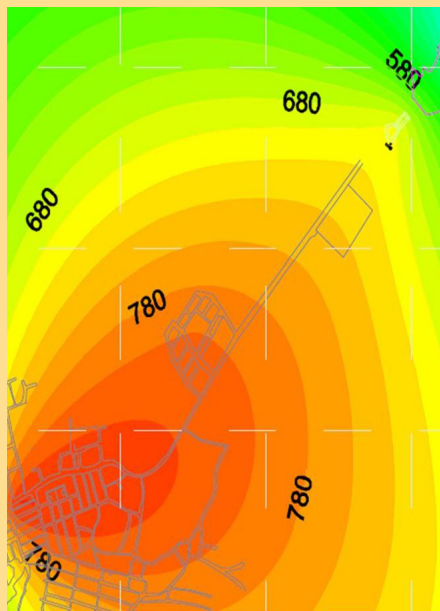


Emisiones Atmosféricas de Origen Biológico

Autores

Yiniva Camargo Caicedo
Diana Henao Marín
Andrés Mauricio Vélez-Pereira



EDITORIAL
UNIMAGDALENA



Grupo de Investigación Modelación
de sistemas ambientales

Emisiones atmosféricas de origen biológico

Emisiones atmosféricas de origen biológico



Grupo de Investigación Modelación
de Sistemas Ambientales

Autores
Yiniva Camargo Caicedo
Diana Henao Marín
Andrés Mauricio Vélez-Pereira

Universidad del Magdalena
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental y
Sanitaria
Producto Resultado de Investigación
Santa Marta D.T.C.H.



Emissiones atmosféricas de origen biológico

Edición: Primera - Noviembre 2011

ISBN: 978-958-746-037-7

Autores: Yiniva Camargo Caicedo, Andrés M. Vélez-Pereira y
Diana M. Henao Marín

Diseño y Diagramación: Luis Felipe Marquez Lora

Corrección de estilo: Gustavo Arrieta López

Ciudad: Santa Marta, D.T.C.H. - Colombia

El presente material no puede ser duplicado, ni reproducido por ningún medio, sin previa autorización escrita de la Editorial Unimagdalena. Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad exclusiva del autor.

©EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
Coordinación de Publicaciones y Propiedad Intelectual



EDITORIAL
UNIMAGDALENA

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Rector: Ruthber Escorcía Caballero

Vicerrector de Investigación: José Henry Escobar Acosta

Decano Facultad de Ingeniería: Juan Carlos De la Rosa Serrano

Coordinador de Publicaciones y Propiedad Intelectual: Guillermo Augusto Ceballos Ospino

Servicio de Canje:

canjebiblioteca@unimagdalena.edu.co

biblioteca@unimagdalena.edu.co

Presentación

Este libro de divulgación de resultados de los estudios realizados por el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales-GIMSA del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena, tiene por objeto la socialización del trabajo que se ha venido realizando desde hace tres años, en la Línea de Investigación de Calidad del Aire y en las áreas específicas de Microbiología Ambiental y Salud Pública.

Las páginas iniciales de este producto de investigación presentan los fundamentos que le permiten al lector ubicarse en la temática mediante la identificación de los aerosoles biológicos y su presencia en la atmósfera, el conocimiento de su tipología y principales fuentes de emisión, su comportamiento aerodinámico y viabilidad, y finalmente, sus efectos en el ambiente y la salud humana.

El capítulo final presenta los resultados de la investigación efectuada en una de las fuentes de emisiones de Bioaerosoles como es el sistema de disposición final de residuos sólidos municipales, referenciada ampliamente en diversos estudios efectuados en México, Puerto Rico y España, y que en Colombia registra un estudio de similares características en el relleno Sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín. Se resumen los resultados relevantes de la investigación titulada Evaluación de Partículas Viables Biológicas emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana del Distrito de Santa Marta (Colombia), orientada a establecer la presencia de bacterias y hongos generados en las unida-



des de proceso del relleno sanitario y su distribución espacio-temporal hacia las comunidades aledañas a la zona de estudio.

Se espera proporcionar los elementos necesarios para que estudiantes, docentes e investigadores evalúen la potencialidad de esta línea de investigación y la importancia de la aplicación de los resultados obtenidos para la toma de decisiones, la reglamentación de la normativa ambiental y los mecanismos para el control de impactos que incrementen la problemática en lo que se refiere a salud pública.



Dedicatoria

*A Dios, por darme cada día la sabiduría para enseñar a otros
A mi hijo Juan Pablo porque en cada joven inquieto puedo verte a ti
A mi inquieta Andrea Carolina, porque con tus travesuras
alegras mis días*

Yiniva Camargo Caicedo

*A Luis Eduardo Vélez Tovar y Beatriz Elena Pereira Robles, Mis Padres
por ser los forjadores de mi vida, por enseñarme con sus valiosos con-
sejos y sabiduría a ser la persona que hoy soy, Gracias de todo Corazón
Oronte Pereira Barranco (Q.E.P.D.)
Siempre tendrá un lugar en mi corazón*

Andrés Mauricio Vélez Pereira

*A Dios por nunca desampararme en el camino, a mis padres por ser mi
más firme bastón y ejemplo a seguir
A mis amigos por sus sabios consejos y en especial a Yiniva Camargo
por su confianza y respaldo permanente*

Diana Henao Marín



Agradecimientos

Por el apoyo institucional, financiero y personal, los autores manifiestan sus agradecimientos.

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena, por financiar el proyecto de investigación que dio origen a este producto.

Al Ingeniero Luis María Manjarrés, Docente Tiempo Completo de la Universidad del Magdalena.

A la Ingeniera Leda Mendoza, Docente Tiempo Completo de la Universidad del Magdalena.

A la Bióloga Lineth Cantillo, excoordinadora del Laboratorio de Microbiología de la Universidad del Magdalena.

De manera muy especial los autores quieren agradecer al Doctor Miguel Ángel Sánchez-Monedero, Investigador del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura-CEBAS, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, por su colaboración permanente y apoyo incondicional.

Luz Parodi y Marisela Mendoza practicantes de microbiología de la UPC, quienes fueron pieza clave en el análisis de laboratorio.



Sandra Balaguera Rincones, Luis Vélez Pereira, Tatiana Guerrero Vélez, Luis Carlos Guerrero Vélez y Diego Peñaloza Ruiz, por su apoyo incondicional en las labores de campo y la ejecución del proyecto.

A todas y cada una de las personas que no fueron mencionadas pero que aportaron en la realización de este producto de divulgación, desde la etapa inicial de desarrollo del proyecto de investigación.



