

Aeromicología y salud humana

Aeromycology and human health

Lic. Kenia C. Sánchez Espinosa, MSc. Michel Almaguer Chávez

Departamento de Microbiología y Virología. Facultad de Biología. Universidad de La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: la aeromicología estudia la variación temporal y espacial del contenido fúngico de la atmósfera, así como la influencia de los factores meteorológicos sobre dichas variaciones. En países tropicales como Cuba, la elevada temperatura y la humedad relativa favorecen el crecimiento de los hongos, así como la formación y liberación de sus esporas, las cuales pueden afectar la salud humana.

Objetivo: destacar el impacto de los estudios aeromicológicos para la salud humana.

Métodos: se realizó una revisión de la literatura científica sobre aspectos generales de la aeromicología, las principales especies fúngicas presentes en ambientes exteriores e interiores, su impacto en la salud humana y las medidas para disminuir el riesgo de afectación a la salud por dichos hongos.

Resultados: se expone información actualizada y valiosa sobre la aeromicología, útil para la prevención de enfermedades ocasionadas por hongos presentes en el aire. Además se destacan los estudios realizados en Cuba hasta la actualidad.

Conclusiones: la determinación ambiental de propágulos fúngicos así como sus variaciones estacionales es un parámetro relevante a evaluar dentro de la salud preventiva.

Palabras clave: Aeromicología, salud, hongos anemófilos, hongos del aire.

ABSTRACT

Introduction: aeromycology studies the time and space variation of the air fungal content, as well as the influence of weather factors on these variations. In tropical countries like Cuba, high temperatures and relative humidity favor fungal growth and the formation and release of its spores, which can have an impact on human health.

Objective: to highlight the impact of Aeromycology in the human health.

Methods: Scientific literature addressing the general aspects of aeromycology, the main indoor and outdoor fungal species, their impact on human health and the actions aimed at decreasing the risk for human health was reviewed.

Results: updated and valuable information on aeromycology was presented which can be used to prevent diseases caused by airborne fungi. Additionally, this review highlighted the studies conducted in Cuba up to the present.

Conclusions: the environmental determination of fungal propagules and their seasonal variations is a relevant parameter to be evaluated in preventive health care systems.

Key words: aeromycology, health, anemophilus fungi, airborne fungi.

INTRODUCCIÓN

De todos los microorganismos presentes en el aire, los hongos constituyen el grupo más representativo. La aeromicología estudia la variación temporal y espacial del contenido fúngico atmosférico, así como la influencia de los factores que afectan dichas variaciones.¹ En países de clima tropical, como Cuba, las condiciones de temperatura y humedad relativa favorecen el crecimiento y la esporulación de estos microorganismos, por lo que sus esporas o fragmentos hifales pueden encontrarse en la atmósfera en elevadas concentraciones.² Estos altos niveles pueden constituir un riesgo para la salud humana, ya que pueden causar alergias, infecciones o intoxicaciones. Además afectan a cultivos de importancia económica y causan biodeterioro de materiales, lo cual puede propiciar problemas de salud al personal que laboran con estos.^{3,4} Los estudios aeromicológicos permiten la interpretación y prevención de varios problemas de salud causados por los hongos que se dispersan a través del ecosistema aéreo.⁵

En Cuba la mayoría de los estudios aeromicológicos han sido realizados en interiores, fundamentalmente relacionados con la conservación del patrimonio o la salud ocupacional.^{6,7} Los escasos trabajos de exteriores han sido llevados a cabo en zonas urbanas y enfocados hacia la salud humana.^{3,8-10}

Objetivo: destacar el impacto de los estudios aeromicológicos para la salud humana.

Generalidades de la Aeromicología

Hace más de doscientos años comenzaron los trabajos que propiciaron el surgimiento de la Aerobiología.¹¹ Sin embargo no fue hasta 1930 que surgió el término Aerobiología, por los aportes científicos de Fred C. Meier. Esta ciencia

incluyó los estudios sobre partículas biológicas que son transportadas pasivamente por el viento. Posteriormente Pathirane (1975) consideró el estudio de la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de polen, esporas y otros microorganismos aerovagantes.⁵ Actualmente se incluye también dentro de esta ciencia el estudio de las partículas y gases que pueden incidir sobre los organismos vivos. Atendiendo a la naturaleza de los bioaerosoles, se definen diferentes campos dentro de esta disciplina, siendo uno de ellos la Aeromicrobiología, que estudia los microorganismos transportados por el aire.¹²

Aunque la atmósfera no posee una microbiota autóctona, es un medio adecuado para la dispersión de muchos microorganismos.¹³ Los hongos representan uno de los grupos más diverso de los microorganismos de la atmósfera y alcanzan concentraciones elevadas en determinadas épocas del año.¹⁴ La rama de la Aeromicrobiología que estudia la variación temporal y espacial de esporas y propágulos fúngicos, así como la influencia de los factores que afectan dichas variaciones se le denomina Aeromicología.¹

En las dos últimas décadas se han publicado numerosos trabajos aeromicológicos sobre la dinámica y diversidad de las esporas fúngicas, principalmente en Europa y América.¹⁵⁻¹⁷ Otras investigaciones han tratado sobre los métodos de recolección o procesamiento de las muestras aeromicológicas, o sobre estudios de predicción.¹⁸ En los países del norte de África se ha estudiado principalmente la representatividad fúngica y sus oscilaciones a lo largo del año, relacionándola con las variables meteorológicas.^{19,20} En el continente asiático se han realizado estudios de diversidad fúngica y su influencia sobre las enfermedades alérgicas.^{21,22} Destacan también los trabajos realizados en Australia sobre el contenido fúngico atmosférico y la elaboración de calendarios de esporas.^{23,24}

Desde hace varios años existe una progresión constante en el desarrollo de la Aeromicología en países latinoamericanos, particularmente en Argentina,²⁵ Brasil²⁶ y México.¹⁶ En el área del Caribe destacan los estudios realizados en Barbados relacionados con la presencia de hongos aerotransportados con el polvo africano que cruza el Atlántico,²⁷ y los realizados en Puerto Rico afines a la prevalencia de enfermedades alérgicas.^{28,29}

