muestreos realizados tuvieron una duración de 15 min cada uno y se llevaron a cabo a las 10 y 13 horas, una o dos veces por semana durante un año (abril de 1986-marzo de 1987). Durante el tiempo de cada muestreo se registraron parámetros meteorológicos como temperatura del aire, humedad relativa, presión de vapor, dirección y velocidad del viento, radiación solar global y nubosidad.

Se colectó un total de 11 géneros mesófilos, cinco de ellos identificados hasta especie: Alternaria spp., Aspergillus flavus, A. fumigatus, A. mellesus, A. niger, Aspergillus spp., Aureobasidium sp., Cladosporium spp., Epicoccium purpurascens, Monilia sicophila, Mucor sp., Pezizomyces variotii, Penicillium spp., Rhizopus sp. y Stachybotrys chartarum.

La mayor parte de los hongos se colectó en la fracción no respirable y en la primera etapa de la fracción respirable del muestreador Andersen. No hubo diferencias significativas respecto al tipo y número de unidades formadoras de colonias (UFC m^{-3}) colectadas a las 10 y 13 horas. Debido a esto y a que sólo se realizaron cuantificaciones totales de UFC m^{-3} de los hongos (y no de cada especie en particular) no se puede tener sino una idea del número de hongos durante las mañanas en la zona muestreada, sin poder establecer si hubo o no variación diurna. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de hongos en el aire correspondientes a las épocas de secas y de lluvias, es decir no se registró variación estacional. La turbulencia térmica fue probablemente el principal factor para la introducción de esporas en el aire, por lo que se atribuye un origen local a las esporas colectadas, tomando en cuenta que estas también pudieron ser acarreadas de otros lugares y depositadas en la zona de muestreo.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera contiene una gran diversidad de gases y partículas, y entre estas últimas se encuentran las de tipo microbiano como bacterias, virus y hongos, entre otras, presentándose como células vegetativas o propágulos reproductivos (Andersen y Cox 1967; Gregory 1973; Edmonds, 1979). Tales partículas pueden clasificarse como aerosoles, capaces de quedar suspendidos en el aire por períodos significativos de tiempo.

En el aire urbano y suburbano, las partículas viables varían de tamaño entre 1-100 μm aproximadamente, y su velocidad de caída va de 0.003 a 30 cm seg^{-1} , dependiendo de su diámetro, forma y densidad (Edmonds, 1979).

Entre los hongos más comúnmente colectados en áreas urbanas y suburbanas están los géneros Cladosporium, Alternaria, Aspergillus, Penicillium, Epilicoccus, Monilia, Curvularia y Fusarium (Kramer y Pady, 1960; Davies *et al.*, 1963; Kramer *et al.*, 1963; Mallea *et al.*, 1972; Lacey, 1981).

Las esporas de hongos dispersos en el aire no siempre son viables, pues se ha encontrado que su viabilidad varía durante el día, quizá dependiendo del intervalo de tiempo que transcurre entre la formación, la liberación y el muestreo de las esporas; así mismo influye el grado de desecación, que es mayor durante el día y en las capas de aire cercanas al suelo.

Algunos autores, como Pathak y Pady (1965), encontraron que la viabilidad de las esporas de Alternaria era en promedio de 80% durante el día, mientras que las de Cercospora tenían un 70-90%, y las de Cladosporium sólo un 20-30% de viabilidad. Kramer y Pady (1968) presentaron poca evidencia de cualquier variación circadiana en cuanto a la viabilidad de las esporas, y los promedios de ésta fueron similares a los encontrados anteriormente (Cercospora 53%, Cladosporium 45%, Alternaria 80%, y fragmentos hifales 20%), mientras que Davies (1957) reportó que un 84-96% de unidades de dispersión de Cladosporium germinaron en un intervalo de 44 horas. Algunos otros autores, como Ali *et al.*

(1976), sugirieron que la sobrevivencia de las esporas de hongos puede estar relacionada con su sensibilidad hacia la luz. Esporas comúnmente pigmentadas, como las de Alternaria, Stemphylium, Rhizopus y Epicoecum, predominan cuando la radiación solar es mayor, mientras que las de Cladosporium, Aspergillus niger y Penicillium, entre otros, con menos pigmento, son más numerosas cuando la radiación es menor. Esto podría ser un efecto particular de la temperatura, la cual influye de manera importante en la presencia de tipos diferentes de esporas en el aire; por ejemplo, la mayoría de las esporas de Penicillium se encuentran a temperaturas entre 10-12° C, las de Cladosporium entre 21-23° C, las de Alternaria entre 24-26° C y las de Epicoecum entre 27-29° C (Gregory, 1973; Lacey, 1981). Algunos fragmentos hifales también pueden retener su viabilidad y germinar cuando las condiciones son favorables, aproximadamente, con un promedio de 16-20% (Pady y Gregory, 1963; Kramer y Pady, 1968).

Aunque los propágulos fúngicos sean o no viables, no son considerados como contaminantes del aire, como lo son los agentes químicos o radiactivos (Wright et al., 1969), pero sí contribuyen a modificar la calidad del aire, y aún más en zonas urbanas y suburbanas en donde la concentración de todo tipo de contaminantes es mayor (industrias, refinerías, vehículos, etc.) que en zonas rurales o regiones con menor actividad humana. Diversos hongos son responsables de causar enfermedades infecciosas o alergias en animales y en el hombre durante ciertas épocas del año.

En muchas ocasiones no es de suma importancia que las esporas permanezcan viables o no para causar una alergia, debido a que su potencialidad alergénica puede permanecer activa aunque sobrevenga la muerte del hongo, perdiendo dicha potencialidad sólo hasta que ocurre la desnaturalización química de la partícula. Por ello las esporas de hongos, ya sean vivas o muertas, que se encuentran dispersas en el aire y que pueden ser inhaladas en concentraciones muy variadas por el hombre y los animales, pueden

ser responsables de enfermedades respiratorias leves o severas. De hecho, nuevos alérgenos son encontrados constantemente, así que todas las esporas de hongos deben ser consideradas como potencialmente alérgicas (Lacey, 1981), además de considerar la existencia y frecuencia de los hongos ya conocidos como causantes de enfermedades sistémicas o diseminadas (aspergilosis, mucormicosis, criptococosis, histoplasmosis y blastomicosis, entre otras) que llegan a ser fatales (Emmons et al., 1970; Herrera y Ulloa, 1988).

Por lo anterior, se puede ver claramente la importancia de conocer el tipo y la cantidad de hongos dispersos en el aire, mediante la realización de investigaciones aerobiológicas que contribuyan al conocimiento de los hongos, en particular de su distribución, dispersión y comportamiento en la atmósfera.

Objetivos

Dada la importancia que tiene la aeromicrología, y los pocos estudios realizados sobre este tema en México, con este trabajo se pretende cumplir con los siguientes objetivos:

- 1) Aislar, cuantificar (unidades formadoras de colonias por m³ de aire) e identificar (hasta especie si es posible) los hongos mesofílicos presentes, durante el máximo calentamiento del día, en la atmósfera de una zona suburbana.
- 2) Correlacionar cada registro micológico con varios de los factores ambientales prevaecientes durante los muestreos.
- 3) Conocer la frecuencia de aparición de cada uno de los hongos aislados, su estacionalidad y su variación diurna en el ambiente.

Antecedentes

La mayoría de los trabajos aeromicológicos han sido realizados en el extranjero, por investigadores como Hirst (1953), Pady (1957), Kramer et al. (1959), Sreeramulu (1959), Kramer y Pady (1960), Pady y Kramer (1960), Pady et al. (1962), Rich y Waggoner (1962), Meredith (1963), Davies et al. (1963),

Kramer et al. (1963), Adams (1964), Kramer et al. (1964), Pathak y Pady (1965), Goodman et al. (1966), De Groot (1968), Davies (1969), Wright et al. (1969), Auger-Barreau (1971), Mallea et al. (1972), Gregory (1973), Edmonds (1979), Lacey (1981), Wiley et al. (1982), Clark et al. (1983), Jones y Cookson (1983), Burge (1986), Chapman (1986), Hurtado y Riegler -Goihman (1986), Agashe y Chattergee (1987), Everamey y Kramer (1987) y McCracken (1987), entre los principales. Estos autores han encontrado que el tipo, la cantidad y la frecuencia de esporas de hongos presentes en la atmósfera están sujetos a factores relacionados con su propia biología, además de factores externos como la localización geográfica (zonas urbanas y rurales), la topografía (cadenas montañosas, valles, océanos, desiertos), la estación del año, la periodicidad con que se presentan los propágulos fúngicos en la atmósfera (hora del día o de la noche), además de las condiciones meteorológicas y de otros factores que son el producto de las actividades humanas, como la contaminación del aire con gases y partículas y las reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera debido a la misma contaminación.

Gran parte de los estudios mencionados anteriormente se han realizado con hongos aislados de la tropósfera, aunque también se han obtenido aislamientos de hongos de la estratósfera (el 50% de 0.03 - 0.14 microorganismos m de aire correspondieron a hongos) (Bruck, 1967). Ciertos hongos, como Aspergillus niger y Penicillium chrysogenum, fueron hallados en la mesósfera, soportando períodos extremos de congelamiento y descongelamiento (Imshenetskii et al., 1983), así como bajas temperaturas y desecación (Imshenetskii et al., 1984a).

Otra temática muy importante y muy estudiada dentro de la aerobiología se refiere a los aeroalergenos como causantes de alergias y asma. Hay una gran cantidad de trabajos sobre alérgenos de hongos como Alternaria, Cladosporium, Aspergillus, Curvularia, Penicillium y Fusarium, entre otros (Gwyn, 1965; Budd, 1986; Burge et al., 1986).

En contraste, en México se han realizado relativamente pocos estudios de aeromicrología. Uno de los primeros fue hecho por González Ochoa y Orozco (1943), quienes realizaron una exploración estacional y horaria de los hongos y su relación con algunos factores ambientales en la Ciudad de México. Estos autores encontraron 19 géneros de hongos, así como ligeras fluctuaciones estacionales en cuanto a la cantidad total de hongos, que aumentó de abril a julio. No hallaron repartición horaria ni para la cantidad total de colonias ni para los diferentes hongos, y sólo pareció haber buena correlación entre la velocidad del viento y la cantidad de las colonias aisladas.

En 1981, López Martínez realizó un estudio sobre la variación estacional de hongos productores de alergia en el sur de la Ciudad de México. Se aislaron un total de 14 409 colonias, de las cuales se identificaron 26 géneros. El 27% del total de los hongos aislados fueron señalados como productores de alergias, encontrando la mayor frecuencia en verano y la menor en invierno. En este trabajo se concluyó que el sur de la ciudad se encuentra densamente poblada por hongos anemófilos, y que la mayor densidad de población fúngica está en relación directa con una mayor cantidad de vegetación (López Martínez *et al.*, 1986).

En 1982, Rosas *et al.* llevaron a cabo una investigación sobre los hongos presentes en la Ciudad de México a través del análisis del agua de lluvia colectada. Se registraron entre 600 y 6 000 colonias por ml de agua de lluvia, apareciendo con mayor frecuencia hongos cosmopolitas como Cladosporium, Alternaria, Penicillium, Aspergillus y levaduras, cada uno con varias especies. Al relacionar la abundancia de estos organismos con los factores ambientales se observó que la velocidad del viento estuvo relacionada con la abundancia de los hongos en el agua de lluvia, con un coeficiente de correlación (r) de 0.8, y que la identificación de algunos géneros hasta especie señaló la presencia de hongos conocidos como patógenos o alérgenos.

En 1983, López Martínez et al. realizaron aislamientos de hongos productores de alergias en mercados de la Ciudad de México, encontrando gran cantidad de hongos patógenos de frutas y verduras, así como patógenos o alérgenos del hombre y los animales, por ejemplo Candida, Aspergillus, Penicillium y Rhizopus, con varias especies cada uno.

ASPECTOS GENERALES SOBRE AEROMICROLOGÍA

Dentro de la ecología microbiana, la atmósfera, a pesar de no estar reconocida como un hábitat, es un medio importante a través del cual pueden ser transportadas partículas viables y no viables muy variadas; entre las primeras están las esporas, que son estructuras de resistencia y de dispersión, principalmente de origen microbiano.

Para poder conocer el destino y comportamiento de las partículas en la atmósfera surgió una disciplina, la aerobiología. Dicho término fue introducido por primera vez por Meier, del Depto. de Agricultura de E. U. A.; posteriormente, la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia publicó los trabajos del primer simposio de aerobiología extramuros e intramuros (Moulton, 1942). La aerobiología se encarga del estudio de las partículas microbianas que son aerosolizadas intra o extramuros, y de todos los procesos físicos y químicos relacionados con la liberación, el transporte, el depósito y la viabilidad de estas partículas, cuyo comportamiento en la atmósfera depende no sólo de la biología misma del organismo, sino también de las condiciones meteorológicas como humedad, temperatura, radiación solar, presión de vapor, precipitación, vientos y nubosidad, entre otras. Estas condiciones tienen un efecto importante en el crecimiento, la distribución geográfica y la ecología de los organismos, así como en su incidencia estacional (Jacobs, 1939; Gregory, 1973).

Las investigaciones realizadas sobre aeromicrología son muy importantes para conocer la ecología de los hongos que causan diversas enfermedades en las plantas, los animales y el hombre, en particular las que resultan de la infección provocada por los propágulos fúngicos diseminados en la atmósfera.

Atmósfera y hongos

La capa atmosférica que ha sido más investigada con respecto a los hongos aéreos es la conocida como tropósfera, en la cual ocurren los fenómenos

relativos a la convección, la formación de nubes y la precipitación, fenómenos que en parte propician la suspensión de las partículas microbianas, entre ellas las esporas de los hongos. Los componentes gaseosos forman el medio de soporte de dichas partículas, el movimiento del aire ayuda a su dispersión, la sedimentación, precipitación e impactación intervienen en su depósito, y la radiación, temperatura y humedad influyen tanto en su sobrevivencia como en su dispersión.

Los movimientos del aire varían según se produzcan remolinos turbulentos a pocos metros del suelo o a miles de Km de largo y cientos de ancho, con corrientes en la troposfera media y superior que transportan rápidamente el aire a la estratosfera alrededor del mundo, y llevando en ocasiones consigo sólo las esporas que soportan las distintas condiciones que se van presentando.

Dentro de la troposfera se conocen varias zonas importantes para la dispersión de partículas (Fig. 1, Gregory, 1973): 1) La capa límite laminar es una capa delgada de aire de espesor variable que rodea la superficie terrestre; los propágulos microbianos deben de cruzar esta capa para poder introducirse al resto de la atmósfera. El grosor de la capa varía con la velocidad del viento y la rugosidad de la superficie; puede ser menor de 1 mm a 10 cm en un día nublado con viento, a mayor de 10 m en una noche clara y en calma. 2) La capa local de remolinos se produce si existen superficies muy rugosas, que favorecen la introducción de partículas, tanto viables como no viables, a mayores alturas en la atmósfera. 3) En la capa límite turbulenta la velocidad del viento aumenta linealmente con la altura y, debido a la mezcla causada por la turbulencia, la temperatura, la velocidad del viento y la presión de vapor varían en forma exponencial con la altura. El grosor de esta capa aumenta al incrementarse el viento, y es más grande (hasta 150 m) en días soleados (porque hay movimientos de convección producidos por la radiación); esto indica que con viento más o menos fuerte, y con el calentamiento del suelo, muchas esporas de hongos llegan

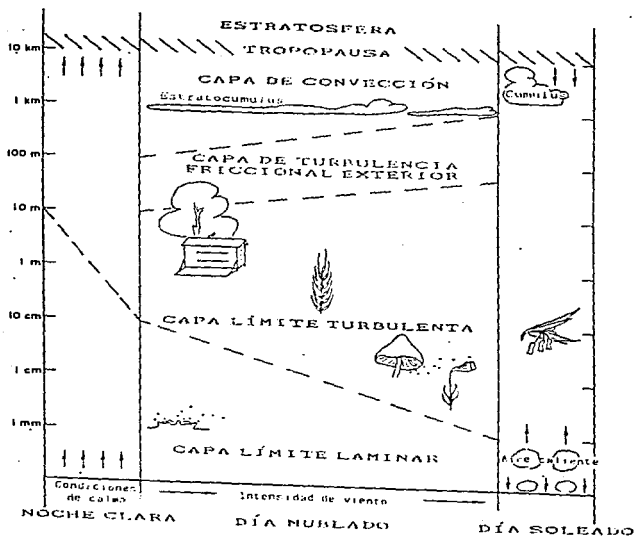


Fig. 1. Capas de la atmósfera (Gregory, 1973).

a esta zona, ya sea por movimientos advectivos y/o movimientos convectivos, y de ahí sean transportadas a otras capas y a zonas distantes. El grosor de esta capa es mucho menor en noches claras y en calma, lo que ocasiona que no halla o sean mínimos los movimientos de aire, aunque aun en esas condiciones hay esporas de hongos en la noche, debido a que muchos hongos, sobre todo los aislados en la noche, poseen mecanismos activos de liberación de sus esporas, que logran introducir las en grandes concentraciones a la atmósfera; en esto también intervienen las condiciones de temperatura, humedad y punto de rocío.

4) La zona de transición (500-1000 m de altura) es el tope hasta donde los microorganismos pueden ser acarreados por la turbulencia mecánica, ya que ésta decrece con la altura, además de que los cambios diurnos desaparecen.

5) La capa de convección es aquella en donde los microorganismos solamente son dispersados por movimientos de convección, lo cual ocurre cuando el aire es calentado cerca del suelo. Las burbujas de aire caliente pueden subir desde una área de 1 Km² cada 6-12 min, acarreado en verano muchos microorganismos; dichas burbujas se expanden, con los hongos, de 3-15 Km, dependiendo del gradiente de temperatura y el contenido de agua del aire.