Contenido

17 Introducción

■Capítulo 1

Generalidades de los Aerosoles Biológicos

- 19 **Aerobiología, su Historia y Actualidad**
- 24 **Generalidades de los Microorganismos en el Aire**
- 26 **Aerobacterias**
 - 27 Toxinas Bacterianas: Exotoxinas y Endotoxinas
 - 27 Exotoxinas
 - 28 Endotoxinas
 - 29 Fuentes
- 31 **Aerosoles Fungí**
 - 33 Esporas Fúngicas
 - 34 Micotoxinas
 - 35 Fuentes
- 38 **Aerosoles Víricos**
 - 40 Fuentes
- 41 **Aerosoles Polínicos**
 - 44 Fuentes
- 45 **Referencias**

■Capítulo 2

La Atmósfera y su Relación con los Microorganismos

- 62 Capas de la Atmósfera y su Relación con la Presencia de Aerosoles Biológicos
- 63 Dinámica Atmosférica y su Relación con la Concentración de Aerosoles Biológicos
- 69 Referencias

■Capítulo 3

Comportamiento Aerodinámico y Viabilidad de los Aerosoles Biológicos

- 74 **Aerodinámica de los Aerosoles**
- 75 Movimiento Browniano
- 77 Fuerzas Gravitatorias
- 78 Gradientes Térmicos
- 79 Fuerzas Electroestáticas
- 80 **Aerodinámica de los Aerosoles Biológicos**
- 82 **Dinámica Atmosférica y su Influencia en el Comportamiento de los Aerosoles Biológicos**
- 84 **Viabilidad de los Aerosoles Biológicos**
- 85 **Características Fisicoquímicas de la Atmósfera y su Relación con la Viabilidad de los Aerosoles Biológicos**
- 86 Contenido de Agua o Humedad Relativa
- 88 Temperatura
- 88 Radiaciones ultravioleta
- 89 Velocidad del Viento
- 90 Otros factores Ambientales
- 90 Carbono
- 90 Concentración de Oxígeno
- 91 Factores Microbiológicos
- 92 **Modelos de Viabilidad**
- 92 Modelo de Decaimiento Exponencial
- 93 Modelo cinético
- 93 Referencias

■Capítulo 4

Efectos de los Aerosoles Biológicos

- 101 Efectos a la Salud



102	Enfermedades infecciosas
103	Enfermedades respiratorias
104	Cáncer
106	Exposiciones Específicas
106	Bacterias
107	Endotoxinas
109	β (1 \rightarrow 3)-glucanos
110	Hongos
113	Micotoxinas
114	Virus
116	Virus causantes de la gastroenteritis aguda
116	Virus causantes de infecciones en el tracto respiratorio
116	Efectos en el Ambiente
117	Conclusiones
119	Referencias

■ Capítulo 5

Aerosoles Biológicos en Sistemas de Disposición Final de Residuos Sólidos: Estudio de Caso

124	Introducción
126	Planteamiento del Problema
126	Identificación del Problema
129	Justificación
130	Metodología
130	Área de estudio
130	Localización General
131	Muestreo en la zona de estudio
131	Estaciones de Muestreo
134	Equipos
136	Toma de Muestra
137	Cuantificación del material e identificación de organismos
137	Cuantificación del Material
138	Determinación de la Concentración
138	Determinación de la concentración por Ensayo
138	Determinación de la concentración por Etapa
138	Determinación de la concentración por Jornada
139	Determinación de la Concentración Promedio
139	Resultados
139	Concentración de Aerosoles Biológicos



145	Distribución por Microorganismos
145	Distribución por tamaño
147	Géneros fungí asociados a los aerosoles biológicos
149	Distribución Espacio-Temporal
155	Conclusiones
155	Caracterización de los microorganismos presentes
156	Cuantificación de los aportes de microorganismos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana
158	Distribución Espacio-temporal de los microorganismos presentes
159	Establecimiento del comportamiento aerodinámico de las partículas
160	Referencias



Lista de Tablas

- 28** **Tabla 1.1** Tipos de Toxinas Bacterianas
- 36** **Tabla 1.2** Principales fuentes de Aerosoles Fungí
- 60** **Tabla 2.1** Fuentes naturales y antropogénicas que contribuyen a incrementar la concentración de bacterias en la atmósfera
- 91** **Tabla 3.1** Principales efectos causados sobre la viabilidad de los microorganismos por los factores ambiental
- 104** **Tabla 4.1** Enfermedades respiratorias no infecciosas, agentes potenciales y ambientes que incrementan el riesgo
- 107** **Tabla 4.2** Efectos adversos a la salud asociados a la exposición de bioaerosoles
- 109** **Tabla 4.3** Efectos a la salud producidos por endotoxinas bacterianas relacionados con ambientes laborales
- 111** **Tabla 4.4** Enfermedades transmitidas por hongos *aerotransportables*
- 112** **Tabla 4.5** Hongos responsables de enfermedades ocupacionales
- 113** **Tabla 4.6** Hongos toxigénicos, metabolitos químicos y efectos a la salud
- 117** **Tabla 4.7** Efectos adversos al ambiente asociados a la exposición de bioaerosoles
- 133** **Tabla 5.1** Coordenadas de las estaciones de muestreo
- 141** **Tabla 5.2** Concentración de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana
- 142** **Tabla 5.3** Concentración de Aerosoles fungí emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana
- 143** **Tabla 5.4** Concentración de Aerosoles Staphylococcus emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana
- 147** **Tabla 5.5** Concentración (UFC/m³) de los Géneros de Hongos asociados a los aerosoles fungí en las diversas estaciones de monitoreo

Lista de Figuras

- 28 **Figura 1.1** Clasificación de las exotoxinas según su mecanismo y lugar de acción.
- 43 **Figura 1.2** Clasificación de los granos de polen según la forma, tamaño y estructura de la exina
- 61 **Figura 2.1** Capas de la Atmósfera
- 64 **Figura 2.2** Variación de la Concentración de Contaminantes en Función de la Velocidad y Dirección del Viento
- 65 **Figura 2.3** Influencia de la Infraestructura en la Dirección y Velocidad del Viento
- 66 **Figura 2.4** Influencia del Relieve en la Dirección y Velocidad del Viento
- 68 **Figura 2.6** Comportamiento de la Dinámica Atmosférica y Contaminantes en el Día
- 68 **Figura 2.7** Comportamiento de la Dinámica Atmosférica y Contaminantes en la Noche
- 76 **Figura 3.1** Descripción del movimiento de una partícula bajo la acción de las fuerzas brownianas
- 78 **Figura 3.2** Descripción del movimiento de una partícula bajo la acción de las fuerzas gravitatorias
- 84 **Figura 3.3** Factores que afectan la viabilidad de los aerosoles biológicos
- 115 **Figura 4.1** Exposición directa e indirecta de huéspedes susceptibles a virus aerosolizado
- 131 **Figura 5.1** Ubicación de la zona de estudio
- 134 **Figura 5.2** Ubicación de las Estaciones
- 135 **Figura 5.3** Impactador de Cascada Marca Tisch Environmental de 2 etapas
- 135 **Figura 5.4** Etapas del impactador de Cascada
- 136 **Figura 5.5** Distribución de los tamaños de las partículas según las etapas y su comparación con el sistema respiratorio humano
- 144 **Figura 5.6** Promedio geométrico de la concentración de aerosoles biológicos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana
- 146 **Figura 5.7** Distribución de Microorganismos por tipo o medio de Cultivo
- 146 **Figura 5.8** Distribución Porcentual del tamaño de la partícula por Jornada y Campaña
- 148 **Figura 5.9** Distribución porcentual de los géneros de hongos asociados a las diversas campañas de muestreo



- 149 **Figura 5.10** Distribución Espacio-Temporal de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
- 150 **Figura 5.11** Distribución Espacio-Temporal de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde
- 151 **Figura 5.12** Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Fungí emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
- 152 **Figura 5.13** Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Fungí emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde
- 153 **Figura 5.14** Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Staphylococcus emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
- 154 **Figura 5.15** Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Staphylococcus emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde

Introducción

En los últimos años el creciente interés por evaluar las diversas fuentes de Contaminación Atmosférica, ha llevado a incrementar la inversión a nivel mundial en investigaciones orientadas no sólo a cuantificar la contaminación física y química, sino a estimar la contaminación del aire originada por microorganismos; en principio, porque ha sido posible establecer que las emisiones atmosféricas de origen biológico representan riesgos para la salud de los seres humanos, generando a corto y mediano plazo problemas de salud pública que pueden afectar a una comunidad, a una población, a un país o grupo de países.