Las investigaciones que estudian la micobiota atmosférica en zonas tropicales, especialmente en el Caribe, son escasas en comparación con las realizadas en países de clima templado. Sin embargo, en Cuba se han realizado varios estudios aeromicológicos, principalmente en ambientes interiores de bibliotecas, archivos, museos, edificios históricos, viviendas, oficinas y locales de almacenamiento.^{2,3,6} Los primeros trabajos de micología ambiental en exteriores se realizaron hace más de 50 años, orientados fundamentalmente a la identificación de hongos con potencialidades alergénicas.^{8,9} Sobresalen también algunos trabajos taxonómicos llevados a cabo en La Habana.^{30,2} Otros estudios realizados en Santa Clara identificaron gran cantidad de esporas mediante la utilización de portaobjetos con una sustancia adhesiva.¹⁰

Recientemente se ha introducido una nueva metodología volumétrica que permitió un monitoreo continuo en La Habana, combinado con una metodología volumétrica de viables.³¹ Esta investigación ha corroborado la prevalencia de *Cladosporium* en La Habana, así como la presencia de 30 géneros y 5 tipos esporales, de las cuales destaca la abundancia de esporas con potencialidades alergénicas como las basidiosporas de *Coprinus* y *Ganoderma*.^{32,33}

Características generales de los hongos

Los hongos constituyen un grupo heterogéneo de organismos, eucariotas. Poseen pared celular y varios de sus componentes pueden ser alergénicos. Son heterótrofos y muchos son saprófitos o parásitos de plantas y animales. Su reproducción se realiza por fragmentación de las hifas o por medio de esporas (asexuales o sexuales). Además son cosmopolitas, aunque prevalecen en zonas húmedas.³⁴

Los hongos pueden crecer sobre varios sustratos y su desarrollo está relacionado con las condiciones de temperatura, humedad, iluminación, ventilación, disponibilidad de nutrientes, pH y contaminación atmosférica.³⁵

La temperatura es un factor esencial en el desarrollo fúngico. En este sentido Almaguer *et al.*, 2013 comprobaron que para cepas de *Bipolaris* y *Curvularia*, aisladas del aire de un arrozal cubano, las temperaturas entre 20-35 °C favorecieron el crecimiento vegetativo y la germinación de los conidios.³⁶ Temperaturas que prevalecen gran parte del año en nuestro clima tropical. La humedad relativa también influye sobre la fisiología de los hongos. Valores del 70-80 % favorecen la liberación de muchas esporas fúngicas, aunque algunas especies de *Aspergillus* y *Cladosporium* no requieren valores tan elevados.^{2,14}

Debido a su versatilidad fisiológica los hongos pueden utilizarse en varios procesos industriales. Sin embargo, pueden ejercer un impacto negativo en la agricultura, la salud humana y animal, así como contribuir al biodeterioro.^{6,7} Un gran número de especies de hongos causan micosis, y otra gran parte es reportada como patógenos de plantas.^{37,38} Algunos hongos pueden ser patógenos humanos oportunistas ya que se comportan como saprófitos y ante determinadas condiciones que les ofrece el hospedero, al disminuir su capacidad defensiva, pueden colonizar, infectar y producir enfermedad. Los hongos patógenos tienen varios factores de virulencia, los cuales le permiten adherirse, penetrar e interferir con las funciones celulares de su hospedero, determinando así el potencial y la magnitud de la infección.^{39,40}

Dinámica fúngica en el aire exterior

La mayoría de los hongos que presentan estructuras de reproducción externas, utilizan las corrientes de aire para la liberación y dispersión de sus esporas.⁵ Varios estudios muestran el comportamiento de las esporas fúngicas en el ambiente exterior, en los cuales se describen diferencias en el comportamiento estacional para los distintos géneros, relacionadas con los factores ambientales característicos de cada región.^{15,36} Se ha planteado que la concentración fúngica atmosférica tiende a ser mayor en regiones templadas y tropicales que en latitudes altas y desiertos, donde la colonización fúngica está limitada por las condiciones climáticas adversas.⁴¹ La concentración de esporas en el aire puede variar dependiendo del tipo de vegetación, el microambiente local y la actividad humana entre menos de 200 a más de 2 millones/m³.⁴²

En países de clima tropical durante la mayor parte de año la temperatura varía entre 25 °C y 30 °C, y la humedad relativa se mantiene por encima del 70 %. Estas condiciones favorecen el desarrollo fúngico y la formación y liberación de esporas.²⁸

Numerosos autores han demostrado que los géneros *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* son los más comunes, y su concentración en el aire varía dependiendo de factores biológicos (el ritmo de esporulación diario y la disponibilidad del sustrato para el desarrollo del micelio), climáticos (temperatura, humedad y

precipitación) o físicos (movimiento de la atmósfera, turbulencia y calentamiento).³⁵ Las esporas de *Cladosporium* son las más abundantes en el exterior de la mayoría de las latitudes y en latitudes bajas de clima tropical, tienden a aparecer fuera del período estival.^{15,43}

Las esporas de *Aspergillus* y *Penicillium* están ampliamente representadas en el aire.⁴⁴ *Aspergillus* libera grandes cantidades de conidios al aire a partir de los conidióforos que se proyectan desde el micelio y debido a su pequeño tamaño pueden permanecer en suspensión en el ambiente durante un largo período de tiempo, aumentando la probabilidad de ser inhalados.^{2,45}

En áreas tropicales, el género *Curvularia* contribuye notablemente a los valores de concentración de esporas del aire con máximos entre 4000–9000 esporas/m³, mientras que los conidios de *Alternaria*, aparecen en concentraciones medias diarias que pueden llegar hasta 150 esporas/m³.⁴⁶