El movimiento ascendente es mayor cuando hay convección (Heise y Heise, 1949; Fulton, 1966). Las concentraciones microbianas encontradas por Fulton (1966) promediaron 200 m⁻³ (50% hongos) a 650 m de altitud, 60 m⁻³ a 1 600 m, y 30 m⁻³ a 3 127 m (10% hongos), de las 12 a las 18 horas, cuando la convección fue mayor, pero solamente una concentración de 45, 25 y 23 m⁻³, respectivamente, se registra de las 6 a las 12 horas. El tipo de esporas atrapadas fue similar a aquellas encontradas a nivel del suelo.

En la estratosfera se han encontrado pocas esporas. Hay un pequeño intercambio a través de la tropopausa, y mucho del polvo encontrado en esta zona es probablemente extraterrestre y de origen meteórico. Sin embargo, 0.03-0.14 partículas microbianas m⁻³ han sido atrapadas a 20 Km de altitud, de

las cuales aproximadamente la mitad fueron esporas de hongos (Meier, 1936; Bruck, 1967). Algunos investigadores rusos, como Imshenetski et al. (1983), han colectado esporas de hongos incluso en la mesosfera, específicamente Aspergillus niger y Penicillium chrysogenum. Estos investigadores realizaron estudios de los cambios celulares ocurridos durante el congelamiento y descongelamiento de los conidios de estos hongos, y de otros de las mismas especies tomados de colección, y encontraron que los hongos aislados de la mesósfera tuvieron mayor resistencia.

Es claro que la cantidad de hongos en la atmósfera depende de las condiciones ambientales como temperatura, humedad, radiación, viento, nubosidad, etc., así como la hora del día, la estación del año y, por supuesto, de las características biológicas de cada individuo y su modo de interrelacionarse con su entorno.

Características de las esporas

Las esporas de bacterias, hongos, musgos y helechos, así como los quistes de protozoarios, tienen baja actividad metabólica y frecuentemente están mejor adaptados para la dispersión aérea. Las esporas son de dos tipos desde el punto de vista funcional: las mecnosporas, que son esporas de descanso, y que sirven para incrementar la vida media del organismo, y las xenosporas o esporas de dispersión, adaptadas para la diseminación sobre la biósfera (Gregory, 1973).

Entre las características de las esporas de dispersión (xenosporas) se tienen las siguientes: pueden ser unicelulares o estar constituidas por pocas células. En los hongos las células pueden estar separadas de manera incompleta por septos perforados. La pared celular externa presenta varias capas que rodean el citoplasma, el material nucleico y las reservas, frecuentemente constituidas de materiales como glicógeno o lípidos.

La pared de las esporas normalmente consiste de material resistente (quitina, celulosa y otros compuestos), llegando a ser muy gruesa en algunas

especies de hongos, como Helminthosporium. La superficie puede ser hidrofóbica o hidrofílica. Algunas esporas tienen una superficie pegajosa, y muchas son higroscópicas.

Las esporas de muchas especies son poco coloreadas y transparentes (hialinas); otras son coloreadas, predominando los tonos amarillos, rojos, pardos y púrpuras. El pigmento puede encontrarse en las capas externas o internas de la pared, o en el citoplasma. El color de las esporas es muy útil en la identificación de los hongos.

La textura de la superficie de las esporas varía mucho, pudiendo tener paredes lisas, rugosas o espinosas, entre muchas otras. Las esporas se presentan como unidades individuales normalmente dispersas en el aire, lo que depende de los mecanismos de liberación; en algunas especies las esporas son agregados de esporas, lo que comúnmente se considera como una unidad dispersora, por ejemplo en Cladosporium. El mecanismo de excreción de gota de las basidiosporas parece ser el más eficiente para el lanzamiento de esporas individuales.

Se ha encontrado que la gravedad específica de las esporas es mayor que la del agua, comúnmente de 1.1 a 1.2. Sin embargo, se han registrado bajas densidades, probablemente debidas a las adaptaciones de flotación, tales como burbujas con gas. La forma de las esporas varía mucho dependiendo de las especies. Las esporas de los hongos en general tienden a ser subsféricas, esféricas, elongadas, radiadas, clavadas y ovaladas, aunque hay muchas otras formas. Según Goetz (1965, en Gregory, 1973), la mayoría de los organismos que pueden estar suspendidos en la atmósfera tienen un tamaño que está por debajo del límite de la visión humana, es decir alrededor de $50\ \mu\text{m}$. Las esporas dispersas en el aire varían en tamaño dependiendo de la especie; pueden medir entre 2 y $3\ \mu\text{m}$, como las de algunos aspergilos, pero hay casos en los que sobrepasan los $100\ \mu\text{m}$, como en algunas especies de Helminthosporium.

Tanto el tamaño, como la densidad, la rugosidad de su cubierta externa o pared, y posiblemente la carga electrostática, se combinan para controlar la velocidad con la cual las esporas caen en condiciones de calma y estabilidad, es decir su velocidad terminal de sedimentación (Ingold, 1971; Gregory, 1973).

Dispersión de los conidios en el aire

La dispersión de los conidios a través del aire involucra tres estados:

a) la liberación y salida, capacitando al conidio para vencer las fuerzas adhesivas que lo sujetan al conidióforo y cruzar entonces la capa laminar límítrofe y entrar a la capa turbulenta; b) la dispersión en corrientes de aire, de la fuente a otras partes de la tropósfera, en movimiento horizontal y/o vertical, y c) el depósito en superficies para germinar y crecer. Esta secuencia de eventos es la misma para todos los hongos, aunque muchos tienen adaptaciones en algunos de estos fenómenos.

a) Liberación y salida

Muchos hongos están bien adaptados para la dispersión en el aire, teniendo conidióforos altos que se proyectan dentro o a través de la capa laminar límíte, o por mecanismos particulares de liberación que proyectan fuertemente a las esporas a través de dicha capa. Los diferentes métodos de liberación se resumen en la tabla 1 (Lacey, 1981).

b) Dispersión

Una vez liberadas las esporas y/o los fragmentos hifales, éstos dependen de la dinámica atmosférica para su dispersión. En la dispersión se deben de considerar dos aspectos: el destino de las esporas individuales y el comportamiento de grupos o nubes de esporas. En ambos casos, la dispersión depende de las características físicas de las esporas y de la atmósfera, es decir, tanto de la forma, el tamaño, la rugosidad y la densidad y carga electrostática de las esporas, como del movimiento y viscosidad del aire, turbulencia, estratificación atmosférica, convección, gradientes del viento

Tabla 1. Mecanismos de liberación de las esporas de hongos

Mecanismo de liberación	Requerimientos de agua	
	No	Sí
Pasivo	Desprendimiento bajo la acción de la gravedad	Recolección por gotitas de neblina o llovizna
	Desprendimiento por corrientes de convección	Disparo o lanzamiento por gota
	Remoción por el viento	Mecanismos de fuelle
	Alteración mecánica	Golpeo por gotas de lluvia y expulsión por soplido
	Transmisión por insectos	Salpicadura de gotas de lluvia dentro de fructificaciones en forma de copa
Activo	Movimientos higroscópicos	Mecanismos de propulsión a chorro
	Ruptura por agua	Redondeamiento de células turgentes Descarga de balistosporas

Tomado de Lacey (1981).

cerca del suelo y patrones de circulación atmosférica.

Debido a los movimientos ascendentes del aire, que resultan de la turbulencia y la convección, las esporas son mantenidas en el aire, aunque éstas por su peso tienden a sedimentarse. La turbulencia diluye las nubes de esporas según la teoría de la difusión de remolinos, la cual estipula que las esporas viajan a favor del viento (Gregory, 1973).

El transporte de las esporas depende de la estratificación atmosférica (Turner, 1964), que puede ser vertical u horizontal según las condiciones que se presenten. La dispersión de las esporas puede darse a distancias cortas, lo cual es importante para la dispersión de aquellas esporas de hongos fitopatógenos presentes dentro de un cultivo agrícola; la dispersión de hongos también puede realizarse a grandes distancias, ya sea de un campo agrícola a otro, o de una área a otra. Debido a que es difícil encontrar y reconocer pequeños números de esporas a una gran distancia de su fuente, la mayoría de los estudios se han realizado sobre dispersión a corta distancia (Aylor, 1986).

c) Depósito

El depósito marca el final de la dispersión de las esporas transportadas por el aire, las cuales regresan a las plantas o al suelo en donde colonizan de nuevo el sustrato.

Entre los principales métodos de depósito de las esporas se encuentran: la sedimentación que se da bajo la influencia de la gravedad, el intercambio con la capa límite, el depósito turbulento, la impactación y el lavado por la lluvia. Muchos hongos también son depositados por movimientos brownianos y cargas electrostáticas.

De estos métodos, uno de los más importantes es el de impactación, el cual resulta más eficiente para las esporas grandes (por ejemplo las de fitopatógenos como: *Phytophthora*, *Helminthosporium* y *Puccinia graminis*); que son llevadas más rápidamente por el viento hacia objetos pequeños como hojas o pecfolos; las

esporas pequeñas como las de Aspergillus y Penicillium, presentan en cambio una menor velocidad de caída y movimientos lentos, por lo cual tienen otros mecanismos para ser depositadas más eficientemente (Gregory, 1973). La vegetación densa resulta ser un filtro eficiente de esporas, por impactación de las corrientes de aire, y las corrientes lentas son suficientes para permitir la sedimentación.

El lavado por la lluvia, que rápidamente remueve las esporas del aire, es probablemente el proceso más importante para el depósito de las esporas pequeñas y de fracciones de nubes de esporas no depositadas cerca de su fuente. Las esporas pueden impactarse sobre gotas de lluvia, capturadas por nubes de gotas, o aun formar el núcleo de las nubes. La impactación eficiente está en función del radio de la gota y de la velocidad terminal, tanto de la gota de lluvia como de la spora. La susceptibilidad de las esporas para ser mojadas por el agua determina dónde son acarreadas por las gotas de lluvia y dónde son depositadas. Los conidios impermeables como los de Aspergillus, Penicillium y Gliosporium, son acarreados sobre la superficie y dejados atrás al rodar las gotas sobre superficies de la hoja no mojadas, mientras que los conidios permeables, como los de Fusarium y Verticillium, son acarreados dentro de las gotas hasta que éstas se detienen y se secan (Lacey, 1981). Lynch y Pool (1979, en Gutiérrez, 1985) reportaron que la lluvia es 10 veces más eficiente en lo que respecta a el depósito que el método de sedimentación e impactación.

Ecología de los hongos presentes en el aire

Existe una gran cantidad de reportes de esporas aéreas en diferentes partes del mundo, aunque la información está restringida a los métodos para aislar las esporas, el tiempo y el período de cada muestreo diario, y el período que duró cada estudio. Así, existen alrededor de 200 estudios referentes al tipo de esporas de hongos aéreos más comunes en el mundo y su frecuencia de aparición en las distintas regiones climáticas. Algunos de los

hongos más frecuentes se presentan en la tabla 2 (Lacey, 1981).

Los hongos en el aire varían cualitativa y cuantitativamente según la hora del día, la estación del año, las condiciones ambientales, la localización geográfica y la presencia de fuentes locales de esporas. El tipo de esporas en el aire es muy diverso, pues las hay sexuales y asexuales, que pertenecen a distintos grupos de hongos como puede apreciarse en la figura 2 (Burge, 1986).

El número de esporas en el aire puede variar de 200 a más de 2 millones m^{-3} de aire, pero el número promedio en un día es alrededor de 10 mil a 20 mil m^{-3} , con concentraciones pico que sólo rara vez exceden las 200 mil m^{-3} durante períodos cortos, quizá solamente durante algunas horas. Estas concentraciones pico se presentan principalmente cuando las condiciones son muy favorables para la formación y liberación de numerosas ascosporas (Frankland y Gregory, 1973), balistosporas de Sporobolomyces (Gregory y Sreeramulu, 1958), o basidiosporas. Los hongos conidiales rara vez han sido colectados en números tan elevados bajo condiciones normales. El número de esporas en el aire tiende a ser mayor en regiones tropicales que en latitudes altas y en desiertos. En regiones polares y subárticas el pico de esporas estacional es corto, predominando las ascosporas y las basidiosporas en un 70% (Rantio-Lehtimäki, 1977, en Lacey, 1981).

Una característica de los hongos del aire es la presencia ubica de algunos tipos de esporas predominantes durante el día. Cladosporium es el hongo conidial más numeroso y común en el aire de muchas regiones climáticas del mundo, y frecuentemente su número determina la magnitud del total de esporas del aire durante el día. En la noche, especialmente en lugares fríos, dicho número es remplazado por ascosporas, basidiosporas y balistosporas de Sporobolomyces. En estaciones muy secas otros hongos, generalmente Alternaria y a veces Curvularia, exceden las esporas aéreas de Cladosporium. La cantidad de esporas de Cladosporium puede llegar a representar hasta más de la mitad de las esporas presentes en el aire durante el día, alcanzando una concentración de 240 mil m^{-3}

Tabla 2. Registro de concentraciones máximas y mínimas de los hongos más comunes en el aire, y su presencia en diferentes regiones climáticas

Hongos	Máxima	Mínima	Regiones climáticas
<u>Cladosporium</u>	Verano	Invierno	Secas (estepas, desiertos), húmedo frías, húmedo cálidas, polares
<u>Alternaria</u>	Verano	Invierno	Húmedo cálidas, secas, húmedo frías
<u>Aspergillus</u>	Otoño Invierno	Verano	Secas, húmedo cálidas, húmedo frías, polares
<u>Penicillium</u>	Verano Otoño	Invierno Primavera	Secas, cálido húmedas, húmedo frías, polares
Fragmentos hifales	Primavera	Otoño	Húmedo cálidas, secas, húmedo frías

Basado en Pady, 1957; Kramer et al., 1960; Rich y Wagoner 1962; Davies et al., 1963 y Goodman, 1966.

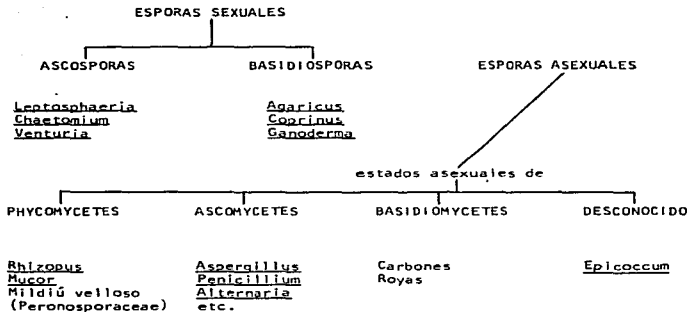


Fig. 2. Ejemplos de tipos de esporas sexuales y asexuales colectadas del aire (Burge, 1986).

de aire, que llega a contribuir con un 93% del total de esporas (Gregory y Sreeramulu, 1958; Sreeramulu y Ramalingam, 1966). Sin embargo, el promedio de concentraciones es generalmente mucho menor, en el orden de 5 mil m^{-3} de aire, dependiendo de la cobertura vegetal de la región, si se trata de zonas rurales o urbanas, o si el ambiente es húmedo o seco, etc.; existen muchos otros registros de esporas de Cladosporium similares a los indicados (Gregory y Hirst, 1957; Hamilton, 1959; Lacey, 1962).

El segundo tipo de esporas más abundante es generalmente el de Alternaria, aunque éste puede dar promedios diarios de concentración de esporas hasta de solamente 150 m^{-3} de aire, y comúnmente de sólo 50 m^{-3} (Gregory y Hirst, 1957). Algunas veces se han encontrado concentraciones pico de 6 mil m^{-3} en períodos de muestreos cortos.

En áreas tropicales, Curvularia, y a veces Nigrospora, tienen grandes contribuciones de esporas al aire, con concentraciones pico de 4 mil a 9 mil m^{-3} , aunque las concentraciones promedio, como las de Alternaria, son frecuentemente de 50 esporas m^{-3} o menos (Sreeramulu y Ramalingam, 1966).

Las esporas de Aspergillus y Penicillium son dispersadas ampliamente en el aire, aunque ellas sólo se pueden identificar si se aíslan en ciertos medios de cultivo y con determinadas temperaturas de incubación. Penicillium predomina en muchas regiones climáticas pero es remplazado por Aspergillus en zonas tropicales y húmedas. Por ejemplo, en el Reino Unido, Penicillium se presentó de 2.5 a 13%, y Aspergillus solamente de 0.5-3.0% (Hyde y Williams, 1949; Richards, 1954; Hudson, 1969; en Lacey, 1981). En la India se aislaron 37 especies de Aspergillus, y solamente 1.7% de Penicillium (Rati y Ramalingam, 1976; en Lacey, 1981). Los hongos termotolerantes y termófilos pueden ocurrir en el aire, aun en regiones con temperaturas de invierno, con un máximo de 14 esporas m^{-3} , en donde el 63% corresponde a A. fumigatus.

Otros hongos característicos, además de los anotados, según las zonas

climáticas son: Alternaria, Helminthosporium y Fusarium, muy numerosos en estepas secas y zonas desérticas; Nigrospora y Curvularia en regiones de sabanas del trópico húmedo, extendiéndose a zonas de estepa subtropical y zonas de bosque lluvioso, mientras que Monilia, Periconia, Pithomyces, Zygozporium y Memnoniella están entre los muy comunes y numerosos en zonas forestales lluviosas.