En el campo de la Ingeniería Ambiental se han implementado tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y aguas para consumo humano, así como para el aprovechamiento, tratamiento y disposición de residuos sólidos municipales, que a su vez han originado otras fuentes de contaminación por la generación y dispersión de aerosoles biológicos.

Esta situación ha fomentado el estudio de emisiones de origen biológico conocidas como Bioaerosoles, asociadas tanto a actividades industriales y agrícolas en ambientes *outdoor*, como a su presencia en instalaciones para el cuidado de la salud, residencias, oficinas y aulas de clases en ambientes *indoor*. Las posibles consecuencias nocivas de



tipo ambiental y los efectos sobre la salud humana derivados de la exposición de Bioaerosoles *indoor* y *outdoor*, han renovado el interés de investigaciones en Calidad del Aire y en el área específica de Microbiología del Aire.

Capítulo 1

Andrés M. Vélez-Pereira
Diana M. Henao-Marín
Yiniva Camargo Caicedo

Generalidades de los Aerosoles Biológicos

Aerobiología, su Historia y Actualidad

La mayoría de los organismos se transportan de un lugar a otro en algún momento de su vida. Para algunos, el movimiento se produce dentro de su mismo hábitat, mientras que para otros se presenta un amplio espectro de posibilidades de largo alcance siendo la atmósfera el medio de transporte que muchos utilizan (Gage et al., 1999). Pasteur, en su importante trabajo realizado en 1862 en el recuento de bacterias de la atmósfera, manifestó que "sería de mayor interés multiplicar los estudios sobre este tema" (Ariatti & Comtois, 1993). Pasteur, no sólo atacó el paradigma de la generación espontánea, sino que también estableció que el polvo suspendido en el aire incluía gérmenes o aerosoles biológicos (Levetin & Horner, 2002). De este primer impulso, gran número de investigadores han dedicado sus trabajos a este desafío (Comtois, 1997), y es Pierre Miquel (1850-1922), también llamado el primer pro-

fesional de la aerobiología (Comtois, 1997), quien tomó literalmente el deseo de Pasteur, pues fue uno de los padres de esta disciplina, a la que inicialmente le llamó Micrografía Atmosférica.

La aerobiología ha experimentado un desarrollo sustancial durante los últimos 150 años, presentando considerables avances desde "la edad de oro de la aerobiología" hasta la actualidad. "La edad de oro de la aerobiología" transcurrió entre los años 1861-1882, y consistió en la caza de organismos suspendidos en el aire que conducían al desarrollo de una enfermedad que estaba en su apogeo (Comtois e Isard, 1999).

El término aerobiología fue acuñado en los años 30 por Fred C. Meier, encargado de estudiar el aerotransporte pasivo de los microorganismos, su identificación, comportamiento, movimiento y supervivencia, de manera conjunta con los conocimientos de microbiología, meteorología física de los aerosoles y química atmosférica (Gregory, 1973; Rosas et al., 2005).

En 1837 fue encontrado el primer microorganismo en la atmósfera cuando Schwann demostró la causa de fermentación y putrefacción en una sala con material estéril, mientras que Pauster en 1862 y Vlandavets & Mats, 1958 demostraron que universalmente se encuentran en la atmósfera de los laboratorios de investigación. Otras investigaciones, señalan que los microorganismos en el aire fueron descubiertos en la superficie medida en el mar (Certes, 1984; Fischer, 1886) por Charles Lindbergh, mediante la exposición de placas de Petri a través de la ventana de un avión sobre el Océano Atlántico en 1933 (Meier, 1935a; Meier, 1935b) y durante viajes que realizaba sobre el Mar Caribe en aviones comerciales (Meier, 1936). Posteriormente con una toma de muestras en suspensión en el aire, se logró comprobar la presencia de las bacterias al aire libre en relación con las masas de aire (Fulton 1966a; Fulton 1966b; Fulton y Mitchell, 1966), la actividad urbana (Fulton 1966c, Fulton y Mitchell, 1966), y la altitud (Fulton, 1966c).

Sin embargo, la existencia de una multitud de corpúsculos en el aire fue reportada desde la antigüedad. Lucretius (55 a.C.) observó las partículas de polvo brillando en un rayo de sol en una habitación oscura y concluyó

que su movimiento se debía al bombardeo de innumerables e invisibles átomos en el aire; no obstante, fue necesario esperar al descubrimiento del microscopio para comprobar que en el aire existían microorganismos vivos (de la Rosa et al., 2002). Un siglo después, Ehrenberg, en sus numerosas memorias publicadas de 1822 a 1858, demostró que tanto las partículas atmosféricas del interior de las casas y hospitales como las del aire exterior de elevadas montañas, estaban compuestas de esporas criptogámicas; en esta misma época en Francia, Gaultier de Claubry (1855), inauguró la investigación científica de las partículas atmosféricas, mas fue Pasteur el que perfeccionó los procedimientos empleados por este investigador y realizó los primeros estudios precisos de las bacterias del aire, cuando demostró la no existencia de la generación espontánea (De la Rosa et al., 2002).

Más adelante, uno de los motivos que propiciaron el estudio de los microorganismos del aire fue descubrir la causa de algunas enfermedades (Lighthar & Shafer, 1995); justificado en lo sucedido durante la epidemia de cólera que apareció en Europa en 1847 y 1848, donde Ehrenberg en Berlín, Swagne, Brittan y Budd en Inglaterra, Robin y Pouchet en Francia, realizaron diversas investigaciones para descubrir en el aire de los hospitales los “gérmenes” causantes de esta enfermedad (Miquel y Cambert, 1901). De igual forma otros investigadores como Selmi en Italia y Salisbury en EEUU (1866), realizaron estudios en el aire de los pantanos con el fin de conocer la causa de la fiebre intermitente y la malaria (De la Rosa et al., 2002), debido a que se creía que el viento podía traer enfermedades al hombre, a los animales y a las cosechas. De hecho, Hipócrates (460-377 a. C.), considerado el padre de la ciencia médica, sostenía que el hombre era atacado por fiebres epidémicas cuando inhalaba aire infectado de contaminantes que son hostiles a la raza humana (Gregory, 1973).