La mayoría de los estudios de hongos del aire en todo el mundo han sido realizados mayoritariamente en áreas urbanas.⁴⁷ Sin embargo, en las zonas agrícolas suelen detectarse mayores concentraciones de propágulos fúngicos debido a la abundante vegetación y materia orgánica en descomposición y la propia actividad agrícola.¹³

Dinámica fúngica del aire interior de locales

El aire del interior de locales no está libre de propágulos fúngicos, ya que incluso en los ambientes limpios se registran concentraciones de esporas de 25 esporas/m³. Dichas esporas provienen del exterior y penetran a través de los sistemas de ventilación o son liberados por los hongos que crecen *in situ* sobre diversos sustratos.⁴⁸ Aunque no existe una norma internacional que indique cuando un ambiente está contaminado o no, algunos autores sugieren que un ambiente puede considerarse contaminado si tiene más de 1000 esporas/m³.⁴⁹

Los géneros fúngicos más abundantes en ambientes interiores son *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium*. No obstante existen reportes de otros géneros fúngicos como *Curvularia*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Acremonium* y *Epicoccum*.^{3,50} El predominio de uno u otro está dado por la región climática y las condiciones específicas de los locales, como la presencia de sustancias orgánicas, las condiciones microclimáticas de temperatura y humedad relativa, la ventilación y la microbiota predominante en el aire exterior.^{48,51} En un estudio realizado sobre la alergenicidad de *A. fumigatus* se constató que altas concentraciones de dióxido de carbono impactan en su capacidad de inducir alergias.⁵²

En Cuba, caracterizada por un clima tropical, los registros de abundancia de géneros en ambientes interiores muestran diferencias en los distintos locales en relación con el tipo de material que acumule el mismo y el grado de contaminación que presenten los materiales. Así los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* son los más frecuentes en archivos fotográficos, mapotecas,⁴⁹ almacenes soterrados⁶ e interiores de vivienda.⁵³

La Aeromicología y la salud humana

Infecciones fúngicas

Los propágulos fúngicos presentes en el aire pueden ser inhalados y causar micosis sistémicas oportunistas y endémicas. Varias especies de los géneros *Aspergillus* y *Fusarium*, así como *Cryptococcus neoformans* sobresalen dentro de los agentes causales de las micosis sistémicas oportunistas.⁵⁴

De todas las especies que comprende el género *Aspergillus*, unas 20 se reconocen como patógenas humanas. Destaca *Aspergillus fumigatus*, por el pequeño tamaño de sus conidios, que permite su aspiración y penetración al tracto respiratorio. Además su capacidad de crecer a 37 °C y de adherirse a superficies epiteliales y posiblemente endoteliales, su gran tendencia a invadir los vasos sanguíneos y la producción de un gran número de productos extracelulares tóxicos para las células de los mamíferos (elastasa, restrictocina, fumigatoxina, entre otras).^{55,56}

Se le denomina aspergilosis a la micosis exógena causada por este hongo que se caracteriza por la presencia de lesiones granulomatosas inflamatorias en la piel, oído externo, senos nasales, órbita, ojo y especialmente bronquios y pulmones. Son frecuentes en climas tropicales y subtropicales pero disminuyen en los climas fríos.⁵⁷ Las formas de aspergilosis comúnmente vistas son las enfermedades pulmonares, de las cuales se pueden reconocer: el aspergiloma o aspergilosis intracavitaria, también conocida como bola fúngica o micetoma aspergilar y la aspergilosis invasiva, forma poco frecuente y de mal pronóstico.⁵⁸ Las inmunodeficiencias presentes en enfermos neutropénicos, especialmente en pacientes leucémicos o transplantados de médula ósea, terapia corticoesteroide, quimioterapia citotóxica y SIDA son causas predisponentes que pueden provocar complicaciones.⁵⁹

Diversas especies del género *Fusarium* causan infecciones en humanos (fusariosis) que pueden manifestarse de manera local o asociadas a dispositivos, localmente invasivas o diseminadas.⁶⁰ Este es un género ubicuo, debido a su capacidad de crecer en una amplia gama de sustratos y a sus mecanismos eficientes para la dispersión. Se considera saprófito del suelo y tiene como puertas de entrada la piel, las uñas, la vía aérea, el sistema gastrointestinal y los ojos. Las especies reportadas con mayor frecuencia en dichas infecciones son: *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium moniliforme*.⁶¹

Dentro de las infecciones localmente invasivas se encuentran: la sinusitis, la neumonía y las lesiones en piel. La neumonía se presenta hasta en el 42 % de los pacientes con cualquier tipo de compromiso inmunitario mientras que la sinusitis solo en el 20 %.⁶² La fusariosis diseminada se presenta usualmente en pacientes con neoplasias malignas hematológicas, neutropenias prolongadas, inmunodeficiencias de células T, trasplantes hematopoyéticos y tratamientos con altas dosis de corticosteroides. Sin embargo, en pacientes infectados con VIH las infecciones por *Fusarium* spp, son raras.⁶³

Cryptococcus neoformans vive como saprófito en la naturaleza, generalmente asociado a excremento de paloma, restos vegetales y frutas. Presumiblemente se adquiere por vía inhalatoria.⁶⁴ Los principales factores de riesgo para infección por criptococo son el antecedente de infección por VIH, el uso de esteroides, la presencia de tumores sólidos o malignos, trasplantes, la diabetes mellitus, la cirrosis hepática y la falla renal crónica. En países con alta prevalencia de VIH/SIDA, la criptococosis es una de las causas más comunes de meningitis.⁶⁵ La habilidad de favorecer el desarrollo y establecimiento de la enfermedad está dada

por una serie de factores de virulencia; dentro de los que destaca la presencia de cápsula, la producción de melanina, ureasa, proteasas, lacasas así como la capacidad de adaptación, estabilidad térmica y la producción de manitol.⁴⁰

Las micosis sistémicas endémicas son ocasionadas por *Histoplasma capsulatum*, *Coccidioides* spp., *Paracoccidioides brasiliensis* y *Blastomyces dermatitidis* y provocan una primoinfección pulmonar que sólo desarrolla enfermedad progresiva en un porcentaje muy bajo de los enfermos.⁵⁷