Periodicidad diurna

La combinación de los ciclos de crecimiento de los hongos, los métodos de liberación de las esporas y los cambios en las condiciones meteorológicas propician variaciones diurnas características en cuanto a concentración de esporas. El máximo del día exhibido por muchos hongos usualmente está relacionado con las condiciones necesarias para la liberación de esporas (según el tipo de hongos), el tiempo de maduración de las esporas, la turbulencia, la velocidad del viento, y la convección e inversión de temperatura que afectan la velocidad de dilución de las nubes de esporas, y consecuentemente su concentración en el aire. La periodicidad de muchas esporas ha sido determinada por concentraciones estimadas en intervalos de 2 horas, usando para ello muestreadores que operan continuamente. Según estos estudios se han reconocido cinco patrones de periodicidad (Shenoi y Ramalingan, 1975; en Lacey, 1981):

A) Máximo diurno

1. Patrón después del amanecer. Este se demostró en especies con mecanismo de liberación de esporas (con movimientos higroscópicos y con rupturas de gotas de agua) que depende de cambios rápidos de la humedad relativa en el ambiente, alcanzando un máximo entre las 7 y las 10 horas. Nigrospora es un ejemplo de este tipo.

2. Patrón de medio día. Las especies con este patrón pueden tener esporas liberadas por colapsamiento o alteraciones mecánicas del micelio (hongo), resultado del incremento de temperatura, velocidad del viento y turbulencia que

se encuentran a medio día. Algunas veces las esporas pueden ser liberadas por el viento, después del debilitamiento del adhesivo que se presenta entre éstas y el conidióforo, debido a movimientos higroscópicos, como sucede en Alternaria porri (Meredith, 1966).

3. Patrón de doble pico. Las razones para dos máximos en el día permanecen inexplicables para algunos autores; sin embargo, Rich y Waggoner (1962) han establecido a nivel teórico que el doble pico o máximos encontrados para las esporas de Cladosporium no son causados por la producción de dos cosechas de esporas durante el día, ni tampoco por dos períodos de liberación en consecuencia de una producción continua de esporas. Lo anterior está basado en el hecho de que Cladosporium requiere de ocho horas de oscuridad para producir esporas listas para liberarse (maduras), así que pocas esporas lo están antes de las 9 horas (Rich y Waggoner, 1962); además, la liberación es inducida por sacudidas (entre estas sacudidas están las causadas por la turbulencia térmica) con lo cual generalmente alcanza un máximo único durante el medio día. La hipótesis de estos autores para explicar los dos picos en el día es que las esporas maduras llegan al aire cuando las hojas infectadas son sacudidas y vibran por el efecto de la turbulencia de la mañana. El número de esporas se incrementa hasta que la fuente de esporas se agota. La turbulencia fomenta su acarreo a las alturas, lo que incrementa el volumen de aire en el que son esparcidas (se diluyen), por lo cual disminuye su número por volumen de aire (el mínimo del medio día). Hay que considerar también las condiciones ambientales, si hay movimientos convectivos además de advectivos, la humedad, etc. Durante la tarde o cerca de la noche disminuye la turbulencia y entonces las esporas tienden a depositarse, las que al ser recolectadas dan origen al segundo máximo del día. Gradualmente las esporas se asientan en algún sustrato y su número decae para dar el mínimo de la noche.

Aun hacen falta estudios más detallados acerca de la relación entre la

liberación de estas esporas y las condiciones ambientales, porque hay que considerar que no se trata sólo de una fuente de esporas en un lugar, ni de que las condiciones sean siempre iguales o estáticas. Constantemente existen cambios ambientales que pueden modificar hasta la producción de las mismas esporas; también influyen la región y época del año en la que se encuentren.

B) Máximo nocturno

1. Patrón después del crepúsculo. Son pocas especies las que dan un máximo entre las 20 y las 22 horas. Las determinaciones de este patrón no se conocen bien aún, pero probablemente opere algún mecanismo activo de liberación de esporas, influido por el incremento de la humedad.

2. Patrón nocturno. El máximo de la noche es de las 2 a las 4 de la mañana, en el que las ascosporas y basidiosporas son características. Una humedad relativa alta puede ser requerida tanto para la formación como para la liberación de las esporas. Por ejemplo, en Pyricularia oryzae la liberación es seguida del estallamiento de una célula en la base del conidio (Ingold, 1964).

Efectos del tiempo y la estación

Las condiciones del tiempo afectan tanto el crecimiento como la esporulación, liberación, dispersión y depósito de las esporas de los hongos. Por lo tanto, dichas condiciones afectan el número y tipo de esporas en el aire. Se han encontrado los efectos del punto de rocío, humedad relativa, temperatura y viento en el número de hongos encontrados en el aire (Hamilton, 1959). Hongos como Alternaria, Botrytis, Cladosporium, Helminthosporium y Aureobasidium, se incrementan en períodos con un alto punto de rocío, y Botrytis con una humedad alta. Por ejemplo, la temperatura que favorece a hongos como Penicillium es entre 10-12° C; a Cladosporium, Erysiphe y Periconia, entre 21-23° C; a Alternaria, Aureobasidium y Torula, entre 24-26° C, y a hongos como Epicoccum, Botrytis y Helminthosporium entre

27-29° C (Hamilton, 1959).

El aumento de la velocidad del viento disminuye las concentraciones de Alternaria y Cladosporium, aunque el primero se incrementa al aumentar las ráfagas o la turbulencia mecánica. Sin embargo, gran número de conidios de Erysiphe graminis se ha correlacionado con velocidad de viento alta, hojas secas, temperatura alta y humedad relativa baja, aunque el inicio fue más importante que su continuación (Hammett y Manners, 1971).

Las esporas en el aire son muy afectadas por la lluvia. Al principio el golpeteo de las gotas de lluvia que caen sobre la vegetación seca hace que las esporas de Cladosporium, Alternaria, Curvularia y Erysiphe, entre otras, aumenten en el aire (Hirst y Stedman, 1963; en Lacey, 1981), pero conforme aumenta la lluvia, dichas esporas son removidas del aire y remplazadas por otro tipo de esporas, principalmente ascosporas.

Las condiciones ambientales y el ciclo de crecimiento de las plantas interactúan para dar grandes diferencias estacionales en las esporas del aire. En regiones templadas, la máxima concentración de esporas ocurre durante el verano, con picos en junio-agosto, dominando Cladosporium y Sporobolomyces (Gregory y Hirst, 1957; Lacey, 1962). Los dos tipos de esporas individuales, especialmente las de hongos patógenos de plantas, muestran una estacionalidad bien definida, con conidios de Erysiphe muy numerosos en junio-julio, y los de Helminthosporium en julio-agosto, aunque los de Penicillium son numerosos en ciudades, frecuentemente en invierno; los conidios de Aspergillus han sido encontrados comúnmente durante todo el año, y Alternaria ha presentado mayores concentraciones al finalizar la estación caliente y cuando ocurren las primeras lluvias (Lacey, 1981).

Importancia de la aeromicrología

Los estudios de aeromicrología son esenciales para el conocimiento epifitológico de enfermedades de plantas, de alergias y de enfermedades

Infecciosas en el hombre causadas por hongos.

Existen más de ocho mil especies de hongos que producen enfermedades en plantas forestales y de cultivo (Agris, 1985), por lo que es importante realizar estudios aerobióticos que reúnan la información necesaria para desarrollar, por ejemplo, modelos de dispersión que simulen la transmisión de una enfermedad de un cultivo a otro, ya sea cercano o lejano. Dichos modelos permiten conocer aproximadamente el tipo y la concentración de esporas o fragmentos hifales que pueden ser dispersados, y el tiempo en el que ocurre este transporte según la dirección y velocidad del viento, la precipitación, etc., es decir, que ayudan a pronosticar el curso que puede seguir una enfermedad y establecer medidas preventivas de control. Este tipo de estudios han sido realizados en detalle y descritos por Gregory (1973), van der Plank (1967) y Aylor (1986), entre otros autores.

La supervivencia y actividad de la mayoría de los hongos fitopatógenos depende ampliamente de las condiciones predominantes de temperatura y humedad, aunque muchos resisten variaciones bastante grandes de ambas condiciones, lo que les permite sobrevivir en los días cálidos de verano y en las bajas temperaturas del invierno. Sin embargo, los hongos requieren de temperatura y humedad adecuadas para poder germinar. La mayoría de este tipo de hongos necesita de agentes como viento, agua, aves o insectos para poder diseminarse de una planta a otra, e incluso en las distintas partes de una planta (Agris, 1985). Para muchos hongos, el viento es el agente más importante para su liberación y diseminación; es determinante para transportar fitopatógenos que causan enfermedades infecciosas en las plantas. Algunas esporas, como los zoosporangios, las basidiosporas y algunos conidios, son a veces estructuras muy delicadas que no sobreviven el recorrido en el viento de grandes distancias. Otras, como las uredosporas y muchos tipos de conidios, son transportados a muchos Km de distancia, conservando su viabilidad y hasta su

capacidad infectiva.

El viento es aun más importante en el desarrollo de epidemias cuando va unido a la lluvia, ya que ésta es acarreada por el viento facilitando la liberación de muchas esporas (que a pesar del viento no podrían liberarse de los tejidos infectados de las plantas) llevándolas a otras superficies húmedas, que en caso de ser susceptibles pueden ser infectadas de inmediato.

La humedad, en forma de salpicadura de lluvia y agua corriente, también tiene una importante función para la distribución y diseminación de muchas esporas de hongos sobre una misma planta o de una planta a otra (Agris, 1985).

Los hongos diseminados en la atmósfera producen una gran variedad de enfermedades en las plantas. Algunas se conocen por los síntomas provocados en la planta, como los tizones, los marchitamientos, las pudriciones, los cánceres, las manchas foliares y la muerte regresiva, etc.; otras se conocen por la apariencia de las estructuras vegetativas y reproductoras de los hongos parásitos que se encuentran desarrollándose sobre las plantas, por ejemplo las royas, los carbonos, los mildiús y las cenicillas.

Los hongos parásitos que dañan las plantas son solamente de dos tipos básicos según su biología: necrotróficos y biotróficos (del gr. necrós, muerto; bíos, vida, y tróphos, que nutre, que sirve de alimento). Los primeros matan las células del hospedante desde las etapas tempranas en el curso del parasitismo, por lo que viven y se alimentan como saprobios a partir de los tejidos muertos. Los hongos biotróficos no matan las células infectadas, pues éstas permanecen viables y aparentemente sanas, mientras que las células vecinas comienzan a declinar (Herrera y Ulloa, 1989).

Algunas de las enfermedades causadas por hongos, que son diseminados por el aire, se muestran en la tabla 3.

Aunque el número de especies de hongos que causan enfermedades en el hombre y en los animales es menor que el de los que afectan a las plantas, las

Tabla 3. Algunas especies de hongos fitopatógenos dispersados por el aire

Especie	Tipo de parásito	Enfermedad en plantas
<u>Erysiphe graminis</u>	Biotrófico	Mildió pulverulento o cenicienta del follaje del trigo, del maíz y de otras gramíneas, según la forma especial del hongo
<u>Endothia parasitica</u>	Necrotrófico	Tizón del tallo y de las ramas del castaño
<u>Puccinia graminis</u>	Biotrófico	Roya del tallo y del follaje de diversas gramíneas
<u>Mucor racemosus</u>	Necrotrófico	Pudrición suave de las raíces del camote
<u>Rhizopus nigricans</u>	Necrotrófico	Pudrición suave de los frutos de la fresa, del plátano y de otras frutas, y de las raíces del camote
<u>Aspergillus niger</u>	Necrotrófico	Pudrición de una gran variedad de granos y semillas (mohos tóxicos)
<u>A. flavus</u>		
<u>A. parasiticus</u>		
<u>A. ochraceus</u>		
<u>A. glaucus</u>		
<u>Penicillium citrinum</u>	Necrotrófico	Pudrición de gran variedad de granos y semillas (mohos tóxicos).
<u>P. islandicum</u>		Pudrición suave de frutas cítricas.
<u>P. italicum</u>		
<u>Alternaria solani</u>	Necrotrófico	Tizón temprano del follaje y de los tubérculos de la papa, y del follaje y de los frutos del jitomate

Tomado de Herrera y Ulloa, 1989.

micosis en los primeros son también muy importantes. De los 200 mil nombres de hongos registrados en la bibliografía micológica, sólo aproximadamente 20 especies pueden causar enfermedades sistémicas o diseminadas, severas y hasta fatales en el hombre, aunque existe una larga lista de especies de hongos conocidos como oportunistas, causantes de enfermedades que de ser localizadas pueden llegar a diseminarse en todo el organismo y tornarse fatales. Dichos hongos oportunistas se desarrollan en individuos débiles orgánicamente, en inmunodeprimidos o en aquellos que han recibido gran cantidad de medicamentos que disminuyen sus mecanismos de defensa (Herrera y Ulloa, 1989).

Los hongos que pueden causar enfermedades (micosis) de tipo sistémico y oportunista son transportados en la atmósfera y su mecanismo de entrada al organismo hospedante es por las vías respiratorias. Entre las micosis de tipo sistémico se encuentran, principalmente, la histoplasmosis, la coccidioidomicosis, la blastomicosis y la paracoccidioidomicosis, que son causadas por Histoplasma capsulatum, Coccidioides immitis, Blastomyces dermatitidis y Paracoccidioides brasiliensis, respectivamente. Entre las micosis oportunistas se hallan la criptococosis, la aspergilosis, la candidiasis, la penicilosis, la mucromicosis y la rinoentomoforamicosis, entre otras, que son causadas por Cryptococcus neoformans, Aspergillus fumigatus y A. niger, Candida spp., Penicillium spp., Mucor ramosissimus y Rhizopus arrhizus, y Entomophthora coronatus, respectivamente (Emmons et al., 1970; Ripon, 1982; Herrera y Ulloa, 1989); Algunas de las especies de hongos, cuyas esporas al ser inhaladas causan enfermedades en el hombre, se indican en la tabla 4.

Por otro lado, existen hongos que no se desarrollan en los tejidos del organismo hospedante, pero algunos antígenos fúngicos son causantes de alergias o asma en un gran número de personas y animales.

La alergia es quizá la reacción humana más común que se presenta al inhalar las esporas de hongos suspendidas en la atmósfera, y es definida como

Tabla 4. Algunas especies de hongos cuyas esporas causan enfermedades en el hombre al ser inhaladas

Espece	Enfermedad	Tipo de micosis
<u>Mucor circinelloides</u>	Mucormicosis	Subcutánea localizada, principalmente rinocerebral, gastrointestinal y diseminada o sistémica
<u>M. pusillus</u>		
<u>M. racemosus</u>		
<u>M. ramosissimus</u>		
<u>Rhizopus arrhizus</u>		
<u>Rh. oryzae</u>		
<u>Alternaria alternata</u>	Alergia (asma)	No es micosis
<u>Aureobasidium pullulans</u>	Aureobasidiomicosis	Oportunista
<u>Aspergillus clavatus</u>	Aspergilosis	Alérgica (asma y broncopulmonar). También es micosis, ya que hay desarrollo de las estructuras fúngicas en los tejidos del hospedante
<u>A. flavus</u>	Aspergilosis	Oportunista. Colonizadora (aspergiloma pulmonar); invasiva (diseminada del sistema nervioso central), cutánea, de los senos nasales o iatrogénica
<u>A. fumigatus</u>		
<u>A. terreus</u>		
<u>Penicillium commune</u>	Penicilosis	Oportunista; inicialmente pulmonar pero se vuelve sistémica rara
<u>P. marneffoi</u>		
<u>P. simplicissimum</u>	Neumonitis por hipersensibilidad	No es micosis puesto que no existe crecimiento de los hongos en los tejidos del hospedante

Tomado de Herrera y Ulloa, 1989.

una capacidad alterada, adquirida y específica para reaccionar a una sustancia. La sensibilidad es adquirida por exposición a un alérgeno en personas que previamente están constituidas genéticamente para desarrollar estados de hipersensibilidad. Esta puede manifestarse dentro de la modalidad de alergia y resulta en una reacción alérgica no encontrada previamente en el sujeto. La gente varía en cuanto a la facilidad con la que puede sensibilizarse y en el tipo de reacción alérgica producida.

Alrededor del 20% de la población son individuos atópicos y sensibilizados fácilmente por concentraciones de esporas usuales en el aire (arriba de 10^6 m^{-3}), quienes reaccionan inmediatamente a la exposición en las vías superiores del sistema respiratorio, con síntomas parecidos a la fiebre del heno y asma. El resto de la población requiere de exposiciones más intensas ($10^6 - 10^9$ esporas m^{-3}) para sensibilizarse, reaccionando hasta después de 4 a 14 horas en las partes profundas del pulmón y produciendo alveolitis alérgica (Lacey, 1972).

Las esporas asociadas con alergias inmediatas son, en su mayoría, más grandes de $5 \mu\text{m}$, mientras que las asociadas con alergias más retardadas son usualmente más pequeñas, asegurando su penetración en la profundidad del pulmón. Sin embargo, la separación entre las diferentes regiones del pulmón no es absoluta, y el volumen o número de esporas grandes que alcancen los alvéolos dependerá de la intensidad de la exposición, mientras que las esporas más pequeñas pueden agregarse (como las de Aspergillus fumigatus) y depositarse en la parte superior de las vías respiratorias.

Se ha demostrado que muchas de las esporas de hongos comunes son alergénicas (Hyde, 1972; en Lacey, 1981) y se considera que las esporas de todos los hongos deben reconocerse como potencialmente alergénicas.