A partir de 1882 se generalizaron los análisis microbiológicos del aire, estudiándose el número y tipo presentes en diversos ambientes, donde Pierre Miquel fue el que realizó numerosos y variados estudios, analizando tanto el aire confinado de casas y hospitales como la atmósfera de diversas calles de París, parques, el cementerio de Mont Parnasse, e incluso las alcantarillas, no sólo determinando el número de microorga-

nismos por metro cúbico de aire (presente en cada uno de estos ambientes) sino su naturaleza y propiedades patógenas, así como la influencia de los diversos factores ambientales (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, etc), y la posibilidad de transmisión de enfermedades contagiosas por el aire (Miquel & Cambert, 1901), obteniendo resultados válidos y reafirmados en la actualidad por investigadores modernos. Ejemplo de esto es la correlación efectuada entre las estaciones del año y la concentración de bacterias presentes en el aire, y su relación con la altura, afirmando que la concentración de las bacterias disminuía con la altura (De la Rosa et al., 2002)

Para mediados del siglo XIX, se continúa con el pensamiento que las enfermedades se generaban por “aire envenenado”, planteando la hipótesis sobre la existencia de bacterias patógenas en el aire, lo que condujo a Lister en 1867 a la implementación de pulverizaciones del aire con ácido carbónico, para evitar la infección de las heridas quirúrgicas, iniciándose así la época de la asepsia en la cirugía (De la Rosa et al., 2002). Posteriormente se demostró la presencia en el aire de varias bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Mycobacterium tuberculosis*, entre otras, confirmando las afirmaciones planteadas acerca de la posibilidad de transmisión por el aire de enfermedades infecciosas como la escarlatina, tuberculosis, tosferina y rubéola (Macé, 1913).

En el siglo XX, el estudio de los microorganismos del aire sufre grandes altibajos; los primeros años se continuaron analizando diversos ambientes, siguiendo la línea de los investigadores del siglo XIX, siendo los más novedosos los realizados en el metro de Londres por Andrews en 1902 y Forbes en 1924, y en Nueva York por Soper en 1908 (Gregory, 1961). Es así como a lo largo de la historia, un sinnúmero de investigadores, precisan la necesidad de realizar estudios enfocados a establecer la supervivencia de los microorganismos en los aerosoles, tanto de bacterias, como de *Bacillus* (Harper et al., 1952), *Escherichia coli*, *Pseudomonas* (Brown, 1953), *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Serratia*, *Mycobacterium* (Ferry et al., 1958), *Staphylococcus* (Webb, 1959), al igual que hongos, como el *Aspergillus*, o la *Pestalotia* (Mazur & Weston, 1955), o virus como la influenza (Schechmeister, 1950).

La aerobiología es una ciencia que, poco a poco, ha retomado campos y aplicaciones científicas cada vez más, implicando especialidades aplicadas con carácter interdisciplinario de diversas áreas del conocimiento como la agronomía, la medicina, la física, la botánica, la zoología, la ecología, la microbiología, entre otras (Recio, 1999). Así mismo, en estos años se observa una mayor preocupación por el control del aire de los ambientes *indoor*, principalmente en los hospitales, industrias farmacéuticas y alimentarias; así por ejemplo, en 1969, la Organización Mundial de la Salud- OMS dicta las primeras normas recomendadas para la fabricación y la inspección de la calidad de los medicamentos, en los que se incluye el control microbiano del aire de los locales (Anónimo, 1969). Desde entonces, los estudios aerobiológicos de estos ambientes retoman mayor interés, reportándose actualmente como una práctica habitual e incluso obligatoria (Anónimo, 1985), la realización de recuentos y controles periódicos del aire de las zonas estériles y limpias de hospitales (Denyer, 1992) e industrias farmacéuticas (Anónimo, 1996; De la Rosa et al., 2000). Adicional a esto, suele evaluar y/o controlar otros ambientes *indoor*, como fábricas de equipos electrónicos, escuelas y edificios de oficinas, justificando este último ambiente, al hecho que en los últimos años, se ha descrito una nueva enfermedad denominada “el síndrome del edificio enfermo”, generando en los ocupantes de la edificación problemas de salud bajo los mismos patrones sintomáticos (Berenguer, 1991; Negro, 2004b).

Otros de los campos actuales de interés en la aerobiología, es el estudio de la presencia de polen en las emisiones de aerosoles biológicos, puesto que es el causante de la mayoría de las alergias presentadas, durante las épocas de florecimiento en primavera, según lo presentado en 1902, por el fisiólogo francés Carlos Richet, demostrando que los venenos y las sustancias tóxicas, en lugar de provocar en el animal un progresivo aumento de resistencia, lo hacían más sensible, llegando en algunos casos a ser letales en dosis verdaderamente insignificantes. Poco después, otros investigadores observaron que los fenómenos de hipersensibilidad también eran producidos por productos no tóxicos, como era el caso de los granos de polen, lo que dejó sentada la teoría de Blackley, y el polen quedó considerado como un elemento alergénico capaz de desencadenar fenómenos realmente patológicos (Recio,

1999). Desde principios del siglo XX hasta hoy, los estudios aerobiológicos asociados al polen, se han direccionado rápidamente hacia el campo medicofarmacológico.

En la actualidad, la aerobiología es una ciencia ampliamente estudiada, desde diversos enfoques, pero con un fin común, establecer las concentraciones, tipos y características de la microbiota presente en la atmósfera, evaluando la correlación de los microorganismos y las condiciones atmosféricas locales, con el objetivo de establecer los impactos que produce la presencia de los aerosoles biológicos en el ambiente y en la salud pública, como resultado de comprobar que el aire se ha convertido en un medio de dispersión de agentes patógenos y no patógenos para los seres vivos.

Generalidades de los Microorganismos en el Aire

Los microorganismos en la atmósfera no se consideran como una microbiota autóctona, dado que la atmósfera se convierte en medio para la dispersión rápida y global de muchos tipos de microorganismos; estimando una importante transferencia de microorganismos y de sus metabolitos gaseosos entre la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, reportándose en la troposfera inferior un gran número de ellos (de la Rosa et al, 2002).

La presencia de microorganismos suspendidos en el aire posee diversos tipos de denominación, dependiendo del tipo de clasificación que se esté realizando; es así como se denominan aerosoles biológicos, partículas biológicas, partículas aerotransportables biológicas o bioaerosoles, a toda clase de material biológico que se encuentre suspendido en el aire y que contiene organismos viables y no viables tales como bacterias, virus, hongos, polen, insectos muy pequeños o sus desechos, e incluso compuestos de origen microbiano tales como endotoxinas β -1,3-glucanos o micotoxinas (Huang et al., 2002; Toivola et al., 2002; Douwes et al., 2003; Rengasamy et al., 2004; Sergey & Reponen, 2004;

Peccia & Hernandez, 2006; Sánchez-Monedero et al., 2006). Otra denominación recibida de los microorganismos presentes en el aire, es la de partículas aerotransportables viables, aerosol biológico viable o material biológico viable, difiriendo en el hecho, que sólo determinan el material que se encuentra de forma viable en la atmósfera.

La importancia de establecer el tipo de agente biológico (bacterias, hongos, virus, polen, etc.), su concentración (unidades formadoras de colonias por metro cúbico UFC/m³) y el estado (Viables o no Viables) de los microorganismos en el aire, se debe a que por sus características propias, puedan llegar a causar afecciones a los seres vivos, causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección como se presenta en el capítulo 4 (Madelin, 1994; Cox & Wasthes, 1995; Verhoeff & Burges, 1997; Martinez, 1999; Burgues & Roger, 2000; Douwes et al., 2003; Institute of Medicine (IOM), 2004; Rengasamy et al., 2004; O'Hara & Rubin, 2005).