La coccidioidomicosis (*Coccidioides* spp.) al igual que la histoplasmosis (*Histoplasma capsulatum*) son adquiridas por vía inhalatoria.⁶⁶ La infección por *Coccidioides* spp es endémica en las zonas de clima y vegetación desérticos del Continente Americano, con alto contenido en sales y pH alcalino.⁶⁷ La infección produce un espectro amplio de manifestaciones clínico-patológicas. La infección primaria es asintomática en aproximadamente el 60 % de los casos y las formas leves o moderadas representan el 39 %.⁶⁸ Los casos diseminados representan cerca del 1 %, se encuentran con mayor frecuencia en mujeres embarazadas, pacientes con procesos neoplásicos, sometidos a trasplantes de órganos y aquellos con síndrome de inmunodeficiencia adquirida, con afección de órganos como meninges, piel, hueso, articulaciones, mediastino y ganglios linfáticos. También se ha descrito una asociación de la enfermedad diseminada en filipinos o en individuos de raza negra, pero no se ha visto predisposición racial.⁶⁹

La histoplasmosis es la infección fúngica sistémica más prevalente en humanos y animales, afectando el sistema reticuloendotelial.⁷⁰ Se inicia regularmente a nivel pulmonar y posteriormente puede diseminarse a diferentes órganos, principalmente en pacientes con alteraciones de la respuesta inmune celular.⁷¹ El hábitat de *H. capsulatum* en su forma micelial, son los suelos húmedos, ácidos y con alto contenido de nitrógeno, los excrementos de aves y murciélagos favorecen su crecimiento y esporulación. Las zonas de mayor endemidad se localizan en regiones tropicales y subtropicales.⁷² En su forma parasitaria y virulenta (fase levaduriforme) habita de preferencia en microambientes intracelulares de hospederos mamíferos, incluyendo el ser humano.⁷³ La transición de filamentosos a levadura es esencial para la virulencia y es controlado por el gen *DRK1*, el cual sintetiza la histidina quinasa, regulador del dimorfismo en *H. capsulatum*. En el dimorfismo de este hongo están involucrados aproximadamente 500 genes, asociados con la adquisición de nutrientes, termotolerancia, estructura celular, respuesta ante el estrés, etc.⁷⁴

Enfermedades alérgicas

Además de causar infecciones, las esporas o fragmentos fúngicos también pueden producir una reacción alérgica debido a las proteínas o glicoproteínas que se encuentran en su pared. En este tipo de respuesta influye la concentración de esporas en el aire, que sean capaces de inducir sensibilización, pudiendo producir rinitis, asma bronquial o neumonitis.⁷⁵ La severidad de este tipo de patología depende del tipo de hongo, de la zona de las vías respiratorias donde se depositen las esporas y de la susceptibilidad individual.⁷⁶

Existen más de 80 géneros de hongos reportados como causantes de alergias del tracto respiratorio, entre los que se encuentran *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Rhizopus* y *Mucor*, destacando los cuatro primeros por su mayor importancia clínica.⁴²

Las especies más frecuentemente identificadas en aislamientos clínicos del género *Aspergillus* son: *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus* y *A. nidulans*.⁷⁷ Desde estos, *A. fumigatus*, tolera un amplio rango de temperaturas de crecimiento (12°-52 °C) y causa cuadros de alergia (rinoconjuntivitis y asma), neumonitis por hipersensibilidad o alveolitis alérgicas extrínsecas y aspergilosis broncopulmonar alérgica, aunque en comparación con otras especies de este género se encuentra generalmente en concentraciones bajas en el aire.^{58,59}

Según algunos autores, el 9,5 % de los pacientes con sospecha de alergia respiratoria están sensibilizados a *Alternaria* y/o *Cladosporium*. Aunque la concentración en el aire de *Cladosporium* es mayor, el número de individuos alérgicos a *Alternaria* es más elevado, ya que produce reacciones positivas más fuertes. Además se ha demostrado que existe una reactividad cruzada entre estos géneros, por lo que las elevadas concentraciones de *Cladosporium* potencian la respuesta inmunológica de aquellas personas sensibles a *Alternaria*.⁴³ Las especies *Alternaria alternata* y *Cladosporium herbarum* son probablemente las más importantes desde el punto de vista alergológico.⁷⁸

En un estudio realizado en Cuba por Díaz *et al* (2010) se evidenció sensibilización a aeroalérgenos de *Penicillium*, *Cladosporium* y *Alternaria* mediante pruebas cutáneas en escolares de 6-7 años de la provincia de Artemisa.⁷⁹

Enfermedades causadas por micotoxinas de hongos del aire

En el aire se encuentran propágulos de varios hongos potencialmente micotoxigénicos, que pueden depositarse sobre diversos sustratos, crecer y producir dichas toxinas si las condiciones ambientales lo propician. Varias especies de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* tienen esta capacidad y pueden hallarse en el aire con elevada concentración gran parte del año.³⁶

Las aflatoxinas son producidas principalmente por *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*, pero también por *A. niger*, *A. ruber*, *Penicillium citrinum*, *P. frequentans*, *P. variable* y *P. puberulum*. Afectan la salud de los humanos, aunque no se conoce exactamente su nivel tóxico, especialmente la tipo B1.⁸⁰ El riesgo para los humanos consiste en el consumo de productos vegetales contaminados o de bioproductos como huevos, hígado y leche. Estas micotoxinas ejercen efectos principalmente carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos. Además pueden ser inmunosupresores y alterar varios factores nutricionales, incluyendo cambios en minerales esenciales o en procesos energéticos.⁸¹

Los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, también producen ocratoxina A (OTA). Se pueden encontrar principalmente en cereales, tales como maíz, cebada, trigo y avena, aunque también han sido detectadas en granos de café y en vinos.⁸² La OTA presenta una alta afinidad por proteínas plasmáticas, esta unión es determinante en la persistencia de la toxina en la sangre y por lo tanto de su toxicidad que se manifiesta de forma crónica y aguda. Además se reconoce sus propiedades genotóxicas sugiriendo un posible efecto mutagénico a través de algún metabolito y/o radical libre.⁸³

Las fumonisinas son producidas esencialmente por *Fusarium moniliforme*. Son consideradas potencialmente carcinogénicas ya que algunos estudios epidemiológicos indican una fuerte correlación entre el consumo de maíz contaminado con dichas toxinas y la incidencia de cáncer esofágico.⁸⁴ Los principales síndromes que producen son: neurotóxicos (leucoencefalomelacia), nefrotóxicos, edema pulmonar y cerebral, hepatotóxicos y lesiones cardíacas.⁸⁵

Actualmente las micotoxinas son objeto de interés mundial debido a las importantes pérdidas económicas que acarrearán sus efectos sobre la productividad de los animales, el comercio nacional e internacional y la salud de las personas.