Gran número de esporas vienen de cultivos agrícolas, muchas diseminadas por actividades humanas, especialmente en la cosecha. También es posible que las corrientes de convección, que forman alrededor de un 10% de el aire inhalado (Lewis et al., 1969; en Lacey, 1981), acarreen concentraciones de esporas desde

el suelo hasta la raíz. Algunas especies como Alternaria alternata y Aspergillus clavatus, causantes de alergias se incluyen en la tabla 4, y en la 10 se mencionan otras especies, como Aspergillus flavus, A. niger, A. fumigatus y Stachybotrys chartarum que producen micosis y micotoxicosis.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona sur de la Ciudad de México. El área metropolitana de esta ciudad se localiza en la parte suroeste de una cuenca cerrada, a $19^{\circ}35'$ de latitud norte y $99^{\circ}40'$ de longitud oeste, a una altura de 2240 m sobre el nivel del mar. Se encuentra rodeada de montañas, lo que propicia la circulación de vientos provenientes del noroeste-noreste hacia el sur. La cuenca del Valle de México tiene una alta incidencia de calmas en los niveles inferiores (los primeros 100 a 200 m), especialmente por la noche y en la mañana, e inversiones térmicas todo el año. El número de días despejados es entre 100 y 200 al año y la incidencia de radiación solar es entre 450 y 475 Cal/cm²/día (Bravo et al., 1988).

Debido a la latitud en que se encuentra la Ciudad de México, su clima es tropical de montaña, determinado por los sistemas atmosféricos tropicales y extratropicales, distinguiéndose así dos estaciones climáticas bien definidas: la de secas, centrada en el invierno (noviembre-abril) y la lluviosa, de mayo a octubre (Jáuregui, 1987). Durante el período de secas las corrientes de aire sobre la cuenca proceden del oeste, noroeste o suroeste. A nivel de la tropopausa (13 km) los vientos sobre la cuenca en estas épocas alcanzan velocidades cercanas a los 100 km/h, mientras que en los niveles cercanos al suelo llegan masas de aire procedentes de las regiones polares de Norteamérica y del Pacífico del norte. Las perturbaciones, que en forma de ondulaciones viajan en la corriente aérea del oeste, ocasionan una intensificación del viento a su paso por la cuenca, levantando en ocasiones altas y densas cortinas de polvo, especialmente en la mitad del período de secas, de febrero a abril. Las corrientes turbulentas descendentes levantan muros de polvo a su paso por los campos secos y desnudos de vegetación, en donde antes existió una zona lacustre. Impulsadas por los vientos generales, las nubes y el polvo avanzan luego sobre la ciudad agravando los niveles de contaminación por algunas horas.

El paso de tormentas invernales está asociado a la llegada de una masa de aire frío que origina un descenso marcado en la temperatura, que en promedio es de 3° C (Hill, 1969, en Jáuregui, 1987), pero que en ocasiones supera los 6° C. Además del desplome de la temperatura, al pasar un frente frío aumenta la nubosidad, y en ocasiones ocurre lluvia ligera o llovizna. En el período de lluvias, a partir del mes de abril, como resultado del calentamiento gradual de Norteamérica, se debilitan los vientos del oeste sobre la cuenca de México. Prevalece la corriente húmeda tropical de los alisios y la situación atmosférica propicia la formación de nubes convectivas que originan los aguaceros de verano sobre el área urbana, especialmente hacia el sur y el poniente (Jáuregui, 1987).

El área de estudio del presente trabajo se encuentra localizada dentro de la Delegación Coyoacán, ubicada en la zona centro y sur del D. F., con una superficie de 54.4 Km², equivalente a 3.6% del total del D. F. Los muestreos se realizaron en las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (Edificio del Centro de Ciencias de la Atmósfera, fig. 3), considerando esta zona como suburbana (con 720 ha), ya que está rodeada de unidades habitacionales y de áreas verdes de considerable magnitud (Jáuregui, 1987). El suelo en esta zona es de tipo rocoso y de origen volcánico, producto de la erupción del volcán Xitle. En cuanto a su textura, presenta una carencia de arcilla y abundancia de arena. El SiO₂ representa casi el 50% de la composición de la roca (Shmitter, 1953 en Diego, 1970). Además tiene una composición de limo del 44.5% y del 20-30% de materia orgánica (Diego, 1970). La topografía es plana, con terrenos de poca pendiente y con leves depresiones en el sentido este-oeste. La única prominencia es el cerro de Zacatepec en el suroeste, cuya altura es de 2 450 m sobre el nivel del mar. La contaminación ambiental en la zona sur es debida al transporte por la acción de los vientos de la masa de contaminantes (NO, NMHC, SO₂, CO y partículas, entre otros) emitidos en la parte norte y centro de la zona metropolitana de la Ciudad de México

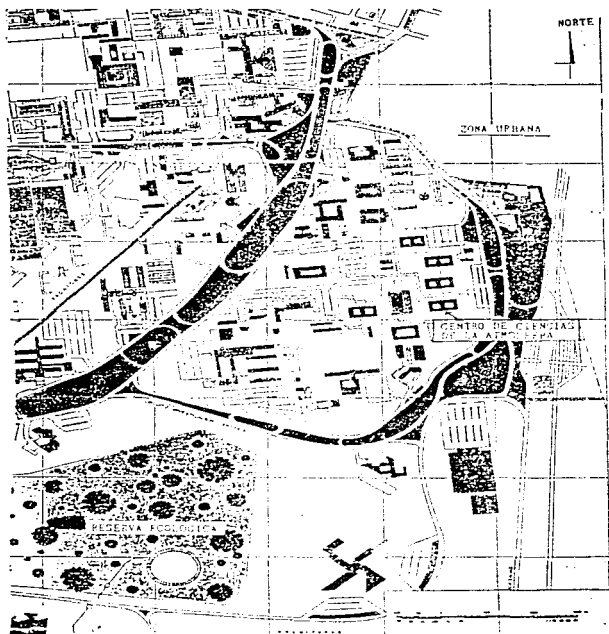


Fig. 3 Localización del área de estudio.

(por fuentes fijas y móviles), así como de la radiación solar que esta masa recibe, registrándose altos niveles de ozono y por lo tanto mala calidad de aire en esa zona (Bravo et al., 1988).

Entre las principales características climáticas del sur de la Ciudad de México (Jáuregui, 1987) se encuentran las indicadas en la tabla 5.

Tabla 5. Algunas características climáticas de la Ciudad de México

Características climáticas	Grado
Grado de ventilación	Alto
Oscilación térmica diaria	Moderado
Humedad ambiente	Alto
Frecuencia de lluvias	Alto
Frecuencia de tolvaneras	Bajo
Frecuencia de heladas	Moderado
Frecuencia de nublados	Alto
Frecuencia de tormentas eléctricas	Alto
Nivel de contaminación	Bajo-moderado (en polvos) Alto en O_3

Tomado de Jáuregui, 1987.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos de hongos dispersos en el aire se realizaron durante un año, (excepto el mes de junio) abril de 1986 - abril de 1987, en Ciudad Universitaria, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera.

Muestreo del aire

El muestreo del aire se llevó a cabo una o dos veces por semana, a las 10 y 13 horas, con un total de 60 muestreos, colocando en una torre portátil de aluminio, a una altura de 10 m sobre el nivel del suelo, el muestreador Andersen para partículas viables, modelo 10-800 (Andersen Sampler Inc., 1984), el cual consiste de una serie de 6 etapas a través de las cuales el aire muestreado es arrastrado consecutivamente (Figs. 4-6). En cada etapa hay una placa metálica con 400 orificios, e inmediatamente abajo una caja de petri con 27 ml de medio de cultivo (en este caso extracto de malta agar). Para hacer funcionar este aparato, el muestreador cuenta con una bomba de vacío, que se ajusta para obtener una velocidad de flujo de aire de 28.3 L/min. El diámetro de los orificios es constante para cada etapa pero va disminuyendo en cada una de ellas; como consecuencia, la velocidad del flujo es uniforme en cada una pero se incrementa sucesivamente. Este muestreador simula el aparato respiratorio humano. El diámetro de los orificios y el intervalo del tamaño de partículas colectadas en cada etapa se muestra en la tabla 6 (Andersen Sampler, Inc., 1984). Durante los 15 min que duró cada muestreo, a la vez que se accionaba el sistema del Andersen, se registraron los parámetros meteorológicos prevalcientes en el lugar.

En la tabla 7 se señalan los aparatos con los que se registró cada parámetro. También se observaron condiciones atmosféricas como visibilidad y tipo y porcentaje de nubes (Hulbert, 1973).

Aislamiento e identificación de hongos

Una vez terminado cada muestreo, las cajas de petri expuestas se incubaron a una temperatura entre 23 y 27° C durante 48-72 horas. Después de ese tiempo cada

Fig. 4. Muestreador Andersen para partículas viables aéreas.
Figs. 5 - 6. Anverso y reverso de una placa de extracto de malta agar impactada en la etapa del muestreador; se observan las UFC de diversos hongos aislados del aire.

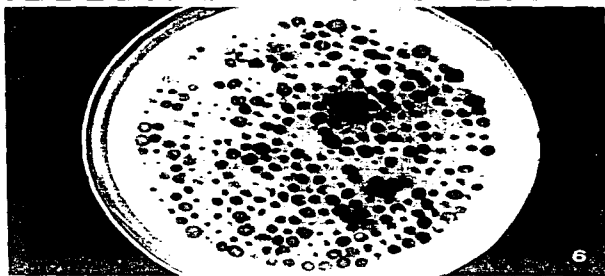
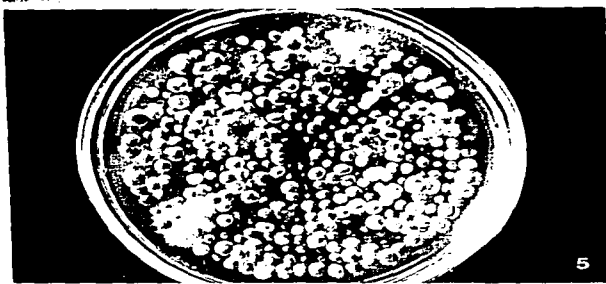
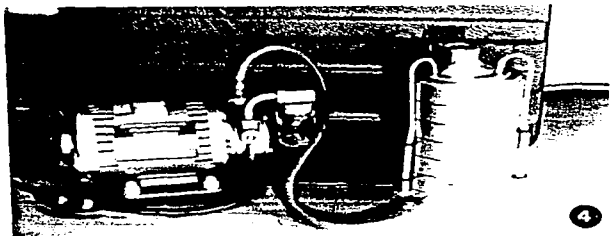


Tabla 6. Diámetro de los orificios y tamaños de partículas colectadas en cada etapa del muestreador Andersen

Etapa	Diámetro del orificio (mm)	Tamaño de partículas (μm)
1	1.01	7.0 y por arriba
2	0.91	4.7 - 7.0
3	0.71	3.3 - 4.7
4	0.53	2.1 - 3.3
5	0.34	1.1 - 2.1
6	0.25	0.65- 1.1

Andersen Sampler, Inc. 1984.

Tabla 7. Aparatos empleados para el registro de los parámetros meteorológicos y tiempo de registro de los muestreos

Parámetro	Aparato	Marca	Registro durante el tiempo de muestro
Temperatura	Sensor	Teledyne Geofech	Cada minuto
Velocidad	Anemómetro	Teledyne Geofech	Cada minuto
Dirección del viento	Veleta	Teledyne Geofech	Cada minuto
Humedad atmosférica	Psicrómetro de onda	Imperial Eastman de México	Dos veces
Radiación global	Piranómetro	Kipp CM-672986, con una cte. de $K = 125 \mu V/V_{\mu^2}$	Cada hora
Precipitación pluvial	Pluviómetro		Cuando hubo precipitación

caja fue examinada, haciendo una estimación cuantitativa de las colonias con ayuda de un contador de colonias y un estereomicroscopio. Para hacer la identificación, cada colonia fue resembrada en diferentes medios, según el tipo de hongo, (papa dextrosa agar, Czapek agar, Sabouraud agar, papa sacarosa agar y agua agar, y una vez desarrollada la colonia se examinó macro y microscópicamente, analizando sus estructuras y siguiendo las claves micológicas de Raper y Fennell, 1965; Barron, 1968; Barnett y Hunter, 1972; von Arx, 1981 y Pitt, 1985. Una vez que se identificaron los hongos, se tomaron fotografías de las estructuras al microscopio y se llevaron a cabo resiembras en tubos, con medio adecuado, manteniendo las cepas en refrigeración para su preservación. Aunque se aislaron levaduras estas no fueron cuantificadas e identificadas.

Análisis de resultados

a) Análisis microbiológicos

Después de realizar el recuento de las colonias desarrolladas en cada caja de petri, una vez transcurrido el tiempo de incubación, los errores de sobreposición en los números microbianos de origen aéreo fueron corregidos utilizando la siguiente fórmula:

$$C = N \ln \left[\frac{N}{(N - P)} \right]$$

en donde C es la cuenta corregida de colonias por etapa, N es el número de hoyos en la placa perforada (400), y P es el número de hoyos positivos (colonias de hongos) (Niemea et al., 1985). De esta manera se obtuvo el número de unidades formadoras de colonias (UFC), para cada etapa del muestreador Andersen. Para conocer el número total de UFC obtenidas durante el muestreo, la suma total de colonias de las 6 etapas se dividió entre el volumen total en pies³ del aire muestreado. Como se mantuvo una velocidad de flujo constante a 1 pie³ de aire muestreado por minuto, entonces el volumen de aire muestreado fue igual al número de minutos muestreados, dando como resultado el número promedio de UFC pie⁻³ de aire. Para pasar de pie⁻³ a m³ se multiplicó el resultado de la división por una constante (K = 36),

registrándose así las UFC m^{-3} de aire (Andersen Sampler, Inc., 1984).

$$\frac{\text{Número total de UFC de todas las etapas}}{\text{Tiempo total de muestreo}} = \bar{x} \text{ de UFC } m^{-3} \text{ de aire muestreado}$$

El % de UFC en cada intervalo de tamaño de partículas colectadas se determinó dividiendo el total del número de colonias en cada etapa entre el total del número de colonias en todas las etapas (Andersen Sampler, Inc., 1984). Ejemplo:

$$\frac{\text{Número de UFC en etapa 1}}{\text{Número total de UFC de todas las etapas}} \times 100 = \% \text{ de UFC, con tamaño mayor de } 7.0 \text{ um de diámetro}$$

b) Análisis meteorológico

De cada parámetro meteorológico se obtuvo el valor promedio de las lecturas registradas para cada muestreo (temperatura, humedad, presión de vapor, viento, precipitación pluvial y radiación solar).

También se calculó el carácter de estratificación atmosférica presente durante los muestreos, el cual suministra información sobre la posibilidad de que se produzcan movimientos verticales y sobre la actividad de la agitación de los remolinos que puede esperarse. Su análisis riguroso suele realizarse a partir de la distribución vertical de la temperatura que habitualmente se obtiene mediante sondeos aerológicos. Sin embargo, existe un método indirecto para estimar la turbulencia o el tipo de estabilidad atmosférica (el cual fue utilizado en este estudio). Se trata de la clasificación propuesta por Pasquill (1961) y modificada por Turner (1964), cuya aplicación no requiere más datos que observaciones meteorológicas de superficie (velocidad del viento, grado de insolación y nubosidad).

El método consiste en estimar primero la clase de estratificación atmosférica para un intervalo de tiempo, lo que da una previa indicación de la capacidad de difusión de la atmósfera, que posteriormente se modifica de acuerdo con las características del viento en el mismo intervalo.

Debido a que la estabilidad de la estratificación depende del coeficiente de disminución de la temperatura con la altura, la capa próxima al suelo será función principalmente de la radiación solar incidente y de la velocidad del viento. La intensidad de la radiación solar incidente depende de la altura del sol, la cual es función de la hora del día y de la época del año. Si existen nubes o brumas, su cantidad y espesor reduce la intensidad de la radiación que llega al suelo y la emitida por éste.

En este método la irradiación se estima por la altura solar, y se modifica después de acuerdo con la cantidad de cielo cubierto y la altura de las nubes.

En la tabla 8 se dan las clases de estratificación en función de la velocidad del viento y la radiación neta. Esta se introduce mediante un número, el índice de radiación neta, que varía desde 4 (la mayor radiación neta positiva o dirigida hacia la tierra), hasta -2 (la mayor radiación neta negativa o dirigida de la tierra hacia la atmósfera). La inestabilidad se da con radiación neta positiva grande y viento débil; la estabilidad con alta radiación neta negativa grande y vientos débiles; la estratificación indiferente o neutra, con cielo cubierto y alta velocidad del viento (Pasquill, 1961; Turner, 1964).

Tabla 8. Clases de estabilidad atmosférica como una función de la radiación neta y la velocidad del viento

Velocidad del viento m seg ⁻¹	Índice neto de radiación						
	4	3	2	1	0	-1	-2
	Clases de estabilidad atmosférica ^a						
1.2	1	2	2	4	4	6	7
2.3	1	2	3	4	4	5	6
3.1	2	2	3	4	4	5	6
3.6	2	2	3	4	4	4	5
4.6	2	3	3	3	4	4	5
5.2	3	3	4	4	4	4	5
5.7	3	3	4	4	4	4	4
6.2	3	4	4	4	4	4	4

Tomado de Pasquill, 1961; Turner, 1964.

^a

- 1 Muy inestable
- 2 Moderadamente inestable
- 3 Ligeramente inestable
- 4 Indiferente o neutro
- 5 Debilmente estable
- 6 Moderadamente estable
- 7 Muy estable

RESULTADOS

La ubicación taxonómica de los hongos colectados del aire durante el tiempo de muestreo se presenta en la tabla 9. Se identificaron 11 géneros, y en sólo cinco de ellos se determinó la especie. Los hongos aislados pertenecen a las subdivisiones Phycomycotina y Deuteromycotina.