A la atmósfera se pueden introducir una gran variedad de partículas de origen biológico, como granos de polen, esporas fúngicas, bacterias, algas, protozoarios, insectos y, ocasionalmente virus (Rosas et al., 2005), provenientes de diversos tipos de fuentes naturales, propias de los procesos dinámicos de los sistemas ambientales, o bien de origen antropogénico, asociados principalmente a las actividades urbanas realizadas en áreas con altos niveles de densidad poblacional.

En general, las partículas predominan en las partes bajas de la atmósfera, cerca de las fuentes locales de generación (Rosas et al., 2005), sin que ello sea una verdad absoluta, puesto que se han recuperado algunas esporas de hongos y bacterias pigmentadas desde unos 48 a 77 km de altura aproximadamente (Imshenetsky et al., 1978; Simek et al., 1999). Sin embargo la permanencia, transporte, dispersión, supervivencia y capacidad patogénica de los microorganismos en el aire, estará sujeta a la interacción que mantienen la masa de aire donde se transporta, el tipo de microorganismo, los factores ambientales y locales, que en últimas permitirán establecer cómo se regulan los procesos de dispersión y viabilidad de los aerosoles biológicos (capítulo 3).

En general los diversos tipos de microorganismos presentes en la atmósfera están en función de la fuente generadora, así mismo su dispersión estará en función de las condiciones atmosféricas locales y diámetro aerodinámico, mientras que su permanencia y viabilidad estarán supeditadas además de las condiciones locales al tipo de microorganismo.

Aerobacterias

“¿Estamos en la era de las bacterias?”

Nuestro planeta ha estado siempre en la era de las bacterias, son y siempre han sido las formas dominantes en la Tierra. Nuestro fracaso en comprender este, el más evidente de los hechos biológicos, surge en parte de la ceguera de nuestra arrogancia, pero también, en gran medida, como un efecto de escala.”

Stephen J. Gould (1941-2002)

Partiendo de la afirmación hecha por Gould S.J., se estima que dentro del grupo de los seres vivos, las bacterias constituyen uno de los seres más abundantes en el ambiente. En condiciones naturales se les encuentra en el suelo, el agua, y las plantas, principalmente como organismos saprobios (Rosas et al., 2005). Las bacterias suspendidas en la atmósfera reciben el nombre de aerobacterias o aerosoles bacterianos, debido a que carecen de mecanismos activos de liberación, son introducidas a la atmósfera por procesos mecánicos, directamente por la acción del viento y la lluvia sobre el suelo, los cuerpos de agua y la superficie de las hojas, e indirectamente por la acción de las olas y la formación de burbujas sobre los sistemas acuáticos (Rosas et al., 2005). Es por esta razón que generalmente se encuentran asociadas a partículas, por lo que su concentración aumenta durante las épocas secas, debido al transporte convectivo de las partículas provenientes de las superficies secas; sin embargo, durante la época de lluvia su número disminuye significativamente por los procesos de lavado atmosférico.

Toxinas Bacterianas: Exotoxinas y Endotoxinas

Algunas bacterias producen sustancias venenosas de peso molecular elevado conocidas como toxinas, representando la capacidad de este tipo de microorganismos para causar o generar una enfermedad. Las toxinas producidas por los microorganismos pueden ser excretadas al medio que les rodea, conocidas como exotoxinas, o bien pueden ser retenidas dentro de la célula, denominadas endotoxinas (exotoxinas bacterianas, s.f.).

Exotoxinas

Las exotoxinas son proteínas termolábiles, a menudo enzimas, solubles, que se inactivan entre los 60 y 80° C, liberada por el microorganismo patógeno durante su crecimiento, sintetizados por agentes patógenos específicos que poseen plásmidos o prófagos, capaces de transportar los genes codificadores de la exotoxina. Sus concentraciones tóxicas se presentan en dosis pequeñas (mg/g ejemplo la toxina del botulismo), y estimulan la producción de anticuerpos denominados antitoxinas, en la figura 1.1 se muestra la clasificación que reciben las exotoxinas según su mecanismo de acción y el sitio de acción (ADOS Academia, s.f.)

Es preciso contextualizar, que las enterotoxinas, son la que tienen como su lugar de acción el sistema digestivo (estómago) y que las neurotoxinas, actúan en el sistema nervioso central (cerebro); en donde la neurotoxina producida por el *Clostridium Botulinum sp.*, produce, la que hasta ahora se considera una de las sustancias más venenosas de origen natural en el mundo, y es la más tóxica de las proteínas. A pesar de que es altamente tóxica, se emplea en dosis de dos minutos para el tratamiento de espasmos musculares dolorosos, así como un tratamiento cosmético en algunas partes del mundo (Botulinum toxic, 2008).

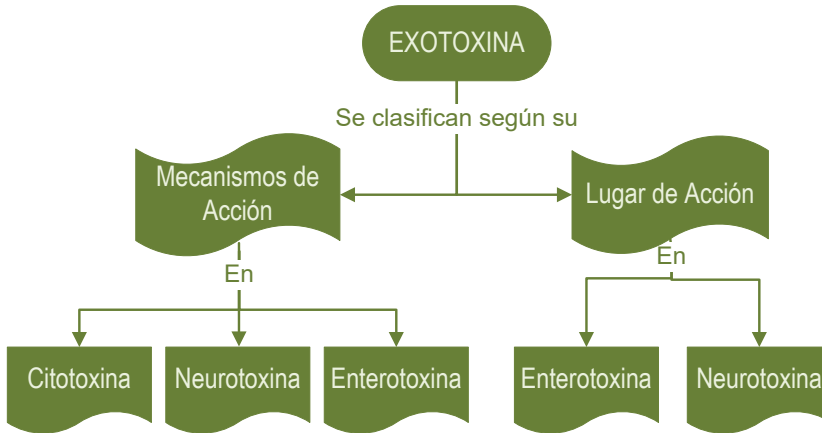


Figura 1.1 Clasificación de las exotoxinas según su mecanismo y lugar de acción.

Endotoxinas

Sólo están presentes en la pared externa de las bacterias Gram negativas, denominadas así por estar ligada a la bacteria, y se liberan cuando el microorganismo es destruido. No obstante, se reporta que parte de las endotoxinas también se pueden liberar durante los procesos de multiplicación bacteriana. A diferencia de las exotoxinas, las endotoxinas se caracterizan por ser termoestables, tóxicas en dosis elevadas y producen efectos en la salud humana tales como fiebre, shock, entre otros.

Tabla 1.1 Tipos de Toxinas Bacterianas.