Medidas para disminuir el riesgo de afectación de la salud por hongos anemófilos

La información proporcionada por los estudios aeromicológicos facilita la implementación de medidas de control de la calidad del aire y el monitoreo de sus efectos. Las estrategias deben ajustarse dependiendo del tipo de ambiente (interior o exterior) en el que se desee reducir la contaminación por propágulos fúngicos.¹

En ambientes exteriores controlar la liberación de las esporas de hongos es difícil, aunque su diversidad y concentración atmosférica diaria se puede conocer mediante métodos de predicción.⁵ La web del Punto de Información Aerobiológica (PIA) de la Universidad Autónoma de Barcelona (<http://lap.uab.cat/aerobiologia/es>) ofrece los viernes de cada semana los niveles estimados de esporas durante el próximo período de lunes a domingo así como la dinámica a lo largo del año de esporas alergénicas para algunas localidades españolas.⁸⁶ Esta información puede ser usada por alergistas para efectuar un diagnóstico alergológico adecuado. Adicionalmente contribuye a tener extractos antigénicos óptimos de los hongos anemófilos, estandarizados y estables para tener resultados reproducibles, específicos y concordantes para las diferentes pruebas que se realicen: pruebas cutáneas, determinación de anticuerpos y pruebas de provocación en individuos atópicos.⁸⁷

Además estas predicciones son utilizadas por agricultores para desarrollar un plan de prevención y control más específico sobre hongos toxigénicos, evitando a su vez que estas acciones conlleven a un excesivo uso de fungicidas.⁸⁸ El momento preciso en que se aplique un fungicida brinda beneficios a la agricultura y mejora las condiciones de trabajo para los obreros disminuyendo la concentración de alérgenos y micotoxinas.⁸⁹

En ambientes interiores la principal estrategia de prevención para los problemas de la calidad del aire se basa en eliminar las condiciones que promueven la colonización y desarrollo de los hongos. Normalmente el desarrollo ocurre en ambientes donde los niveles de humedad son elevados, situación que es comúnmente encontrada en áreas donde han ocurrido inundaciones o donde se propicie la condensación.⁹⁰

Prevenir los posibles daños por hongos incluye la remoción de materiales contaminados, la limpieza periódica de los locales y modificar las condiciones ambientales, principalmente mediante el uso de sistemas de ventilación y deshumidificadores. Es importante señalar que el diseño de sistemas de ventilación con filtros y el adecuado mantenimiento de los mismos evita que los alérgenos entren al interior de los locales y mantienen un flujo de aire de calidad. Además se debe mantener la temperatura y la humedad relativa en los márgenes requeridos para evitar el crecimiento microbiano.⁹¹ Aunque se debe estar alerta, ya que se ha encontrado que los componentes de humidificación de estos sistemas pueden ser favorables para la proliferación y dispersión de hongos que pueden dañar los objetos de valor patrimonial y la salud humana.⁹²

Otra medida que puede ser aplicada tanto en ambientes exteriores como interiores es reducir la emisión de aerosoles que contienen propágulos fúngicos mediante la eliminación de los focos emisores o la minimización de la generación de estos.⁹³

Además, la aspersión de agua sobre las superficies generadoras de estos aerosoles, limita el desprendimiento de material particulado por arrastre de las corrientes de aire y la adhesión de las partículas a la superficie por las fuerzas de higroscópicas del agua. También se debe, en la medida de lo posible, evitar los movimientos mecánicos fuertes en el desarrollo de los procesos, que contribuyen a la generación de estos aerosoles.⁹⁴

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ríos JM. La aeromicrología y su importancia para la medicina. Revista Médico Científica. 2011;24(2):28-42.
2. Rojas TI, Llanes N, Benítez M, Aira MJ, Malagón H. El género *Aspergillus* en la atmósfera de La Habana (Cuba). Boletín Micológico. 2007;22: 41-46.
3. Borrego S, Pons V, Perdomo I. La contaminación microbiana del aire en dos depósitos del Archivo Nacional de la República de Cuba. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 2008;39(1):63-69.
4. Schmale DG, Ross SD, Fetters TL, Tallapragada P, Wood-Jones AK, Dingus B. Isolates of *Fusarium graminearum* collected 40–320 meters above ground level cause *Fusarium* head blight in wheat and produce trichothecene mycotoxins. Aerobiología. 2012;28(1):1-11.
5. Kasprzyki. Aeromycology: Main research field of interest during the last 25 years. Annals of Agricultural and Environmental Medicine. 2008;15:1-7.
6. Borrego S, Guiamet P, Gómez de Saravia S, Batistini P, Garcia M, Lavin P, Perdomo I. The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs. International Biodeterioration and Biodegradation. 2010;64(2):139-145.
7. Rojas TI, Aira MJ. Fungal biodiversity in indoor environments in Havana, Cuba. Aerobiología. 2012;28:367-374.
8. Estrada de la Riva J. Variaciones en la Micología ambiental de Cuba. Estudio Micológico y Clínico. International Archives of Allergy and Applied Immunology. 1951;2:360-370.
9. Cadrecha J, Fernández J. Numbers and kinds of airborne, culturable fungus spores in Havana, Cuba. Journal of Allergy. 1955;26(2):150-152.
10. Herrera L, Carrazana D, Quiñones R. Los hongos anemófilos de la ciudad de Santa Clara, Cuba. Centro Agrícola. 2003;30.
11. Gregory PH. The Microbiology of the Atmosphere. Leonard Hill (Ed.). Plymouth; 1973.
12. Oliveira M, Ribeiro H, Delgado JL, Abreu I. Seasonal and intradiurnal variation of allergenic fungal spores in urban and rural areas of the North of Portugal. Aerobiología. 2009;25(2):85-98.