En la tabla 10 se presentan las características morfológicas de cada género o especie aislada, señalando el tipo de esporas y su mecanismo de liberación que presentan. Así mismo, se cita el hábitat, la presencia o no de periodicidad diurna y los daños que cada hongo puede producir en plantas, animales y el hombre, considerando las repercusiones en la salud o de tipo económico. La mayoría de los géneros presentan esporas de tipo seco, y sólo tres (Aureobasidium sp., Mucor sp. y Stachybotrys chartarum) producen esporas de tipo mucilaginoso. Todos los hongos colectados, excepto Epicoccum purpurascens, tienen mecanismos pasivos de liberación de esporas. La distribución y el hábitat que presentan estos géneros es muy similar, ya que todos son cosmopolitas y se desarrollan comúnmente sobre el suelo, vegetación viva o muerta y alimentos.

La variación estacional de la aeromicrobiota colectada se presenta en la tabla 11. Debido a que en México las estaciones del año no son muy marcadas, suele dividirse la estacionalidad en dos períodos solamente, el de lluvias y el de secas. Al analizar la variación estacional de los hongos aislados, se observa que algunos géneros y especies no presentaron un patrón característico en la época de lluvias o de secas, registrándose durante casi todo el tiempo de muestreo, como sucedió con Alternaria spp., Aspergillus niger, Aspergillus spp., Cladosporium spp., Epicoccum purpurascens, Monilia sitophila, Panicomyces variotii y Penicillium spp. Otros hongos, como A. flavus, A. fumigatus, A. melleus, Aureobasidium sp., Mucor sp., Rhizopus sp. y Stachybotrys chartarum, presentaron una frecuencia de aparición muy baja.

Tabla 9. Ubicación taxonómica de los hongos aislados del aire

Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Phycomycotina
Clase	Zygomycetes
Orden	Mucorales
Familia	Mucoraceae
Géneros y especies	<u>Mucor</u> sp. <u>Rhizopus</u> sp.
Subdivisión	Deuteromycotina
Clase	Hyphomycetes
Orden	Moniliales
Familia	Moniliaceae
Géneros y especies	<u>Aspergillus</u> spp. <u>A. flavus</u> <u>A. fumigatus</u> var. <u>ellipticus</u> <u>A. niger</u> <u>Monilia sitophila</u> <u>Paecilomyces variotii</u> <u>Penicillium</u> spp.
Familia	Dematiaceae
Géneros y especies	<u>Alternaria</u> spp. <u>Aureobasidium</u> sp. <u>Cladosporium</u> spp. <u>Stachybotrys chartarum</u>
Familia	Tuberculariaceae
Géneros y especies	<u>Epicoecum purpurascens</u>

Tabla 10. Características morfológicas ^a, hábitat ^a, mecanismo de liberación de esporas ^b, periodicidad en la producción de esporas ^c, e importancia ^d de los géneros y especies aislados.

Hongo	Características morfológicas y mecanismo de liberación de esporas	Hábitat	Periodicidad	Importancia
<u>Alternaria</u> Ness ex Fr. (Fig. 7)	<p>Colonias efusas, de color gris, café negruzco oscuro o negro. Hifas menos coloreadas, moreno-oliváceas o morenas. Conidióforos geniculados (con poros en la pared); conidios secos, producidos enteroblasticamente en cadenas con sucesión acrópeta o en ocasiones producidos individualmente en los ápices de los conidióforos; conidios de forma variada, la mayoría obclavados u obpiriformes, multicelulares, con septos transversales y longitudinales, fluctuando, según las especies, entre 18-95 X 17-19 μm aproximadamente.</p> <p>Mecanismo de liberación: pasivo</p>	<p>Presente en muchas clases de plantas y otros sustratos, como textiles, alimentos y suelo, entre otros. Ha sido aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón del medio día, y en el de doble pico.</p>	<p>Incluye especies parásitas de diversas plantas, y causante de alergias en humanos.</p>
<u>Aspergillus</u> Mich. ex Fr.	<p>Colonia y textura muy variables, dependiendo de la especie, con distintos colores (blanco, verde, azul verdoso, café o negro, entre otros. El micelio se encuentra parcialmente inmerso. Los conidióforos</p>	<p>Abundante en suelo, vegetación y una gran diversidad de sustratos, como textiles, granos y semillas almacenados, etc. Diversas especies han sido aisladas del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón de doble pico.</p>	<p>Contaminantes de granos y semillas, produciendo micotoxinas que ocasionan trastornos leves o severos en humanos y animales.</p>

Tabla 10 (continuación)

	<p>terminan en una vesícula, a partir de la cual nace una hilera de filídes (monoseriados), o una hilera de metulas y sobre éstas una hilera de filídes (biseriados), las cuales producen conidios (filosporas) secos, bístricos, generados en sucesión basípeta; conidios esféricos, unicelulares, de diversos colores, lisos, rugosos, verrugosos o equinulados, algunas veces con espinas arregladas espiralmente, de tamaño variable según las especies, fluctuando entre 2.5-6.5 μm.</p> <p>Mecanismo de liberación: pasivo</p>			<p>Biodeterioradores de diversos sustratos y patógenos del hombre y de animales, ocasionando aspergilosis; algunas especies causan alergias.</p>
<p><u>Aspergillus flavus</u> Link. (Fig. 8)</p>	<p>Colonia de crecimiento lento, micelio con cabezas conidiales de color amarillo, amarillo estroncio o amarillo limón cuando jóvenes, que cambia rápidamente a tonos amarillos verdosos brillantes u oscuros, y finalmente llegan a tonos verde uva intenso o verde jade, al envejecer. Algunas cepas presentan esclerocios, dominando la apariencia de la colonia. Las cabezas conidiales son rídicamente radiadas; conidióforos con pared gruesa, incolora, rugosa, de menos de 1 mm de longitud, con pedúnculos abajo de las vesículas, las cuales son elongadas cuando jóvenes, después llegan a ser subglobosas a</p>	<p>Aislado regularmente del suelo, de forraje y vegetación muerta, granos y semillas almacenados. Se ha aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón de doble pico.</p>	<p>Causante de aspergilosis pulmonar (oportunist) invasor del sistema nervioso central y de los senos nasales. Responsable de la pudrición de granos y semillas; causante de micotoxicosis en humanos o animales que ingieren alimentos contaminados con este hongo.</p>

Tabla 10 (continuación)

A. fumigatus Fres.
var. *ellipticus* Raper
et Fennell
(Fig. 9)

globosas, uniseriadas o biseriadas;
conidios secos, típicamente
globosos a subglobosos, rugosos a
equinulados, algunas veces
elípticos, de 3-6 μm de diámetro.

Mecanismo de liberación: pasivo

Colonia de crecimiento rápido,
aterciopelada a flocosa,
inicialmente blanca, después verde
por el desarrollo de cabezas
conidiales abundantes, éstas
columnares cortas. Conidióforos
cortos, lisos, de color verde
originados de hifas sumergidas o
de ramas cortas de hifas aéreas;
vesículas concoloras con los
conidióforos fértiles en la parte
media superior, uniseriadas (sólo
con filíides); conidios secos,
elípticos, lisos, la mayor parte
entre 3.5 a 4.5 μm X 2.2 a 2.8 μm ,
ocasionalmente mayores
(5.5 X 3.0 μm).

Mecanismo de liberación: pasivo

Común en el suelo y en materia
orgánica en descomposición,
incluyendo forraje; sobre
cereales como maíz, trigo,
avena, etc. Ha sido aislado
del aire. Cosmopolita.

Diurna, con máximos
en el patrón de
doble pico.

Oportunista que causa
aspergilosis pulmonar
o de tipo invasivo,
ocasionando micosis
diseminada del
sistema nervioso
central y de los senos
nasales; cutáneo.
Esta variedad puede
causar enfisema
pulmonar. También es
una especie
contaminadora de granos
y semillas.

Tabla 10 (continuación)

<p><i>A. niger</i> Yukawa</p>	<p>Colonias que alcanzan 2.5-3 cm de diámetro en 10 días, primero de color ante y canela rosado y después ocre, por la presencia de esclerocios. Cabezas conidiales algo más pálidas. Conidióforos de pared gruesa pigmentada y conspicuamente áspera. Conidios secos, globosos a subglobosos, de pared lisa o irregularmente verrugosa de 2.8-3.5 μm de diámetro.</p>	<p>Ampliamente distribuida en suelos de regiones tropicales a subtropicales; frecuentemente se encuentra en rizosfera y geocarposfera y en semillas de cacahuate.</p>	<p>Diurna</p>	<p>Contaminante de semillas de leguminosas y graníneas, de alimentos sólidos y desecados, del fruto del cacao y otros productos agrícolas. Produce ocratoxinas A y B. Se utiliza en la biotransformación de esteroides.</p>
<p><i>A. niger</i> van Tieg. (Fig. 10)</p>	<p>Mecanismo de liberación: pasivo</p> <p>Colonia de crecimiento rápido, con micelio basal compacto, sosteniendo estructuras conidiales erectas, en grupos, que inicialmente son de color blanco-amarillento hasta moreno-negruzco; cabezas conidiales grandes y negras, al principio globosas hasta radiadas, que con la edad llegan a dividirse en columnas flojas o bien definidas. Conidióforos de paredes lisas, menos coloreados; vesícula globosa, biserialada, color café. Conidios secos, globosos al madurar, de 4-5 μm de diámetro, blásticos, producidos en sucesión basípeta, de color café, con paredes rugosas irregularmente y densas con cordilleras conspicuas y</p>	<p>Común en gran variedad de sustratos, incluyendo granos, semillas, forrajes, frutas y vegetales expuestos, textiles, productos agrícolas y vegetación descompuesta, entre otros. Abundante en el suelo, especialmente en el de áreas tropicales a subtropicales. Ha sido aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón de doble pico</p>	<p>Se ha reportado como patógeno del hombre y de animales, causando actinorriosis pulmonar. Contamina granos y semillas almacenados, que al ser consumidos ocasionan micotoxicosis en animales y en el hombre.</p>

Tabla 10 (continuación)

<p><u>Aureobasidium</u> Viñala et Boyer (Fig. 11)</p>	<p>equinuladas, no arregladas como estrías longitudinales.</p> <p>Mecanismo de liberación: pasivo</p> <p>Colonia efusa, inicialmente blanca o crema, posteriormente negra y viscosa. Micelio parcialmente inmerso, frecuentemente con hinchamientos en intervalos (como cadena de rosario), de grosor muy variable. Conidióforos, ramificados flexibles, primero hialinos, después de color café oscuro, con pared delgada y lisos; conidios agregados en masas mucilaginosas, semiendógenos, biásticos, simples, elipsoidales; conidios secundarios producidos por gemación de los primarios (como en las levaduras), de 9-11 X 4-5.5 μm.</p>	<p>En vegetación muerta, suelo, alimentos, textiles, madera, etc. Se ha aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón de medio día.</p>	<p>Biodegradador de alimentos, madera y textiles; causante de alergias respiratorias.</p>
<p><u>Cladosporium</u> Link ex Fr. (Fig. 12)</p>	<p>Mecanismo de liberación: pasivo</p> <p>Colonia efusa u ocasionalmente puntiforme, frecuentemente olivácea, algunas veces gris, ante, morena o morena negruzca oscura, aterciopelada, flocosa o velluda. Micelio inmerso y frecuentemente también superficial. Conidióforos distintos o no de las hifas somáticas, según las especies, generalmente no ramificados o con ramas restringidas a la región apical, formando una cabeza de</p>	<p>Se encuentra en el suelo, sobre vegetación, madera, troncos y hojas muertas. En alimentos, pinturas, textiles, pastos, etc. Se ha aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón del medio día y en el de doble pico.</p>	<p>Comprende especies parásitas de diversas plantas, así como causantes de alergias respiratorias en humanos y posiblemente en animales.</p>

Tabla 10 (continuación)

<p><i>Epilicium mucronatum</i> Ehrenb. ex Schiecht (Fig. 13)</p>	<p>color café olivo o café, lisos o verrugosos; conidios secos, holoblasticos en cadenas con sucesión acrópeta, generalmente unicelulares, aunque también se forman los ramoconidios, con uno o dos septos; ambos tipos de conidios presentan cicatrices polares que aparecen como anillos oscuros en vista frontal y como bandas oscuras en vista lateral. Los conidios pueden ser cilíndricos, elipsoidales, fusiformes, ovoides esféricos o subsféricos, pálidos o de color café olivo oscuro o café, lisos, verrugosos o equinulados, de tamaño variable según la especie, de 3-4.5 µm de diámetro, o de 3.8-9 x 5.5-15 µm.</p>	<p>Mecanismo de liberación: pasivo</p>	<p>Frecuentemente se ha encontrado en partes muertas de numerosas plantas, en donde el hongo es considerado como invasor secundario de tejidos dañados; está presente en semillas, papel, textiles, insectos, piel y esputo de humanos. Se ha aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna, con máximos tanto en el patrón después del amanecer, como en el de doble pico.</p>	<p>Fitopatígeno; por ejemplo, causante del manchado de las hojas de la uva.</p>
--	---	--	--	---	---

Tabla 10 (continuación)

	<p>protuberante, al separarse; la pared de los conidios es de color café oscuro, verrugosa, dificultando la apreciación de los septos que dividen a los conidios en varias direcciones, por lo que llegan a tener más de 15 células.</p> <p>Mecanismo de liberación: activo, con requerimiento de agua. Ocurre mediante el redondeamiento de las células turgentes (una en la base del conidio y otra correspondiente a la sustentante de dicho conidio) lo que ocasiona la descarga.</p>			
<p><u>Monilia sitophila</u> (Fig. 14)</p>	<p>Colonia inicialmente blanca, después anaranjada a rosada. Las hifas aéreas forman una masa de micelio reconocida por las masas rosadas de conidios, éstos son secos, ovales, holoblasticos (blastosporas), de 1-2 μm, producidos en sucesión acrópeta y originados en cadenas sobre conidióforos ramificados.</p> <p>Mecanismo de liberación: pasivo</p>	<p>Se encuentra sobre suelo y vegetación, y sustratos alimenticios, sobre todo los amiláceos. Aislado muy frecuentemente del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna.</p>	<p>Contaminante de sustratos amiláceos (pan y masa para pan), medios de cultivo y cultivos microbianos en laboratorios. Se ha reportado como alergeno.</p>
<p><u>Panellomyces variolii</u> Bain (Fig. 15)</p>	<p>Colonias extendidas ampliamente, pulverulentas, oliváceas, oscureciendo al envejecer. Conidióforos repetidamente verticilados, con filíides delgadas en forma de frasco; conidios secos, hialinos a amarillos, elipsoidales, muy desiguales en tamaño dentro de la misma colonia, de 3.2-5.0 X</p>	<p>Saprobio del suelo. Aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna.</p>	<p>Aislado de una infección generalizada de un perro, y rara vez del hombre, en casos de endocarditis e infección del saco lagrimal.</p>

Tabla 10 (continuación)

	<p>2.0-4.0 μm (hasta 5 x 15 μm). Clamidosporas usualmente presentes.</p>			
<p><u>Penicillium</u> Link ex Fr. (Fig. 16)</p>	<p>Mecanismo de liberación: pasivo</p> <p>Colonia y textura muy variables dependiendo de la especie, generalmente aterciopelada y de colores verdes y azul verdes. Conidióforos con un cierto patrón de ramificación; dependiendo de las especies, con ramas, mótulas y filíides, estas últimas con cadenas de conidios. La morfología de los conidióforos es importante para diferenciar las especies; se considera principalmente si los conidióforos son mono, bi, o poliverticilados y si la ramificación es simétrica o asimétrica, entre otras características. Conidios secos tipo filiosporas, producidos blásticamente en sucesión basípeta, esféricos, unicelulares, variables en color, lisos, rugosos, verrugosos o equinulados, fluctuando, según la especie, entre 2.0-3.0 μm, 3.0-3.5 μm, 4.5-5.5 μm, y 5-8 x 4-6 μm, aproximadamente.</p> <p>Mecanismo de liberación: pasivo</p>	<p>Abundantes en el suelo, en la vegetación y en una gran variedad de sustratos. Se ha aislado del aire. Cosmopolite.</p>	<p>Diurna, con máximos en el patrón del medio día.</p>	<p>Biodegradadoras de muy diversos sustratos, incluyendo granos y semillas almacenados; algunas especies causan la pudrición suave de frutos cítricos, otras producen diversas micotoxinas que afectan la salud de los consumidores de alimentos contaminados. Hay especies patógenas de animales y de humanos, en los que causan la enfermedad conocida como penicilosis, que es una micosis oportunista, inicialmente pulmonar pero se vuelve sistémica. Algunas especies causan alergia (asma y "pulmón del granjero").</p>

Tabla 10 (continuación)