CARACTERÍSTICAS	ENDOTOXINAS	EXOTOXINAS
Tipo bacteriano	Bacteria Gram negativa (liberadas al morir la bacteria y durante el crecimiento)	Mayoría de bacterias Gram positivas, algunas Gram negativas (excretadas por células vivientes, concentración grande en el medio líquido)
Ubicación celular	Lipopolisacárido de la pared celular	Citoplasma
Estructura química	Proporción lipídica del polisacárido	Proteínas
Referencia de microorganismos	<i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella Pseudomonas</i> , <i>Neisseria Haemophilus</i> entre otros	<i>Clostridium tetani</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , Especies de <i>Salmonella spp.</i> , Especies de <i>Shigella spp.</i> , Especies de <i>Klebsiella spp.</i>

Adaptado de: Solis (2004)

Dentro de los compuestos presentes en las partículas biológicas contaminantes, susceptibles de ser inhalados, las endotoxinas han recibido especial atención por su capacidad para estimular respuestas inflamatorias, aunque el recurso inflamatorio es algo deseable y benéfico para el organismo, éste puede volverse exagerado y adverso ante la inhalación de endotoxinas en concentraciones altas o persistentes, fundamentalmente frente a la penetración de endotoxinas al torrente circulatorio o ante la exposición a endotoxinas en individuos susceptibles. En la actualidad se acepta que las endotoxinas presentes en las partículas contaminantes representan un potente inductor de inflamación (Rosas et al., 2005). En la tabla 1.1, se observan las principales características y diferencias entre las endotoxinas y exotoxinas.

Fuentes

La superficie de los vegetales se considera un sistema abierto, en continuo intercambio con la atmósfera. Este hábitat aéreo, cercano a la superficie de las plantas y con el que se mantiene cierta relación, se conoce con el nombre de filosfera, y sus habitantes son llamados epífitos.

La filosfera al ser un hábitat natural de muchos microorganismos (saprobios o patógenos), entre los que se incluyen las bacterias, contribuyen de manera importante a incrementar el número de éstas suspendidas en el aire, por la acción del viento y de la lluvia, así como por el roce entre las mismas hojas (Lindow, 2002); condiciones tales que la filosfera puede llegar a ser, durante la época húmeda del año, una fuente potencial de emisión de aerobacterias, al liberar una mayor carga bacteriana a la atmósfera desde la vegetación, que el suelo. Es por esto, que el interés por el estudio de la filosfera se deriva de la necesidad de conocer el comportamiento (dispersión, colonización, sobrevivencia y patogenicidad), así como el control de los fitopatógenos, que son abundantes en este ambiente (Rosas et al., 2005).

Pese a que la filosfera, fuente natural de aerobacterias que contribuye de forma significativa en la emisión de aerobacterias epifitas, también los animales y el hombre constituyen una fuente importante de bacterias patógenas; puesto que las bacterias contenidas en la saliva se liberan

a la atmósfera al hablar, toser y estornudar; de igual forma la descamación de la piel y el cabello es una fuente constante de generación de bacterias, así como de virus, y hongos; de igual forma las heces de animales y humanos pueden contaminar el suelo con microorganismos potencialmente patógenos, y existe la posibilidad de que sean suspendidos posteriormente en la atmósfera, por procesos mecánicos naturales (corrientes convectivas, fuerzas eólicas, entre otros) (Rosas et al., 2005). En diversas muestras de polvo urbano (datos no publicados) y ambientes *indoor* de las viviendas de la Ciudad de México, se ha aislado *Escherichia coli*, indicadora de contaminación fecal, y que constituye el 40% del total de bacterias coliformes aisladas en el polvo (Rosas et al., 1997), lo que indica un riesgo potencial de contaminación por ésta y otras bacterias patógenas, así como por virus o parásitos (Rosas et al., 2005).

Dentro de las fuentes antropogénicas de emisión de aerobacterias, se reconocen los sistemas de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales como la principal fuente potencial (Carducci et al., 2000; Stetzenbach, 2002; Agronovski y Ristovski, 2005; O'hara y Rubin, 2005; Fracchia et al., 2006; Katsivela y Karra, 2007; Sánchez-Monedero et al., 2007; Kuo et al., 2008; Sanchez-Monedero et al., 2008; Grisoli et al., 2009; Korzeniewska et al., 2009), emitiendo gran cantidad de enterobacterias, principalmente de origen fecal humano y animal (Gerardi y Zimmerman, 2005; Sánchez-Monedero et al., 2007), producto de los movimientos mecánicos que tienen lugar en los procesos de tratamiento (Carducci et al., 2000).

Las actividades agrícolas se consideran como otras de las actividades antropogénicas potenciales de emisión de aerobacterias, por ejemplo las granjas avicultoras, generan concentraciones considerables de *Salmonella spp.*, la cual ha demostrado un alto potencial patógeno a concentraciones relativamente bajas de 10^1 a 10^2 UFC/m³ (Venter et al., 2004). En general se pueden describir las diferentes actividades antropogénicas generadoras de aerobacterias, dentro de las que sobresalen las de aerobacterias altamente patógenas como es el caso de los sistemas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos como rellenos sanitarios, compostaje, lombricultura (Millner et al., 1994; Rosas et al., 2005;

Poulsen et al., 1995; Huang et al., 2002; Swan et al., 2003; Lis et al., 2004; Rodriguez et al., 2005; Sanchez-Monedero et al., 2006), las zonas y edificaciones con alta densidad poblacional, y la industria alimentaria, específicamente aquellas basadas en procesos de fermentación como licorerías, viñedos, entre otros (Cullinan et al., 2001). Estas fuentes de aerobacterias se resumen en la tabla 2.1.

En conclusión se reconoce que las bacterias están presentes en la atmósfera de ambientes *indoor* y *outdoor*, y que su inhalación representa un riesgo para la salud, ya sea en su forma vegetativa o parte de sus compuestos estructurales denominados “compuestos biogénicos”, como son los lipopolisacáridos de la membrana externa de las bacterias Gram negativas y los ácidos teicoicos de las Gram positivas (Rosas et al., 2005).

Aerosoles Fungí

Los aerosoles fungí constituyen un grupo de organismos que posee un amplio rango de nichos ecológicos, lo que hace posible encontrarlos en la roca expuesta (líquenes), el océano (hongo marino), en el polo norte y los trópicos (Carroll and Wicklow, 1992), por lo que cada uno de ellos desarrolla un mecanismo diferente para la obtención de nutrientes. Algunos son parásitos obligados, otros existen en relación simbiótica con raíces de plantas para formar micorrizas o con algas para formar líquenes; un grupo importante de fungí sobrevive como saprofitos y muchos de éstos se han identificado en ambientes *indoor* de edificios como responsables de afecciones y enfermedades (Miller, 1992; Samson, 1992; Miller, 1993; Gravesen et al., 1994; Samson et al., 1994).

Los aerosoles fungí producen una variedad de metabolitos secundarios, incluyendo micotoxinas y compuestos orgánicos volátiles que resultan peligrosos para la salud, debido a que pueden ser irritantes y activos químicamente, representando riesgos para los individuos que se encuentren expuestos a éstos.

En ambientes *indoor* la presencia de aerosoles fungí suele estar determinada por las condiciones ambientales (tales como el aire *outdoor*,

el sistema de ventilación, la densidad de ocupación, los sistemas de calefacción, la humedad relativa, el flujo de ventilación, entre otros), el muestreo de aire, muestreo de fuente y superficie, el análisis de la muestra, el análisis de riesgo, y finalmente, las acciones de remediación (Burge, 1990).

Existen dos importantes factores que afectan directamente los aerosoles fungí y son: la disponibilidad de alimento y agua para el crecimiento y los métodos de dispersión de esporas. Otros parámetros físicos, químicos y biológicos que afectan el crecimiento de los aerosoles y por tanto, la población de aerosoles fungí pueden ser identificados en recientes referencias como Carroll and Wicklow, 1992; Griffin, 1993. A continuación se hará referencia a los substratos necesarios para el crecimiento de aerosoles fungí, incluyendo el agua.