13. Almaguer M, Rojas TI, Dobal V, Batista A, Rives N, Aira MJ, et al. Aerobiological dynamics of potentially pathogenic fungi in a rice agroecosystem in La Habana, Cuba. *Aerobiologia*. 2012;28:177-183.
14. Abu-Dieyeh MH, Barham R. Concentrations and dynamics of fungal spore populations in the air of Zarqa, Jordan, using the volumetric method. *Grana*. 2014; DOI: 10.1080/00173134.2014.896413.
15. Aira MJ, Rodríguez-Rajo FJ, Fernández-González M, Seijo C, Elvira-Rendueles B, Gutiérrez-Bustillo M. *Cladosporium* airborne spore incidence in the environmental quality of the Iberian Peninsula. *Grana*. 2012;51(4):293-304.
16. Calderón C, Lacey J, Mc Cartney HA, Rosas I. Seasonal and diurnal variation of airborne basidiomycete spore concentrations in Mexico City. *Grana*. 1995;34:260-268.
17. Adams RI, Miletto M, Taylor JW, Bruns TD. Dispersal in microbes: fungi in indoor air are dominated by outdoor air and show dispersal limitation at short distances. *The International Society for Microbial Ecology Journal*. 2013;7:1262-1273.
18. Kaczmarek J, Jedryczka M, Cools HJ, Fitt BDL, Lucas JA, Latunde-Dada AO. Quantitative PCR analysis of abundance of airborne propagules of *Leptosphaeria* species in air samples from different regions of Poland. *Aerobiologia*. 2012;28(2):199-212.
19. Christopher EB, Akpovughaye T, Nasirudeen SM, Onojo IS, Ojone AS, Emmanuel E. A study of airborne fungal spores of Anyigba, Kogi State, Nigeria. *American Journal of Biomedical and Life Sciences*. 2013;1(4):70-74.
20. Uzochukwu OV, Nkpouto U. Airborne fungi in the indoor and outdoor environments of a higher institution in Nigeria. *International Journal of Advanced Biological Research*. 2013;3(1):9-12.
21. Bhagat S, Singh A, Bhalerao A. Study of Aeromycoflora of Aarey Lake in Mumbai. *Indian Journal of Applied Research*. 2014;4(3).
22. Zubairi AB, Azam I, Awan S, Zafar A, Imam AA. Association of airborne *Aspergillus* with asthma exacerbation in Southern Pakistan. *Asia Pac Allergy*. 2014, 4(2):91-8.
23. Rutherford S, Owen JAK, Simpson RW. Survey of airspora in Brisbane, Queensland, Australia. *Grana*. 1997;36:114-121.
24. Mitakakis TZ, Guest DI. A fungal spore calendar for the atmosphere of Melbourne, Australia, for the year 1993. *Aerobiologia*. 2001;17(2):171-176.
25. Mallo AC, Nitiu DS, Gardella MC. Airborne fungal spore content in the atmosphere of the city of La Plata, Argentina. *Aerobiologia*. 2011; 27(1):77-84.
26. Barros GF, Gomes SM, Custódio MA, Moura R, Muniz WE, de Castro GM, et al. Diversity and dynamics of airborne fungi in São Luis, State of Maranhão, Brazil. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop*. 2014;47(1).

27. Próspero JM, Blades E, Mathison G, Naidu R. Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust. *Aerobiologia*. 2005;21(1): 1-19.
28. Quintero E, Rivera-Mariani F, Bolaños-Rosero B. Analysis of environmental factors and their effects on fungal spores in the atmosphere of a tropical urban area (San Juan, Puerto Rico). *Aerobiologia*. 2010;26(2): 113-124.
29. Rivera-Mariani FE, Bolaños-Rosero B. Allergenicity of airborne basidiospores and ascospores: need for further studies. *Aerobiologia*. 2012;28(2):83-97.
30. Castañeda RF, Fabr  DE, Parra MP, Perez M, Guarro J, Cano J. Some airborne conidial fungi from Cuba. *Mycotaxon*. 1996;60:283-290.
31. Almaguer M, Aira MJ, Rodríguez-Rajo FJ, Rojas TI. Study of airborne fungus spores by viable and non-viable methods in Havana, Cuba. *Grana*. 2013;52(4):289-298.
32. Almaguer M, Aira MJ, Rodríguez-Rajo FJ, Rojas TI. Temporal dynamics of airborne fungi in Havana (Cuba) during dry and rainy seasons: influence of meteorological parameters. *International Journal of Biometeorology*. 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-013-0748-6>.
33. Almaguer M, Rojas TI, Rodríguez-Rajo FJ, Aira MJ. Airborne basidiospores of *Coprinus* and *Ganoderma* in a Caribbean region. *Aerobiologia*. 2014;30(2):197-204.
34. Webster J, Weber R. *Introduction to Fungi*. Cambridge University Press; 2007.
35. Sidel FB, Bouziane H, Trigo M, Haskouri E, Bardei F, Redouane A, et al. Airborne fungal spores of *Alternaria*, meteorological parameters and predicting variables. *Int J Biometeorol*. 2014.
36. Almaguer M, Rojas TI, Dobal V, Batista A, Aira M.J. Effect of temperature on growth and germination of conidia in *Curvularia* and *Bipolaris* species isolated from the air. *Aerobiologia*. 2013;29(1):13-20.
37. Keller MD, Bergstrom GC, Shield EJ. The aerobiology of *Fusarium graminearum*. *Aerobiologia*. 2014;30(2):123-136.
38. Karkowska-Kuleta J, Rapala-Kozik M, Kozik A. Fungi pathogenic to humans: molecular bases of virulence of *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* and *Aspergillus fumigatus*. *Acta Biochimica Polonica*. 2009;56(2):211.
39. Dolezal AL, Obrian GR, Nielsen DM, Woloshuk CP, Boston RS, Payne G A. Localization, morphology and transcriptional profile of *Aspergillus flavus* during seed colonization. *Molecular plant pathology*. 2013;14(9):898-909.
40. Bonifaz A. *Micolog a M dica B sica*. España. Editorial Interamericana McGraw-Hill; 2012.
41. Barriga AG. Microbios africanos de vacaciones en el Caribe. *Revista Mexicana de Patología Clínica*. 2007;54(4):168-176.