<p><i>Stachybotrys chartarum</i> Corda (Fig. 17)</p>	<p>Colonia efusa, usualmente negra o verde negruzca. Micelio superficial o imerso. Conidióforos ramificados o no, rectos o flexibles, menos coloreados o de color gris, café, café-oliváceo o negro, lisos o verrugosos, algunas veces cubiertos en parte de gránulos oscuros sosteniendo en el ápice una corona de filoides; conidios unicelulares de 7-12 X 4,5 µm, agregados en cabezas grandes, viscosas, frecuentemente negros y brillantes, acrógenos, cilíndricos u oblongos, curvos o redondeados en un extremo o en ambos, elipsoidales, reniformes o subsféricos, grises verdosos, morenos, moreno-negruzcos o negros, lisos o verrugosos, algunas veces cubiertos con gránulos negros, y estrias longitudinales.</p>	<p>Sapróbico en vegetación y madera muerta. Contaminante de paja. Ha sido aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna.</p>	<p>Causante de estibotriotoxicosis en el hombre, y en animales como caballos y cerdos. La intoxicación se adquiere por la piel o por inhalación de esporas y micelio. La toxina puede ser absorbida a través de la piel, de la boca, del estómago y del aparato respiratorio.</p>
<p><i>Mucor</i> Mich. ex St. Am (Fig. 18)</p>	<p>Se caracteriza por tener esporas en esporangios con columela bien desarrollada. Colonias de crecimiento muy rápido, y frecuentemente de varios cm de alto, blancas a amarillentas, que por último llegan a ser de color gris oscuro por el desarrollo de esporangios. Hifas sumergidas, que pueden formar células levaduriformes. Esporangióforos formando una malla densa, erecta, ramificada ± simpodialmente, o algunas</p>	<p>Se ha encontrado en muchas zonas climáticas, sobre suelos forestales, cultivados, vegetación, basura urbana, etc. Se ha aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna.</p>	<p>Varias especies son causantes de micormicosis, siendo la rinocerebral el tipo más frecuente, la cual se inicia con una infección paranasal de donde se disemina a los arcos orbitales y meninges, pasando después al pulmón y causando la muerte. También algunas</p>

Tabla 10 (continuación)

	<p>veces racemosamente, sosteniendo al esporangio terminal sin apófisis, con muchas esporas y con una larga columela; la pared del esporangio es dellicuescente, o persistente (y sólo rompiéndose al madurar), frecuentemente cubierta con espinas de oxalato de calcio; esporangiosporas embebidas en mucílago, hialinas, grises a morenas, de paredes lisas o finamente ornamentadas, globosas a elipsoidales, variando en tamaño según las especies; las esféricas entre 3.7-7 μm, las elipsoidales entre 5.5-8 X 3-4 μm, 7-12 X 4-6 μm y 5.5-17.5 X 3.5-12.5 μm aproximadamente.</p>		<p>Fitopatógenas, que causan, por ejemplo, la pudrición suave de las raíces del camote.</p>
<p>Rhizopus Ehrenb. (Figs. 19 - 20)</p>	<p>Mecanismo de liberación: pasivo</p> <p>Micelio con estolones dispuestos paralelamente a la superficie del sustrato, formando rizoides en ciertos sitios, lo que se introducen al medio pudiendo ser de medianos a grandes (de 1-4 mm o más de largo) o pequeños (de menos de 1 mm de largo). Los esporangióforos nacen arriba de los estolones, en los mismos sitios donde se originan, en sentido opuesto, los rizoides. Los esporangios presentan en la parte inferior una apófisis inconspicua y contienen numerosas eplanosporas secas.</p>	<p>Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, sobre todo en sustratos amiláceos o azucarados (frutas, raíces, tellos, panes, pastas, harinas, jaleas, etc.). Ha sido aislado del aire. Cosmopolita.</p>	<p>Diurna</p> <p>Contaminante de una gran variedad de alimentos. Ciertas especies producen la podredumbre húmeda del camote, la goma de las fresas y de la papa, y otras atacan manzanas, peras, ciruelas, etc.</p>

Tabla 10 (continuación)

esféricas o ligeramente ovales, con pared gruesa y de color oscuro, de un tamaño que fluctúa entre 4-6 (-8) X 4-5 (-7) μm , o de (4-) 9-10 (-15) X (4-) 7 (-10) μm . Al madurar las aplanosporas, la pared del esporangio se deshidrata, se torna muy frágil y se rompe con facilidad, dejando libres a las aplanosporas que son dispersadas en el aire.

Mecanismo de liberación: pasivo

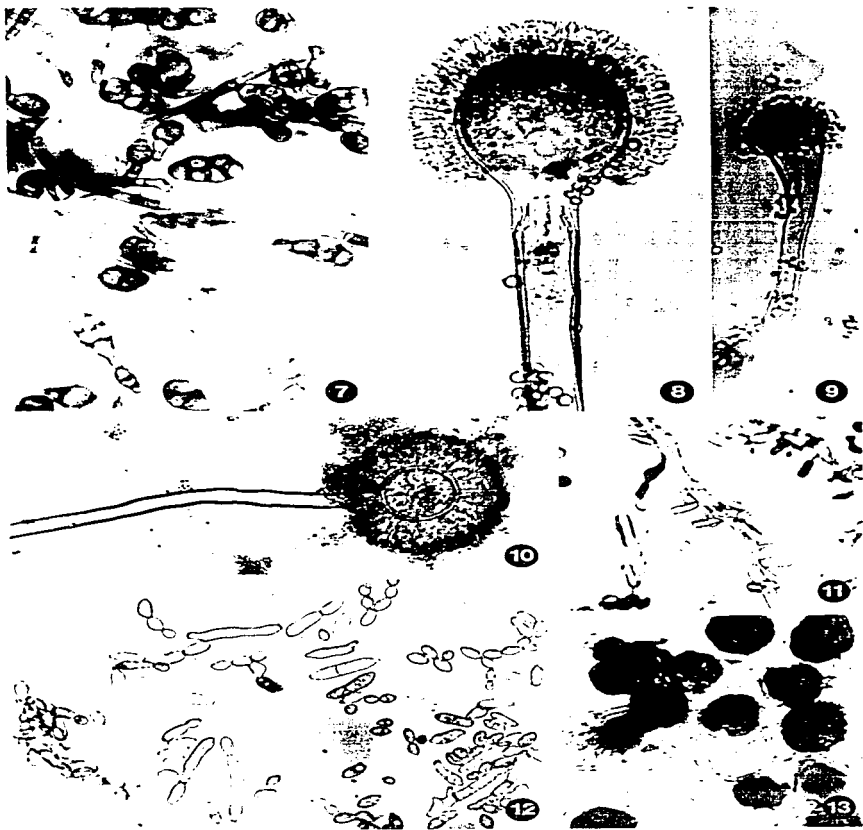
^a Ellis, 1971; Raper y Fennell, 1977; Domsch et al., 1980; Herrera y Ullas, 1988.

^b Ingold, 1971; Gregory, 1973; O'Donnell, 1979; Lacey, 1981.

^c Gregory, 1973; Edmonds, 1979; Lacey, 1981.

^d Emmons et al., 1970; Gregory, 1973; Edmonds, 1979; Lacey, 1981; Reynolds, 1982; Agrios, 1985; Chapman, 1986.

Fig. 7. Conidios de Alternaria sp., X 340. Fig. 8. Cabeza conidial biseriada de Aspergillus flavus, X 1000. Fig. 9. Cabeza conidial uniseriada de A. fumigatus, X 1000. Fig. 10. Cabeza conidial biseriada de A. niger, X 500. Fig. 11. Conidios de Aureobasidium sp., X 1000. Fig. 12. Conidios de Cladosporium sp., X 1000. Fig. 13. Conidios de Epicoccum purpurascens, X 1000.





14



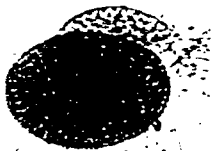
15



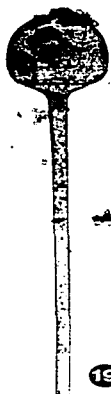
16



17



18



19



20

Tabla 11. Variación estacional de la aeromicobiota colectada

Aeromicobiota	Meses del año											
	E	F	M	A	M	J ^a	J	A	S	O	N	D
Hyphomycetes												
<u>Alternaria</u> spp.	*	*	*	*	*		*	*	*	*		
<u>Aspergillus flavus</u>	*	*	*	*	*						*	*
<u>A. fumigatus</u>	*	*	*	*								
<u>A. melleus</u>				*								
<u>A. niger</u>	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
<u>Aspergillus</u> spp	*	*		*	*		*	*	*	*	*	*
<u>Aureobasidium</u> sp.									*			
<u>Cladosporium</u> spp.	*	*	*		*		*	*	*	*		
<u>Epiconium purpurascens</u>	*	*	*	*				*	*	*	*	*
<u>Montilia strophila</u>	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*
<u>Paecilomyces variotii</u>	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*
<u>Penicillium</u> spp.	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
<u>Stachybotrys chartarum</u>								*				*
Zygomycetes												
<u>Mucor</u> sp.					*		*					
<u>Rhizopus</u> sp.	*	*	*	*	*		*	*	*			

^a No se hicieron muestreos.

Debido a causas ajenas a este trabajo, durante el mes de junio de 1986 no fue posible realizar muestreos.

En la tabla 2 (en introducción) se presenta el registro de las concentraciones máximas y mínimas de los hongos citados, y que son más comunes en la atmósfera, así como su presencia en diferentes regiones climáticas. Como puede observarse, los géneros Cladosporium, Alternaria, Penicillium, y aun los fragmentos hifales, presentan sus concentraciones mínimas en los meses más fríos, mientras que Aspergillus alcanza sus máximas concentraciones durante el otoño e invierno, y sus mínimas durante el verano. También se observa la gran diversidad de aparición que estos hongos presentan en las diferentes regiones climáticas del mundo.

Las concentraciones promedio mensuales, la mediana y las mínimas y máximas de la aeromicobiota durante la época de muestreo están registradas en la tabla 12. Las concentraciones más altas se alcanzaron durante los meses de diciembre, enero y mayo (976.5, 260 y 260.3 UFC m^{-3}) respectivamente, con un valor de la mediana muy cercano al promedio obtenido y con intervalos muy amplios (por ejemplo, para diciembre el intervalo fluctuó entre 492 y 1461 UFC m^{-3}). Con excepción del mes de abril, en el resto de los meses las concentraciones promedio registradas se presentaron entre 111.8 y 244.2 hongos m^{-3} de aire, con medianas también cercanas al valor promedio pero con intervalos más estrechos (por ejemplo, para el mes de marzo los intervalos fluctuaron entre 75 y 184 UFC m^{-3}).

En la tabla 13 se presentan las frecuencias relativas de aparición de la aeromicobiota colectada en cada etapa del muestreador Andersen. Los mayores porcentajes se obtuvieron en las etapas 1, 2 y 3, registrándose en esta última los valores más altos, y en las etapas 5 y 6 los más bajos, aunque dichos valores variaron para cada hongo.

La distribución promedio de las partículas viables (UFC m^{-3}), así como el número de géneros registrados en las diferentes etapas del muestreador Andersen, se muestran en la figura 21. Los mayores porcentajes de partículas viables se

Tabla 12. Concentraciones mensuales de la aeromicobiota durante la época de muestreo

Mes	Concentración de hongos (UFC m ⁻³)		
	Mediana	Promedio	Mfn-Máx.
Enero	174.0	260.0	95-597
Febrero	149.5	154.3	98-215
Marzo	94.0	111.8	75-184
Abril	47.0	53.8	14-106
Mayo	209.0	260.3	43-858
Junio ^a	-----	-----	-----
Julio	168.0	177.8	118-257
Agosto	131.5	134.2	34-242
Septiembre	177.0	244.2	12-517
Octubre	110.0	163.0	58-555
Noviembre	177.5	221.3	71-459
Diciembre	976.5	976.5	492-1 461

^a No se hicieron muestreos.

Tabla 13. Frecuencia de aparición (%) de la aeromicrobiota colectada en cada etapa del muestreador Andersen

Hongos	tamaño en μm	Etapas del muestreador Andersen					
		1 (>7)	2 (4.7-7)	3 (3.3-4.7)	4 (2.1-3.3)	5 (1.1-2.1)	6 (0.6-1.1)
<u>Alternaria</u> spp.	26.6	23.3	16.6	13.3	0.0	6.6	
<u>Aspergillus flavus</u>	11.6	20.0	21.6	13.3	10.0	16.6	
<u>A. fumigatus</u>	0.0	3.3	5.0	1.6	0.0	3.3	
<u>A. melleus</u>	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	
<u>A. niger</u>	25.0	25.0	33.3	26.6	16.6	15.0	
<u>Aspergillus</u> spp.	15.0	11.6	18.3	21.0	3.3	8.3	
<u>Aureobasidium</u> sp.	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
<u>Cladosporium</u> spp.	10.0	21.6	30.0	25.0	0.0	0.0	
<u>Epicoccum purpurascens</u>	28.3	11.6	1.6	1.6	0.0	0.0	
<u>Monilia sitophila</u>	26.6	16.6	10.0	11.6	11.6	13.3	
<u>Mucor</u> sp.	5.0	5.0	3.3	0.0	0.0	0.0	
<u>Paecilomyces variotii</u>	3.3	0.0	6.6	1.6	0.0	0.0	
<u>Penicillium</u> spp.	63.3	66.6	73.0	71.6	10.0	10.0	
<u>Rhizopus</u> sp.	6.6	11.6	6.6	6.6	0.0	5.0	
<u>Stachybotrys chartarum</u>	1.6	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	

Partículas no respirables

Partículas respirables

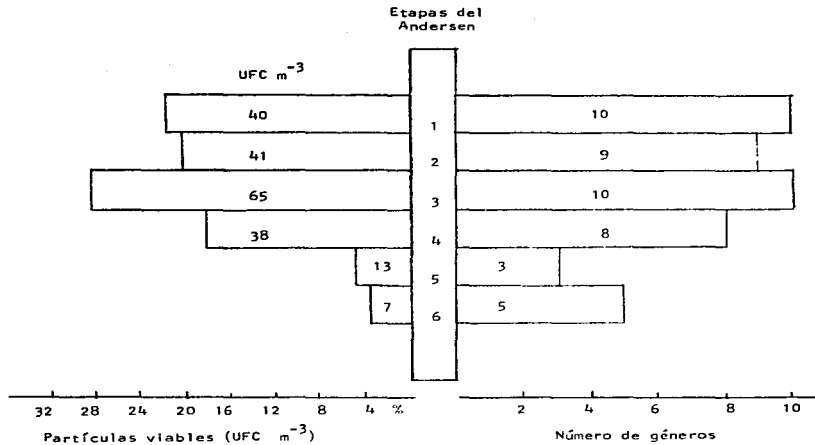


Fig. 21. Distribución de partículas viables promedio (hongos) y número de géneros registrados en las diferentes etapas del muestreador Andersen.

registraron en las etapas 1, 2 y 3, presentándose en esta última el valor más alto. Las etapas 5 y 6 tuvieron los porcentajes más bajos (4.8 y 4.5 respectivamente). La mayor concentración promedio de UFC m^{-3} de aire colectada se registró en la etapa 3, con un 26.8 de UFC m^{-3} ; los promedios menores se obtuvieron en las etapas 5 y 6, con 5.3 y 3.0 UFC m^{-3} respectivamente.

El mayor número de géneros colectados se registró en las etapas 1, 2 y 3, con 10, 9 y 10 géneros respectivamente, y el menor número en las etapas 5 y 6, con 3 y 5 géneros respectivamente.

En la figura 22 se presentan los registros de las concentraciones de hongos m^{-3} de aire obtenidas en cada uno de los muestreos, así como los valores de algunos parámetros meteorológicos, como velocidad del viento, temperatura ambiente, presión de vapor y precipitación pluvial, que fueron registrados para cada muestreo, tanto para la época de secas como para la de lluvias.

Al analizar la concentración de hongos aéreos se observa una ligera variación en la misma, aunque se presentaron dos picos, uno en el período de secas, con 1461 UFC m^{-3} , y otro en el de lluvias, con 858 UFC m^{-3} . El primero fue un evento caracterizado por presentar velocidad del viento de 1 $m\text{ seg}^{-1}$, temperatura ambiente de 19°C, presión de vapor de 10 mb, y ausencia de lluvias. El segundo evento presentó calma, 23.5°C, 13.9 mb, y 1.5 mm de lluvia. Debido a que el muestreador Andersen no se utiliza cuando llueve, no se realizaron muestreos en esas condiciones meteorológicas.

Los registros de los parámetros meteorológicos indicaron diferencias en la velocidad del viento en ambas épocas, alcanzando velocidades de hasta 8 $m\text{ seg}^{-1}$ en el período de secas, y no mayores de 3 $m\text{ seg}^{-1}$ en el de lluvias. La presión de vapor (9.6-16.7 mb) y la precipitación pluvial (0.2-14.2 mm), como era de esperarse, fueron mayores durante la época de lluvias; en la de secas los valores de la presión de vapor y de la precipitación fueron de 3.9 a 12.6 mb, y de 0.0 a 1.3 mm respectivamente. Con respecto a la

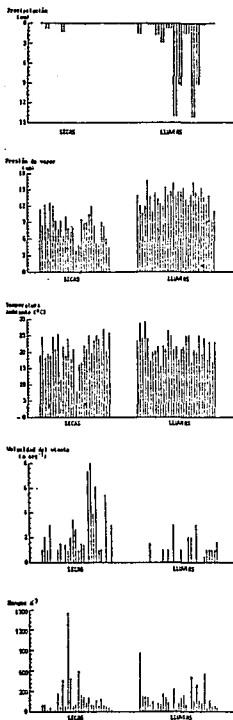


Fig. 22. Variación diaria de la concentración de hongos aéreos (UFC m^{-3}) y los parámetros meteorológicos prevalentes en cada muestreo.

temperatura ambiente, registrada siempre durante la mañana, no se apreciaron diferencias significativas al analizar las dos épocas muestreadas, fluctuando en la época de lluvias entre 16 y 29.2°C, y en la de secas entre 8.0 y 26.8°C.

La relación entre los hongos aéreos y los parámetros meteorológicos, como temperatura ambiente presión de vapor y velocidad del viento, prevaecientes durante las dos épocas de muestreo, se indican en la tabla 14. Además se incluye para cada variable su valor promedio, la desviación estándar, la mediana, la mínima y la máxima concentración es de UFC m⁻³, así como el valor de la correlación lineal a través del coeficiente de Pearson, que se presentó entre la concentración de hongos y cada uno de estos parámetros. El valor promedio de la concentración de hongos aéreos para el período de lluvias y para el de secas fueron similares (200 y 156 UFC m⁻³ respectivamente). Para el análisis estadístico no se incluyó el valor máximo de hongos registrado en la época de secas.