Los aerosoles fungí son microorganismos sin clorofila cuyas necesidades energéticas se reducen a requerimientos de azúcares simples, carbohidratos, y otros compuestos orgánicos, tales como vitaminas y aminoácidos. En ambientes naturales, los aerosoles fungí han desarrollado mecanismos para obtener sus nutrientes (Griffin, 1993), como el parasitismo, la simbiosis y las relaciones saprofíticas con otros organismos.

Los aerosoles fungí en busca de subsistencia comparten espacio con los seres humanos, y se depositan en alimentos causándole deterioro o haciéndolos tóxicos para los humanos. Es el caso de *Botrytis cinerea* una conocida enfermedad causada por hongos en uvas, fresas y otros frutos; igualmente especies de *Penicillium* y *Aspergillus* frecuentemente causan deterioro de alimentos haciéndolos no consumibles ni por humanos ni animales.

Los hongos también son conocidos por causar manchas y deterioro a la madera, biodegradación de polímeros, alfombras, papel tapiz, yeso, pinturas, recubrimientos orgánicos, combustibles y lubricantes, cuero y productos de papel (Morgan-Jones and Jacobsen; Llewellyn and O'Rear, 1990; Zabel and Morrell, 1992; Gravesen, 1994). En resumen, existe una alta probabilidad que se favorezca el crecimiento de hongos

en diversos ambientes en los que los seres humanos realizan sus actividades.

Uno de los factores críticos que afectan el crecimiento de hongos en ambientes *indoor* es la disponibilidad de agua o contenido de humedad; ésta es expresada en porcentaje en base seca o mediante la actividad del agua, la cual es expresada como la relación entre la presión de vapor de agua en el sustrato y presión del vapor en agua pura. Se presentan hongos comunes que requieren una actividad del agua cercana a la unidad para su crecimiento, mientras que hongos xerofílicos utilizan rangos óptimos de actividad entre 0.65 y 0.90 (Gravesen, 1994).

Esporas Fúngicas

Las esporas fúngicas y ocasionalmente los fragmentos de hifas son dispersados y diseminados en el aire de un lugar a otro. Éstos pueden no sobrevivir y completar su ciclo de vida, debido a que permanecen suspendidos en el aire por periodos de tiempo indefinido.

Las esporas fúngicas son dispersadas por dos mecanismos:

- (i) Descargas de esporas activas
- (ii) Dispersión de esporas pasivas

Las esporas fúngicas son conocidas por registrar valores pico en ciertas horas del día o la noche; esta periodicidad está relacionada con los mecanismos de descargas de las esporas y las condiciones ambientales (Lacey, 1991; Yang, 1995).

Los hongos con descargas de esporas activas incluyen aerosoles fúngicos como *Sporobolomyces*, *Epicoccum*, y *Nigrospora*, entre otras. *Sporobolomyces* spp. y algunas basidiosporas son usualmente más abundantes en la noche o en horas de la madrugada. Las esporas liberadas requieren la absorción de humedad para incrementar la liberación. Las esporas fúngicas *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* son hidrofóbicas; se aerotransportan en forma pasiva mediante el movimiento del aire o

gotas de lluvia. *Cladosporium* con frecuencia determina la población de esporas aerotransportables durante el día, debido a la flotabilidad del aire caliente (Yang and Johanning, 2003).

Algunos hongos liberan sus esporas en forma de nube o bocanada, cuando impactan con gotas de lluvia, humanos o pequeños animales (Levetin, 1995). Las nubes de esporas pueden persistir por un periodo de tiempo antes de ser dispersadas por el aire, siendo éste un factor que afecta los resultados de los monitoreos.

Muchos hongos presentes en ambientes *indoor* y *outdoor* producen esporas dentro de una masa viscosa; dentro de éstos se tienen los del género *Acremonium*, *Stachybotrys*, *Fusarium* y *Trichoderma*. Las esporas viscosas pueden ser liberadas en el aire, cuando se comienza a reducir el contenido de humedad son perturbadas o son adheridas a otras partículas, insectos, animales o agua (Yang, 1995).

Micotoxinas

Sustancias tóxicas para los seres humanos y animales, producidas por aerosoles fungí como resultado de sus procesos metabólicos, tales como los compuestos venenosos hallados en algunos hongos o setas y los metabolitos de algunas especies de microfungís.

Muchos de los venenos de los hongos son polipéptidos o toxinas derivadas de aminoácidos (Griffin, 1993). Algunos hongos son conocidos por producir metabolitos secundarios o micotoxinas, que cuando son ingestadas, inhaladas o han sufrido contacto con la piel, son peligrosas para animales y humanos (Yang and Johanning, 2003). Estas micotoxinas pertenecen químicamente a los alcaloides, ciclopéptidos, entre otras (Griffin, 1993). Los efectos nocivos de las toxinas en humanos han sido ampliamente descritos e investigados en relación a enfermedades transmitidas por alimentos afectando algunos animales o produciendo brotes regionales en seres humanos (Peraica, 1999).

Las micotoxinas han sido denominadas agentes en búsqueda de una enfermedad, por las múltiples presentaciones y órganos involucrados

en los procesos de infección o de transmisión de enfermedades. Algunas micotoxinas como el ácido lisérgico, son derivadas de aminoácidos (tales como triptófano). Otras micotoxinas pueden ser derivadas de diversos precursores que permiten agruparlas en toxinas aromáticas y fenólicas, y toxinas terpenoides (Yang and Johanning, 2003); dentro del primer grupo se distinguen aflatoxina, zearalenona, y griseofulvina, mientras que las toxinas terpenoides incluyen tricotecenos y fusidanos (Griffin, 1993).

Existen más de 200 micotoxinas producidas por una variedad de hongos comunes de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud “Environmental Health Criteria 105” sobre micotoxinas (WHO, 1990). The International Agency for Research on Cancer en 1993, clasifica aflatoxina descubierta en 1961 en *A. niger* y *A. parasiticus* como cancerígena para animales y humanos, afectando a los trabajadores que desarrollan sus actividades con alimentos y granos, por la inhalación de estas micotoxinas que originan cáncer respiratorio ocupacional.

Casos como los anteriores se encuentran ampliamente documentados en la literatura científica para otras micotoxinas como Tricotecenos, Patulin, Gliotoxina, Ochratoxina, etc. y se revisan con mayor profundidad en el capítulo 4.

Fuentes

La detección de aerosoles fungí no se encuentra necesariamente relacionada con su crecimiento y dispersión en ambientes *indoor*, a pesar de ser éstos la principal causa de efectos adversos a la salud debido a la exposición a alérgenos, micotoxinas y COVs. Sin embargo, se conoce que los aerosoles fungí *indoor* proceden de ambientes *outdoor*, que ingresan a los espacios interiores mediante los sistemas de ventilación, por acción del viento, por transporte utilizando como medio animales o individuos, entre otros.