42. Adhikari A, Sen MM, Gupta-Bhattacharya S, Chanda S. Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations. *Science of the Total Environment*. 2004; 326(1): 123-141.
43. Rocha A, Alvarado MA, Gutiérrez R, Salcedo SM, Moreno S. Variación temporal de esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Curvularia* y *Venturia* en el aire del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2013;29(2): 155-165.
44. Docampo S, Trigo MM, Recio M, Melgar M, Garcia-Sanchez J, Calderon-Ezquerro MC, et al. High incidence of *Aspergillus* and *Penicillium* spores in the atmosphere of the cave of Nerja (Malaga, southern Spain). *Aerobiologia*. 2010;26(2):89-98.
45. Fairs A, Agbetile J, Bourne M, Hargadon B, Monteiro WR, Morley JP, et al. Isolation of *Aspergillus fumigatus* from sputum is associated with elevated airborne levels in homes of patients with asthma. *Indoor Air*. 2013;23(4):275-84.
46. Griffin DW. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clinical Microbiology Reviews*. 2007;20: 459-477.
47. Elvira-Rendueles B, Moreno J, Garcia-Sanchez A, Vergara N, Martinez-Garcia MJ, Moreno-Grau S. Airspore in Cartagena, Spain: viable and non-viable sampling methods. *Ann Agric Environ Med*. 2013;20(4):664-71.
48. Shelton BG, Kirland KH, Flanders WD, Morris GK. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002;68(4): 1743-1753.
49. Borrego S, Perdomo I, Guiamet P, Gómez S. Estudio de la concentración microbiana en el aire de depósitos del archivo Nacional de Cuba. *AUGMDOMUS* 2010; 1: 118-137.
50. Díaz M, Gutiérrez J, Gutiérrez A, González MC, Vidal G, Zaragoza RM, et al. Caracterización aerobiológica de ambientes intramuros en presencia de cubiertas vegetales. *Revista internacional de contaminación Ambiental*. 2010;26(4):279-289.
51. Pyri I, Kapsanaki-Gotsi E. A comparative study on the airborne fungi in Athens, Greece, by viable and non-viable sampling methods. *Aerobiologia*. 2007;23: 3-15.
52. Campos V, Mendivil A. Calidad del aire interior de los centros de educación infantil del País Vasco. *Revista Medico-Navarra*. 2006;427: 34-42.
53. Aira MJ, Jato V, Rodríguez FJ. Tipos de esporas fúngicas en viviendas de La Habana. *Proceedings of Tropical and Subtropical Palynology Congreso*; 2001; La Habana, Cuba.
54. De la Rosa MC, Mosso MA, Ullán C. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*. 2002: 1139-1987.
55. Chacón ML. Estudio de los pacientes con diagnóstico de bronquiectasias, que siguen control en el servicio de neumología del Hospital Son Llätzer. Palma de Mallorca; 2012.

56. Oliveira M, Caramalho R. *Aspergillus fumigatus*: a mere airborne particle or a powerful biohazard? Nova Acta Científica Compostelana. 2014;21.
57. Canteros CE, Davel GO, Tiraboshi IN, Córdoba S. Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas. Argentina. Curso Teórico Práctico: El laboratorio el diagnóstico de las micosis sistémicas; 2012.
58. Cruz R, Barthel M, Piontelli E, Fernandez G. Reportes Clínicos: Infección Rinosinusal probada por *Aspergillus flavus* y probable infección pulmonar por *Emericella nidulans* en pacientes inmunodeprimidos. Boletín Micológico. 2005;20:109-115.
59. Salim R, Runco R. Aspergilosis sinusal no invasiva por *Aspergillus parasiticus* en niño inmunocomprometido. Boletín Micológico. 2008;(23):17-101.
60. Támez-Peña A, González-González LA, López-Jaime GR, Rodríguez-García A. Endoftalmítis endógena por *Fusarium* spp. En un paciente con onicomycosis: reporte de un caso. Rev. Mex. Oftalmología. 2010;84(2):122-126.
61. Zhang N, O'Donnell K, Sutton DA, Nalim A, Summerbell RC, Padhye AA, et al. Members of the *Fusarium solani* species complex that cause infections in both humans and plants are common in the environment. J Clinical Microbiol. 2012;4(6):2186-90.
62. Giraldo C, Velásquez MM, Alfonso L. Infección diseminada por *Fusarium* spp. en paciente con anemia aplásica. Rev Asoc Colomb Dermatol. 2010;18:225-32.
63. Álvez F, Figueras C, Roselló E. Infecciones fúngicas invasivas emergentes. Anales de Pediatría. 2010;73(1):52.e1-52.e6.
64. Gómez B, Zarco LA. Criptococosis meníngea: características clínicas y de laboratorio. Acta Neurol Colomb. 2011;27:9-27.
65. Carrada T. Criptococosis cutánea y SIDA. Reporte de un caso y Revisión de la literatura. Med Int Mex. 2004;20(5):392-5.
66. Tlamçani Z, Er-Rami M. Fungal opportunist infection: Common and emerging fungi in immunocompromised patients. Journal of Immunological Techniques in Infectious Diseases. 2013;2:1-5.
67. Moroyoqui LA, Figueroa SR. Coccidioidomycosis. Med Int Mex. 2008;24(2):125-41.
68. Avilés-Salas A, Quintero-Cuadra Y, Cornejo-Juárez P. Coccidioidomycosis extrapulmonar. Presentación de un caso y revisión de la literatura. Rev Chil Infect. 2007;24(5):398-401.
69. López-Márquez A, Hernández- Avendaño, Durán-Padilla MA, Navidad F, Chávez-Macias L, Olvera-Rabiela J. Coccidioidomycosis diseminada con infección pulmonar ganglionar y meníngea. Casos con hallazgos post mortem. Rev Med Hosp Gen Mex. 2004;67(2):88-93.
70. Wheat LJ. Histoplasmosis. Atlas of Fungal Infections. Springer, Filadelfia, EUA, 2007.