Con respecto a las correlaciones entre las concentraciones de hongos y cada parámetro meteorológico, se observa que en la época de lluvias fueron positivas, a pesar de no ser significativas, lo que indica que el número de hongos en el aire aumentó cuando la temperatura ambiente, la humedad y la velocidad del viento se incrementaron, a diferencia de lo registrado en la época de secas, en la que la humedad, y sobre todo la temperatura, se correlacionaron de forma negativa con las concentraciones de los hongos aéreos

En la figura 23 se muestra la dirección y velocidad del viento registradas, con su correspondiente concentración de hongos aéreos colectados, tanto en la época de secas como en la de lluvias. Así mismo se indica el viento predominante, tanto en dirección como en velocidad. Las concentraciones más altas de hongos se registraron con velocidades bajas de viento, las que fluctuaron entre 0 y 3 m seg⁻¹. La dirección del viento predominante se registró proveniente del este, con una frecuencia de 15.3%, seguida por los vientos del noroeste, con un 11.9%. Con respecto a las velocidades del viento, el mayor porcentaje fue registrado en el

Tabla 14. Relación entre los hongos aéreos y algunos parámetros meteorológicos prevalentes durante el tiempo de muestreo.

Hongos (UFC m ⁻³)	Lluvias				Secas			
	31 muestreos				27 muestreos			
	Ta (° C)	e (mb)	V (seg ⁻¹)		Hongos (UFC m ⁻³)	Ta (° C)	e (mb)	V (seg ⁻¹)
200	21.9	13.6	0.7	\bar{x}	156	20.9	8.4	2.06
178	3.4	1.7	0.9	SD	147	4.2	2.4	2.3
162	21.5	13.9	0.0	med.	100	21.0	8.4	1.4
12	16.0	9.6	0.0	mfn.	14	8.0	3.9	0.0
858	29.2	16.7	3.0	máx.	597	26.8	12.6	8.0
	0.04	0.10	0.14	r		*-0.59	- 0.31	0.04

Ta temperatura ambiente

e presión de vapor

V velocidad del viento

r coeficiente de correlación de Pearson (* p < 0.05)

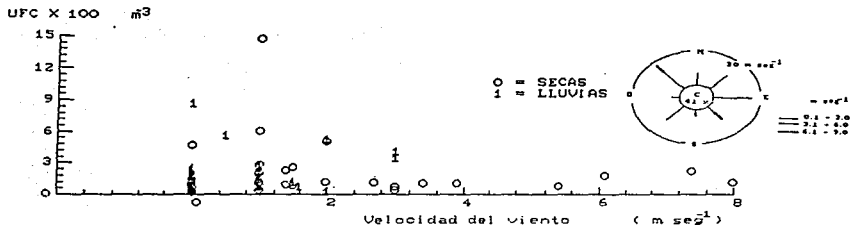


Fig. 23. Velocidad del viento con su correspondiente concentración de hongos aéreos colectados en secas y en lluvias (incluyendo la dirección y velocidad del viento predominante).

Intervalo de 0.1 a 3 m seg^{-1} , seguido por los estados de calma, con un 40.7%.

Las figuras 24 A y B muestran la incidencia de los índices de estratificación atmosférica, con sus correspondientes valores (promedio, mínimo y máximo) de hongos aéreos registrados durante la época de secas y la de lluvias, observándose que la mayoría de los muestreos se realizaron en condiciones de inestabilidad atmosférica en ambas épocas del año. Durante secas, la mayoría de los muestreos se realizó en Turner 2, es decir en condiciones moderadamente inestables. En la época de lluvias se registraron en igual número, tanto en Turner 2 como en Turner 4, con un valor promedio de 182 y 192 hongos aéreos por m^{-3} , respectivamente, y con picos de concentración de 555 UFC m^{-3} en Turner 2, y 517 UFC m^{-3} en Turner 4. El promedio más alto de hongos se registró en Turner 1 (280 m^{-3}), es decir en condiciones de gran inestabilidad.

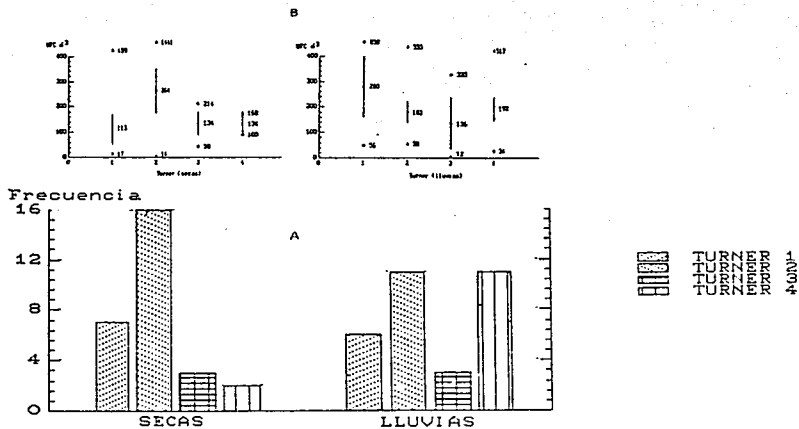


Fig. 24. A. Incidencia de las clases de estratificación atmosférica.
 B. Valores promedio de hongos registrados en lluvias y secas.

DISCUSIÓN

La caracterización aeromicológica se hace compleja debido al gran número de factores que afectan directa o indirectamente la presencia de los hongos en el aire (Hamilton, 1959; Gregory, 1973; Edmonds, 1979; Burge, 1986; Hurtado y Riegler-Goihman, 1986).

En la zona suburbana objeto del presente estudio, se aislaron del aire 11 géneros de hongos mesofílicos, cuya variación cualitativa y cuantitativa pudo depender de distintos factores, entre los que se encuentran: la biología de cada hongo, la cual determina en gran parte sus variaciones diurnas y estacionales; el tipo de sustrato o suelo de la zona muestreada; la altura en donde se realizaron los muestreos, y el efecto de los parámetros meteorológicos que afectan tanto el desarrollo y la producción y liberación de las esporas, como su dispersión en la atmósfera.

La periodicidad estacional es un factor que contribuye a la variación de los hongos en el aire durante todo el año (Rich y Waggoner, 1962; Jones y Cookson, 1983).

La capacidad que tienen los hongos colectados para introducirse en la atmósfera está influida por las diversas características morfológicas, el efecto de los cambios de temperatura y humedad sobre el desarrollo y producción de esporas según cada época del año; por ejemplo, el género Penicillium parece preferir las condiciones cálidas del verano, mientras que Aspergillus alcanza máximas concentraciones en el aire durante las temperaturas frías del invierno (Kramer et al., 1960) y el mecanismo de liberación de las esporas. Es necesaria la participación de algunos factores externos como el viento, las diferencias de temperatura y humedad, y la salpicadura de la lluvia (que perturbe el sustrato en donde se encuentran las esporas), además del paso de organismos que ocasionen movimiento y con ello provoquen que las esporas sean disgregadas y liberadas (como sucede en las

mucilaginosas) o liberadas directamente (en el caso de las esporas secas) para introducirse finalmente en la atmósfera, ayudadas también por la estratificación atmosférica (inestabilidad, condiciones neutras, o estabilidad), como lo corroboran las Investigaciones realizadas por Ingold (1971), Gregory (1973), Edmonds (1979) y Lacey (1981).

Los hongos aislados no presentaron una marcada variación estacional. Sin embargo, hay que hacer notar que este estudio es válido sólo desde el punto de vista cualitativo (aparición de nueve géneros en ambas épocas del año), porque no se conoce la concentración de cada género en particular, pues sólo se hizo la cuantificación de hongos totales por muestreo; además sólo se realizaron muestreos en dos horas diferentes del día (10 y 13 horas), en las cuales no hubo diferencias significativas en el tipo y concentración de los hongos colectados del aire, por lo que no se pueden detectar verdaderas variaciones diurnas y estacionales.

En el presente estudio se hallaron varios géneros de hongos (como Alternaria, Aspergillus, Cladosporium y Penicillium) durante todo el año, lo que coincidió con lo encontrado por otros autores, como Pady (1957), Kramer et al. (1960), Rich y Waggoner (1962), Davies et al. (1963), Goodman et al., (1966), De Lima y Gadelha (1973) y Jones y Cookson (1983), entre otros, aunque varios de ellos sí determinaron las concentraciones máximas y mínimas de los hongos en el aire. El registro de estos géneros en diferentes regiones climáticas del mundo ha sido reportado por más de 200 autores, cuyos resultados se han recopilado en The Times Atlas of the World Comprehensive Edition (anónimo, 1975).

La variación estacional de las concentraciones de hongos aéreos sólo puede dar idea de los meses en que posiblemente se encuentren más abundantemente dispersos en la atmósfera durante las mañanas (diciembre, enero y mayo) o menos (abril y marzo), tomando en cuenta que no se conoce con

exactitud el tipo de hongos (y por tanto su periodicidad diurna) responsables de esta variabilidad cuantitativa dentro de la atmósfera. Ni aun comparando las concentraciones promedio de hongos para la época de secas (156 UFC m⁻³) con las de la época de lluvias (200 UFC m⁻³) se puede observar alguna diferencia estacional durante el año de muestreo. Además, para determinar el número de hongos presentes en la atmósfera, incluso para las mañanas solamente, es necesario realizar un número mayor de muestreos, probablemente cada hora de la mañana, durante todos los días.

La zona de estudio presenta grandes extensiones de áreas verdes en donde el tipo de sustrato presente (suelo y vegetación) propicia un buen desarrollo de hongos, no así en los edificios o las vías de comunicación asfaltadas que también rodean dichas áreas, en donde posiblemente la presencia de esporas se deba principalmente al depósito o a un menor desarrollo de ellas en este tipo de sustratos.

Los propágulos fúngicos (esporas y/o fragmentos hifales capaces de germinar) aislados durante el tiempo de los muestreos, pueden tener un buen desarrollo en el área suburbana estudiada, sin descartar la posibilidad de que hallan sido acarreados por el viento de lugares más lejanos, tomando en cuenta la distribución y hábitat que los caracteriza, según estudios realizados por diversos autores, como González Ochoa y Orozco (1943), Pady (1957), Davies et al. (1963), Adams (1964), Goodman et al. (1966), Mallea et al. (1972) y Lacey (1981), entre otros.

La altura de muestreo a 10 m sobre el nivel del suelo fue otro factor importante; dicha altura fue seleccionada con el fin de coleccionar hongos que caracterizaran una área de mayores dimensiones que aquella muestreada cerca del suelo. Al analizar la influencia de los parámetros meteorológicos presentes durante los muestreos, se encontró que predominaron las calmas o vientos muy débiles (0.1-3.0 m seg⁻¹), lo que sugiere que los hongos aislados se habían

desarrollado o depositado localmente. El haber realizado los muestreos durante las mañanas propició que la mayoría de ellos se llevaran a cabo en condiciones de inestabilidad atmosférica, de tal forma que la turbulencia térmica producida por el calentamiento del suelo determinó un flujo vertical que transportó las partículas (incluyendo las viables), introduciéndolas y dispersándolas en la atmósfera; aun cuando hay poco calentamiento, como ocurre en condiciones neutras y sin viento (Turner, 1964), las partículas viables pueden ser transportadas verticalmente en la atmósfera.

El efecto de algunos parámetros meteorológicos sobre la dispersión de los hongos, así como su propia biología (reproducción, formación y liberación de esporas) constituye otro de los factores importantes que determinan su presencia en la atmósfera. Así, ambas circunstancias favorecen en mayor o menor grado la variación diurna y estacional de cada hongo.

La variación de temperatura y humedad, tanto en la época de lluvias como en la de secas, influye en el desarrollo y producción de los hongos, sumándose también el viento que ayuda a la liberación e introducción de los mismos en la atmósfera. Por ello, aunque las correlaciones de las concentraciones de hongos con estos patrones ambientales, obtenidas en ambas épocas, resultan ser pequeñas, se ve cierta influencia de cada época sobre los hongos presentes en el aire. En la época de secas, a pesar de que las correlaciones fueron negativas, la temperatura ambiente registrada en promedio fue de 21° C, que resultó ser suficiente para que la mayoría de los muestreos quedaran incluidos en condiciones de inestabilidad atmosférica. Además, con la disminución de la humedad, las esporas (en este caso secas o mucilaginosas) probablemente quedan más expuestas (por mayor desecación) a que cualquier movimiento del sustrato en donde se encuentren, o que ligeras corrientes de viento (el cual fluctuó principalmente entre 0.5 y 4 m seg^{-1} , alcanzando hasta 8 m seg^{-1}) las liberen y diluyan aumentando su número en el aire (Ingold, 1971).

En la época de lluvias, la caída de las gotas de agua favorece la presencia de cierto tipo de hongos en la atmósfera, y disminuye la frecuencia de otros. Hongos como Alternaria y Cladosporium se incrementan en el aire cuando empiezan a caer las gotas de lluvia sobre la vegetación seca, golpeándola y levantando las esporas para introducirlas en el aire; sin embargo, cuando la lluvia aumenta, estos hongos son desplazados por otro tipo, principalmente por los que tienen ascosporas (Lacey, 1981). La humedad en esta época favorece el desarrollo de muchos hongos (Burge, 1986), los cuales antes o después de la lluvia pueden introducirse en la atmósfera ayudados por vientos ligeros (la velocidad del viento más alta registrada durante los muestreos de esta época fue de 3 m seg^{-1}) o por la turbulencia térmica causada por las condiciones de inestabilidad atmosférica que también prevalecieron durante la mayoría de los muestreos.

Es necesario considerar también la periodicidad de cada uno de los hongos colectados, ya que producen y liberan sus esporas siguiendo diferentes ciclos y presentando por ello distintos patrones de periodicidad diurna. Algunos de los hongos colectados en este trabajo coinciden con los encontrados por algunos otros autores; por ejemplo, Cladosporium y Alternaria han sido registrados en el patrón del medio día y en el de doble pico (Pathak y Pady, 1965; Rich y Waggoner, 1962; Adams, 1964). Además, también fueron reportados con un pico en la noche por Panzer *et al.* (1957). Algunos hongos, como Aspergillus y Penicillium, se han reportado con picos en el patrón del medio día (Maille *et al.* 1972; Gregory, 1973). Epicoccum se ha encontrado con máximos a medio día (Adams, 1964) y en el patrón de antes del amanecer. Todos estos géneros se encuentran citados con estos mismos patrones en más de 10 trabajos recopilados por Lacey (1981).

A pesar de conocer algunos de los patrones de periodicidad que caracterizan a ciertos géneros colectados en el presente trabajo, no es posible determinar

alguna periodicidad debido a que sólo se realizaron muestreos a dos horas diferentes del día, y a que no se determinó la concentración de cada género por separado. Por ello solamente se pueden registrar como presentes durante el día. Las concentraciones pico obtenidas, que se salen del común, pueden deberse al tipo de hongos presentes durante el muestreo y a las condiciones ambientales prevalentes.

La distribución de las partículas viables de hongos en las distintas etapas del muestreador Andersen permite conocer cualitativa y cuantitativamente los hongos que penetran a distintos niveles en el sistema respiratorio humano, lo cual es importante desde el punto de vista de salud pública. En las primeras etapas se impactaron esporas grandes y pequeñas, las cuales pueden entrar al muestreador como partículas viables individuales (principalmente las grandes), asociadas unas con otras o unidas a otras partículas (principalmente las esporas pequeñas). Entre las esporas de mayor tamaño se colectaron las de Alternaria (que en algunas especies miden $18-63 \times 7-18 \mu\text{m}$), Epicoccum ($15-25 \mu\text{m}$) y Rhizopus ($4-15 \times 10-25 \mu\text{m}$), entre otras. Con esporas más pequeñas se aislaron Aspergillus ($2.5-3.0 \mu\text{m}$ para A. fumigatus, $2.8-3.5 \mu\text{m}$ para A. niger, $4.0-5.0 \mu\text{m}$ para A. niger) y Penicillium (cuyas esporas pueden fluctuar entre $2.0-3.0 \mu\text{m}$, hasta más grandes y largas, $5.0-8.0 \times 4.0-6.0 \mu\text{m}$, según las especies).

En las etapas que corresponde a las fracciones no respirables se obtuvieron valores más altos de frecuencia de aparición, % de partículas viables y promedio de concentración de hongos; estas etapas corresponden a los niveles de fosas nasales y faringe, por lo cual el organismo tiene grandes posibilidades de impedir la penetración de dichas partículas mediante mecanismos de defensa tales como estornudos, moco, flemas, etc. No así con las partículas viables que logran penetrar a los niveles de tráquea, bronquios primarios, secundarios, terminales y alvéolos, que corresponden a la fracción respirable en el muestreador Andersen, en sus etapas 3 a 6.

Los valores más altos en cuanto al número de géneros colectados y a la concentración promedio de UFC m^{-3} se obtuvieron en la etapa 3, lo cual es importante desde el punto de vista médico ya que la mayoría de hongos aislados en esta etapa son citados en la literatura como causantes de alergias o de enfermedades sistémicas (Raper y Fennel, 1977; Alexopoulos y Mims, 1979; Domsch et al., 1980; Pitt, 1985; Herrera y Ulloa, 1988), como son Aspergillus fumigatus, A. flavus, A. niger y Monilia sitophila.

De los hongos que sólo fueron identificados hasta género, como Alternaria, Cladosporium, Penicillium, Rhizopus y Mucor, entre otros, no puede asegurarse que posean un carácter alergeno, patógeno o fitopatógeno. Algunas especies de estos géneros han sido reportadas como causantes de enfermedades en plantas, en animales y en el hombre.

Es necesario hacer mención de que, con la metodología empleada en el presente estudio, no fue posible coleccionar y detectar todos los tipos de esporas o propágulos fúngicos que podrían haber estado presentes en la atmósfera. Las principales limitaciones fueron el método de muestreo, el medio de cultivo y la temperatura de incubación. Además, muchos de los hongos patógenos de plantas, animales y humanos sólo pueden ser aislados y cultivados cuando se utiliza una mayor diversidad de métodos, medios y temperaturas de incubación; aún más, para el caso de los parásitos obligados (como las royas y mildiús, por ejemplo) se requeriría de organismos hospedantes vivos para el desarrollo de los mismos. Por ello, la variedad de especies de hongos obtenidos del aire, objeto de este trabajo, sólo representa una parte de la aeromicobiota.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CONCLUSIONES

- Los hongos colectados en muestras de aire son cosmopolitas
- Se puso de manifiesto que la turbulencia térmica fue posiblemente el principal factor para la introducción de esporas en el aire, por lo que se atribuye un origen local a las esporas colectadas, tomando en cuenta que éstas también pudieron ser acarreadas de otros lugares y depositadas en la zona de muestreo.
- La mayor parte de los hongos se colectaron en la fracción no respirable y en la primera etapa de la fracción respirable, del muestreador Andersen. En las últimas etapas de la fracción respirable, se aislaron (aunque en bajas concentraciones) especies registradas en la bibliografía como alergenas y/o patógenas.
- No hubo diferencias significativas respecto al tipo y al número de UFC m^{-3} colectadas a las 10 y 13 horas, debido principalmente a las condiciones de inestabilidad que predominaron en ambas horas del día durante la mayor parte de los muestreos.
- La cuantificación total de UFC m^{-3} de aire sólo puede dar una idea del número de hongos presentes en el aire durante las mañanas en la zona suburbana muestreada.
- No hubo diferencias significativas entre la época de secas y la de lluvias debido a la hora del muestreo y a que éstos nunca se realizaron cuando llovía.

RECOMENDACIONES

- Es necesario identificar los hongos hasta nivel de especie para conocer sus características más detalladamente.
- Hacer cuantificaciones no sólo totales de los hongos colectados, sino de cada uno en particular para conocer mejor su comportamiento y variaciones espacio temporales en la atmósfera.
- Realizar muestreos durante las distintas condiciones de estabilidad atmosférica, es decir a diferentes horas del día, con el fin de conocer la variación diurna de los hongos y la influencia de las condiciones meteorológicas sobre el desarrollo, producción y liberación de las esporas.
- De ser posible utilizar diferentes medios de cultivo y condiciones de incubación con el fin de ampliar la variedad de especies aisladas.

LITERATURA CITADA

- Adams, K. F. 1964. Year to year variations in the fungus spore content of the atmosphere. Acta Allergol. 19: 11-50.
- Agashe, S. N. y Chatterjee, M. 1987. Aircraft sampling of the upper airspore. En: Advances in Aerobiology. Birkhauser Verlag, Basel, 1987, pp. 411-414.
- Agrios, N. 1985. Fitopatología. Limusa, México, 754 pp.
- Alexopoulos, C. J. y C. W. Mims. 1979. Introductory Mycology. 3^a ed. Jhon Wiley & Sons, Nueva York, 632 pp.
- All, M. I., Salama, A. M. y Ali, J. M. 1976. Possible role of solar radiation on the viability of some air fungi in Egypt. Zentralbl. Bakteriell. Parasitenkd., Infektionskr. Hyg., Abt. 2-31: 529-534.
- Andersen Sampler, Inc., 1984. Operating Manual for Andersen Sampler. Atlanta, 24 pp.
- Anderson, J. D. y Cox, C. S. 1967. Microbial Survival. En: Airborne Microbes. Society for General Microbiology, Londres, 385 pp.
- Anónimo, 1975. The Times Atlas of the World Comprehensive Edition, 5a ed. Times Books, Londres.
- Auger-Barreau, R. 1971. Constituants microbiologiques e l'atmosphère pollution fongique de l'atmosphère Bordelaise. Pollution Atmospherique 52: 293-300.
- Aylor, E. D. 1986. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. Agr. and Forest Meteorol. 38: 263-288.
- Barnett, H. L. y Hunter, B. B. 1972. Illustrated Genera of the Fungi Imperfecti, 3a. ed. Burgess Publ. Co. Mineápolis, 241 pp.
- Barron, G. L. 1968. The Genera of Hyphomycetes from Soil. Williams & Wilkins Co., Baltimore, 364 pp.
- Bravo, A. H., Perrin, G. F., Sosa, E. R. y Torres, J. R. 1988. Incremento de la contaminación atmosférica por ozono en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Ing. Amb. 1: 8-14.
- Bruck, C. W. 1967. Microbes in the upper atmosphere and beyond. Symp. Soc. Gen. Microbiol. 17: 345-374.
- Budd, W. 1986. Allergens of Alternaria. Grana 25: 147-154.
- Burge, H. 1986. Some comments on the aerobiology of fungus spores. Grana 25: 143-146.
- Burge, H., Jelks, L. y Chapman, A. 1986. Quality control of multisource aeroallergen data. Grana 25: 247-250.
- Chapman, A. J. 1986. Aeroallergens of southeastern Missouri, U. S. A. Grana 25: 235-246.

- Clark, C. S. Rylander, R. y Larsson, L. 1983. Levels of Gram-negative bacteria, Aspergillus fumigatus, dust, and endotoxin at compost plants. Appl. and Environ. Microbiol. 45: 1501-1505.
- Davies, R. R. 1957. A study of air-borne Cladosporium. Trans. Br. Mycol. Soc. 40: 409-414.
- Davies, R. R. 1969. Climate and topography in relation to aeroallergen at Davos and London. Acta Allergol. 24: 396-409.
- Davies, R. R., Denny, M. y Newton, L. 1963. A comparison between the summer and autumn air-spores at London and Liverpool. Acta Allergol. 28: 131-247.
- De Groot, R. C. 1968. Diurnal cycles of airborne spores produced by forest fungi. Phytopathology 58: 1223-1229.
- De Lima, J. A. y Gadelha, W. 1973. Contaminación de hongos del aire atmosférico en la Ciudad de Recife (Pernambuco-Brasil). Rev. Lat-amer. Microbiol. 25: 243-251.
- Diego, P. 1970. Contribución a la flora silvestre de los alrededores del Jardín Botánico de la UNAM. Tesis de Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM, México, 189 pp.
- Domsch, K. H., Gams, W. y Anderson, T. H. 1980. Compendium of Soil Fungi. Academic Press, Londres, 859 pp.
- Edmonds, R. 1979. Aerobiology, The Ecological System Approach, Dowden, Hutchinson and Ross, Pensilvania, 386 pp.
- Ellis, M. B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Mycol. Inst., Kew, Surrey, 608 pp.
- Emmons, Ch., Binford, Ch. y Utz, J. 1970. Medical Mycology. 2a. ed. Lea and Febiger, Filadelfia, 508 pp.
- Eversmeyer, G. M. y Kramer, L. Ch. 1987. Short Communication. Single versus multiple sampler comparisons. Grana 26: 109-112.
- Fulton, J. D. 1966. Microorganisms of the upper atmosphere. III. Relationship between altitude and micropopulation. Appl. Microbiol. 14: 237-240.
- Frankland, A. W. y Gregory, P. H. 1973. Allergenic and agricultural implications of airborne ascospore concentrations from a fungus Dicymella exitialis. Nature 245: 336-337.
- González-Ochoa, A. y Orozco, C. 1943. Los hongos del aire de la Ciudad de México y su relación con los factores atmosféricos. Rev. Inst. Salub. y Enferm. Trop. 4: 259-265.
- Goodman, D. H., Northey, W. T., Leathers, C. R. y Savage, T. H. 1966. A study of airborne fungi in the Phoenix Arizona metropolitan area. J. Allergy 38: 56-62.

- Gregory, P. H. 1973. Microbiology of the Atmosphere. Leonard Hill, Londres, 377 pp.
- Gregory, P. H. y Hirst, J. M. 1957. The summer air-spore at Rothamsted in 1952. J. Gen. Microbiol. **12**: 135-152.
- Gregory, P. H. y Sreeramulu, T. 1958. Air spora of an estuary. Trans. Br. Mycol. Soc. **41**: 145-156.
- Gutiérrez A., S. 1985. Análisis micológico del agua de lluvia y su relación con algunos parámetros meteorológicos. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, UNAM, México, 114 pp.
- Gwyn, E. 1965. Sporobolomyces as a cause of respiratory allergy. Acta Allergol. **20**: 197-205.
- Hamilton, E. D. 1959. Studies on the air spora. Acta Allergol. **13**: 143-175.
- Hammett, K. R. W. y Manners, J. G. 1971. Conidium liberation in Erysiphe graminis. I. Visual and statistical analysis of spore trap records. Trans. Br. Mycol. Soc. **56**: 387-401.
- Heise, H. A., y Heise, E. R. 1949. The influence of temperature variations and winds aloft on the distribution of pollens and molds in the upper atmosphere. J. Allergy **20**: 378-382.
- Herrera, T. y Ulloa, M. 1989. El reino de los hongos. Micología básica y aplicada. UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, 552 pp. (en prensa).
- Hirst, J. M. 1953. Changes in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. Trans. Br. Mycol. Soc. **36**: 375-393.
- Hulbert, J. 1973. The World's Weather. Pergamon Press, Nueva York, 96 pp.
- Hurtado, I. y Riegler-Gohman, M. 1986. Air-sampling studies in a tropical area. Grana **25**: 69-73
- Imshenetskiĭ, A. A., Lysenko, S., Kozlova, T. M. y Novichkova, A. T. 1983. Resistance of microorganisms from the mesosphere to periodic freezing and thawing. Mikrobiologiya **52**: 902-908.
- Imshenetskiĭ, A., Lysenko, S. y Detina, N. 1984a. Effect of drying out and low temperatures on mesosphere strains of Aspergillus niger and Penicillium chrysogenum. Mikrobiologiya **53**: 269-299.
- Imshenetskiĭ, A., Lysenko, S., Kozlova, T. y Demina, N. 1984b. Effect of dehydration on survival, morphology, and ultrastructure of the conidia of atmospheric and collection strains of Aspergillus niger and Penicillium chrysogenum. Mikrobiologiya **53**: 489-494.

- Ingold, C. T. 1964. Possible spore discharge mechanism in Pyricularia. Trans. Br. Mycol. Soc. 47: 573-575.
- Ingold, C. T. 1971. Fungal Spores, Their Liberation and Dispersal. Clarendon Press, Oxford, Gran Bretaña, 302 pp.
- Jacobs, W. C. 1939. A discussion of physical factors governing the distribution of microorganisms in the atmosphere. Jour. Mar. Res. 2: 219-224.
- Jáuregui, O. E. 1987. Climas. En: Garza, G. (Compilador), Atlas de la Ciudad de México. Publ. del Colegio de México, pp. 37-40.
- Jones, L. B. y Cookson, T. J. 1983. Natural atmospheric microbial condition in a typical suburban area. Appl. and Environ. Microbiol. 45: 919-934.
- Kramer, C. L., Pady, S. M. y Rogerson, C.T. 1959. Kansas aeromycology. III. Cladosporium. Trans. Kan. Acad. Sci. 62: 200-207.
- Kramer, C. L., Pady, S. M. y Rogerson, C. T. 1960. Kansas aeromycology. V: Penicillium and Aspergillus. Mycologia 52: 545-552.
- Kramer, C. L., Pady, S. M. y Wiley, B. 1963. Kansas aeromycology. XIII: diurnal studies 1959-1960. Mycologia 55: 381-401.
- Kramer, C. L., Pady, S. M. y Wiley, B. 1964. Kansas aeromycology. XIV: diurnal studies 1961-1962. Trans. Kan. Acad. Sci. 67: 442-459.
- Kramer, C. L. y Pady, S. M. 1968. Viability of airborne spores. Mycologia 60: 448-449.
- Lacey, M. E. 1962. The summer air spora of two contrasting adjacent rural sites. J. Gen. Microbiol. 29: 485-501.
- Lacey, J. 1972. Actinomycete and fungus spores in farm air. J. Agric. Sci. 1: 61-78.
- Lacey, J. 1975. Occupational and environmental factors in allergy. En: Ganderton, M. A. y Frankland, A. W. (eds.) Allergy 74. Pitman, Londres, pp. 303-319.
- Lacey, J. 1981. The aerobiology of conidial fungi. En: G. T. Cole y Kendrick, B. (eds.), Biology of Conidial Fungi, Academic Press, Nueva York, Cap. 13, pp. 373-415.
- López Martínez, R., García-Maynez, A. M., Casamitjana, M. y Ruiz Sánchez, D. 1983. Aislamiento de hongos productores de alergias en mercados de la Ciudad de México. Rev. Iberoam. Allergol. 30: 103.
- López Martínez, R., Ruiz Sánchez, D., Huerta, J. G., Esquenaze, A. y Alvarez, M. 1986. Variación estacional de hongos productores de alergias en el sur de la Ciudad de México. Allergol. et Immunopathol. 14: 43-48.

- Mallea, M., Murray, I. G., Segretain, G., Philopt, C. M., Charpin, H., Gueho, E. y Charpin, J. 1972. Census of Aspergillus colonies in the air, comparison between London, Paris, Lyon and Marseilles. Acta Allergol. 27: 273-278.
- McCracken, F. I. 1987. Observations on the spore release of Paxillus panuoides. Grana 26: 174-176.
- Maier, F. C. 1936. Collecting microorganisms from winds above the Caribbean Sea. Phytopathology 26: 102.
- Meredith, D. S. 1963. Violent spore release in some fungi imperfecti. Ann. Bot. 27: 39-47.
- Meredith, D. S. 1966. Spore dispersal in Alternaria porri (Ellis) Neerg. on onions in Nebraska. Ann. Appl. Biol. 57: 67-73.
- Moulton, S. (Ed.). 1942. Aerobiology. Amer. Assoc. Adv. Sci. No. 17, Washington, 289 pp.
- Niemela, S. I., Vaatanen, P., Mentu, J., Jokinen, A., Jappinen, P., y Sillanpaa, P. 1985. Microbial in upper respiratory tracts of workers in the paper industry. Appl. Environ. Microbiol. 50: 163-168.
- O'Donnell, K. L. 1979. Zygomycetes in Culture. Dept. of Botany, Univ. Georgia, Athens, 257 pp.
- Pady, S. M. 1957. Quantitative studies of fungus spores in the air. Mycologia 49: 389-353.
- Pady, S. M. y Kramer, L. C. 1960. Kansas aeromycology. VI. Hyphal fragments. Mycologia 52: 681-687.
- Pady, S. M., Kramer, C. L. y Willey, B. 1962. Kansas aeromycology. XII: materials methods and general results of diurnal studies, 1959-1960. Mycologia 54: 169-180.
- Pady, S. M. y Gregory, P. H. 1963. Number and viability of airborne hyphal fragments in England. Trans. Br. Mycol. Soc. 46: 609-613.
- Panzer, J. D., Tullis, E. C. y Van Arsdel, E. P. 1957. A simple 24-hour slide spore collector. Phytopathology 47: 512-514.
- Pasquill, F. 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. Meteorol. Mag. 90: 33-49.
- Pathak, V. K., y Pady, S. M. 1965. Numbers and viability of certain airborne fungus spores. Mycologia 57: 301-310.
- Pitt, J. 1985. A Laboratory Guide to Common Penicillium Species. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Research, Sidney, 182 pp.
- Raper, K. B. y Fennel, D. I. 1977. The Genus Aspergillus. Williams and Wilkins, Baltimore, 686 pp.

- Reynolds, Y. H., 1982. Hypersensitivity pneumonitis. Clin. In Chest Med. 3: 503-519.
- Rich, S. y Waggoner, P. 1962. Atmospheric concentration of Cladosporium spores. Science 137: 962-965.
- Rippon, J. W. 1982. Medical Mycology. The pathogenic fungi and the pathogenic Actinomycetes. 2^a. ed. W. B. Saunders Co., Filadelfia.
- Rosas, I., Calderón, C., Gutiérrez, S. y Mosiño, P. 1986. Airborne fungi isolated from rain water collected in Mexico City. Contam. Ambient. 2: 13-23.
- Sreeramulu, T. 1959. The diurnal and seasonal periodicity of spores of certain plant pathogens in the air. Trans. Br. Mycol. Soc. 42: 177-184.
- Sreeramulu, T. y Ramalingam, A. 1966. A two-year study of the air-borne spores of the paddy field near Visakhapatnam. Indian J. Agric. Sci. 26: 111-137.
- Turner, D. B. 1964. A diffusion model for an urban area. J. Appl. Met. 3: 83-91.
- Wright, T. J., Greehe, V. W. y Paulus, J. J. 1969. Viable microorganisms in an urban atmosphere. J. Air Poll. Contr. Assoc. 19: 337-341.
- Wiley, B., Herbert, R., Armstrong, J. y Kaplan, A. 1982. The aerobiology of an environmental test chamber. Mycologia 74: 886-893.
- Van Arsdel, P. E. 1967. The nocturnal diffusion and transport of spores. Phytopathology 57: 1221-1229.
- van der Plank, J. 1967. Spread of plant pathogens in space and time. En: Airborne Microbes, 17th Symposium of the General Microbiology Society, Imperial College, Londres, pp. 227-267.
- von Arx, J. 1981. The Genera of Fungi Sporulating in Pure Culture. 2a. ed. J. Cramer, Lehre, 315 pp.