71. Pervez SP, Derek PT, López-Ribot J. Molecular Probes for Diagnosis of Fungal Infections. *J. Clin. Microbiol.* 2011;33(11):2913-19.
72. Cabello H, Manieu D, Noriega LM, Meneses M, Peralta M, Larraguibel C. Histoplasmosis pulmonar. *Rev Chil Infect.* 2002;19(1):54-9.
73. Reyes-Montes MR, Taylor ML, Curiel-Quesada E, Mesa AC. Estado actual de la tipificación del hongo patógeno *Histoplasma capsulatum* var. *capsulatum*: una revisión de los hallazgos. *Rev. Iberoam. Micol.* 2000;17:121-6.
74. Bohse M, Woods JP. (2007): Expression and interstrain variability of the YPS3 gene of *Histoplasma capsulatum*. *Eukaryot. Cell* 2007;6:609-615.
75. Ayats J, Martín-Mazuelos E, Pemán J, Quindós G, Sánchez F, García-Rodríguez J, et al. Recomendaciones sobre el diagnóstico de la enfermedad fúngica invasora de la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (SEIMC). Actualización 2010. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica.* 2011;29(1):39-41.
76. Hedayati MT, Pasqualotto AC, Warn PA, Bowyerand P, Denning DW. *Aspergillus flavus*: human pathogen, allergen and mycotoxin producer. *Microbiology.* 2007;153:1677-1692.
77. Singh N, Pursell KJ. Combination therapeutic approaches for the management of invasive aspergillosis in organ transplant recipients. *Mycoses.* 2008;51:99-108.
78. Grinn-Gofro A, Strzelczak A. Changes in concentration of *Alternaria* and *Cladosporium* spores during summer storms. *International Journal of Biometeorology.* 2013;57(5):759-768.
79. Díaz A, Fabrè DE, Coutin G, González T. La sensibilización a hongos ambientales y su relación con enfermedades atópicas en escolares. *Revista Cubana de Medicina General Integral.* 2010;26(4):647-655.
80. Bolet M, Socarrás MM. Micotoxinas y cáncer. *Rev Cubana Invest Biomed.* 2005;24(1):54-9.
81. Manafi M. Comparative efficacy of different mycotoxin binders by addition of aflatoxin B1 (*Aspergillus parasiticus*) produced on rice (*Oryza sativa*). *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology.* 2011;6(4):451-56.
82. Requena F, Saume E, León A. Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Zootecnia Tropical.* 2005;23(4):393-410.
83. López de Cerain A, Jiménez AM, Ezpeleta O, Bello J. Efectos tóxicos de la ocratoxina A. [Tesis doctoral] Departamento de Bromatología, Tecnología de Alimentos y Toxicología. Pamplona; 2000.
84. Yazar S, Omurtag GZ. Fumonisin, Trichothecenes and Zearalenone in Cereals. *Int J Mol Sci.* 2008;9:2062-90.
85. Reyes J, Pineda J, Sanabria ME. Filtrate effectiveness of fungi in maize fruits (*Zea mays* L) on *Fusarium moniliforme*. *Agroecología.* 2007;2.

86. Belmonte J, Cuevas E, Poza P, González R, Roure JM, Puigdemunt R et al. Aerobiología y alergias respiratorias en Tenerife. Editorial Agencia Estatal de Meteorología y Ministerio de Medio Ambiente medio Rural y Marino; 2010.
87. Torres JM. Hongos y alergia o un binomio polémico. *Alergol Inmunol Clin*. 2002;17:139-140.
88. Tomassetti B, Lombardi A, Cerasani E, Sabatino AD, Pace L, Ammazalorso D, et al. Mapping of *Alternaria* and *Pleospora* concentrations in Central Italy using meteorological forecast and neural network estimator. *Aerobiologia*. 2013;29(1):55-70.
89. Lanier C, Richard E, Heutte N, Picquet R, Bouchart V, Garon D. Airborne molds and mycotoxins associated with handling of corn silage and oilseed cakes in agricultural environment. *Atmospheric Environment*. 2010;44(16):1980-86.
90. Guardino X. Calidad del aire interior. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo; 1994.
91. Castañeda E, Rivera JA, Lechuga K. Determinación de la calidad microbiológica del aire en una industria textil. *Revista Latino Americana de la Salud en el Trabajo*. 2003;3(1):21-24.
92. Valentín N. Microbial Contamination in Archives and Museums: Health Hazards and Preventive Strategies Using Air Ventilation Systems. The Getty Conservation Institute. 2007.
93. Vélez AM, Mejía MR, Salcedo YP, Camargo Y. Emisiones Atmosféricas de Origen Biológico: Generalidades, Impactos Asociados y Medidas de Control de Aerosoles Fungi. *RE ´TAKVN* 2009;11(1):19-32.
94. Sánchez – Monedero MA, Aguilar MI, Fenoll R, Roig A. Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería*. 2007;11(1):37-42.

Recibido: 1 de abril de 2014.
Aprobado: 25 de agosto de 2014.

Lic. Kenia C. Sánchez Espinosa. Calle 1ra entre Norte y Sur # 11120, Residencial Almendares, Boyeros. Correo electrónico: ksanchez@fbio.uh.cu