En ese sentido, resulta importante identificar y detectar los sitios de crecimiento y dispersión de aerosoles fungí para establecer las potenciales fuentes en las diversas actividades antropogénicas y los hongos predo-

minantes en el ambiente. Es así como ha sido posible establecer que los géneros de aerosoles fungí más frecuentemente son *Penicillium*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stachybotrys*, *Acremonium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Fusarium*, entre otras.

En la Tabla 1.2 se resumen las principales fuentes de aerosoles fungí con sus concentraciones de referencia en diversas categorías y actividades.

Tabla 1.2 Principales fuentes de Aerosoles Fungí.

FUENTES		AEROSOLES FUNGÍ	CONCENTRACIÓN	REFERENCIA
Categoría	Actividad			
Agricultura	Instalaciones para la cría de animales	No específicos	10^2 - 10^3 UFC/m ³	Duchaine et al., 2000
	Compostaje	Termofílicos	10^2 - 10^6 UFC/g	Straatsma, G. et al., 1994
	Procesamiento de maíz	No específicos	10^2 - 10^4 UFC/m ³	Jensen et al., 1993
	Cosecha y almacenamiento de cereales	No específicos	10^2 - 10^9 UFC/m ³	Burge et al., 1991; Eduard et al., 1990; Lighthart, 1984
Sistemas de acondicionamiento de aire	Sistemas HVAC	Termofílicos	10^6 esporas/m ³	Banaszak et al., 1974
		<i>Penicillium</i>	10^2 - 10^7 UFC/m ³	Krake et al., 1999
		<i>Penicillium chrysogenum</i>	10^4 UFC/m ³	Buttner et al., 1999
		<i>Micropolyspora faeni</i>	No cuantificado	Fink et al., 1971
	Torres de enfriamiento	No específicos	<LD- 10^2 UFC/ml	Burkhart et al., 1993
	Humidificadores portátiles	Diversos géneros	10^1 - 10^2 UFC/ml	Burge et al., 1980
Edificios públicos	Bibliotecas	Hongos en general	10^1 - 10^3 UFC/m ³	Jain, 2000
	Museos	Hongos en general	No cuantificado	Krake et al., 1999



FUENTES		AEROSOLES FUNGÍ	CONCENTRACIÓN	REFERENCIA	
Categoría	Actividad				
Materiales de construcción y mobiliario	Cielo raso, papel tapiz, aislamiento, superficies pintadas	Aspergillus spp.	102 UFC/m3	Kozak et al., 1980	
		Aspergillus versicolor	105 UFC/g	Johanning et al., 1999	
		Cladosporium spp.	102 UFC/m3	Kozak et al., 1980	
		Penicillium spp.	103 UFC/m3	Kozak et al., 1980	
		Stachybotrys chartarum	No cuantificado	Croft et al., 1986; Nikulin et al., 1994	
	Alfombra	Alternaria sp.	102 UFC/m3	Kozak et al., 1980	
		<i>Stachybotrys chartarum</i>	No cuantificado	Kozak et al., 1980	
	Yeso (paredes)	<i>Aspergillus versicolor</i>	104 -107 UFC/cm2	Hodgson et al., 1998	
		Mesofilicos	103 UFC/g	Pasanen et al., 1999	
		<i>Stachybotrys chartarum</i>	106 UFC/g	Andersson et al., 1997	
		Xerofilicos	102 UFC/g	Pasanen et al., 1999	
		Total esporas	107 esporas/g	Pasanen et al., 1999	
		Levadura	103 UFC/g	Pasanen et al., 1999	
	Polvo de casa	Alternaria	103 -104 UFC/g	Miller et al., 1988; Wickman et al., 1992	
		Cladosporium	103 -104 UFC/g	Miller et al., 1988; Wickman et al., 1992	
		Penicillium	103UFC/g	Miller et al., 1988; Wickman et al., 1992	
		Rhodotorula	103 -105 UFC/g	Wickman et al., 1992	
		Levadura	103 -106 UFC/g	Miller et al., 1988; Wickman et al., 1992	
		Plantas caseras (invernadero)	No especificado	103 -104 UFC/m3	Burge et al., 1982
		Demolición	No especificado	103 ->109 UFC/ m3	Rautiala et al., 1996; Rautiala et al., 1998

FUENTES		AEROSOLES FUNGÍ	CONCENTRACIÓN	REFERENCIA
Categoría	Actividad			
Industrial	Astillas de madera, fábrica de celulosa, aserradero	No especificado	104 -108 UFC/m3	Blomquist et al., 1984; Eduard et al., 1990
		Aspergillus fumigatus	102 -105 UFC/m3	Kotimma, 1990
		Penicilium sp.	101 -105 UFC/m3	Kotimma, 1990
	Procesamiento y almacenamiento de madera	No especificado	104 UFC/m3	Blomquist et al., 1984
		Cladosporium herbarium	103 UFC/m3	Jain, 2000
	Cajas de empaque	Aureobasidium pullulans	No cuantificado	Woodard et al., 1988
	Planta de reciclaje	Aspergillus fumigatus	104 UFC/m3	Reinthaler et al., 1999
	Relleno sanitario	Mesofilicos	103 -104 UFC/m3	Rahkonen et al., 1987
		Termofilicos	100 -104 UFC/m3	Rahkonen et al., 1987
	Manejo de residuo	No especificado	105 UFC/m3	Kiviranta et al., 1999
Transporte	Automóviles privados	No especificado	No cuantificado	Kumar et al., 1984; Simmons et al., 1999
	Buses públicos	No especificado	102 ->105 UFC/m3	Van Netten et al., 1997
Tratamiento aguas residuales	Proceso de lodos activados	Mesofilicos	LD-103 UFC/m3	Jones and Cookson, 1983

LD: límite de detección

Adaptado de: Stetzenbach, 2003 y otras fuentes

Aerosoles Víricos

La existencia de los virus en el aire ambiente (ambientes *indoor* y *outdoor* no controlados) nunca se ha confirmado (Verreault et al., 2009) y/o asociado a los aerosoles biológicos (Torremorell et al., 1997) de una forma científica, sin embargo muchos estudios afirman y señalan el aire como un medio de transmisión o ruta utilizada en los procesos epidemiológicos (por ejemplo, las pandemias); con base en esto, algunos autores afirman que los virus también pueden encontrarse en el aire en forma de aerosoles biológicos y ser fácilmente transportados en las masas de aire (Hugh-Jones & Wright, 1970; Gloster et al., 1981; Donaldson,

1987; Torremorell et al., 1997; Mortensen et al., 2002; Valarcher et al., 2008; Moules et al., 2009); a este tipo de microorganismos en el aire se le conoce con el nombre de aerosoles víricos, donde muchos de estos virus son de origen antropogénico, tales como el *Orto- y Para- mixovirus*, *poxvirus*, *picornavirus*, entre otros, que principalmente afectan el sistema respiratorio, presentándose una mayor frecuencia de contagio en los ambientes *indoor* (Sattar & Ijaz, 1997).

Muchas enfermedades infecciosas de transmisión aérea producidas por los virus han sido descritas por varios autores, es así como Lee et al. (1981) reportan la transmisión del virus Hataan, teniendo un radio de acción de 4 m. La fiebre aftosa es reportada en estudios realizados por Gloster et al., (1982), otros agentes víricos de los que se encuentran registros bibliográficos son: el agente etiológico de la enfermedad de Newcastle (Mitchell & King, 1994), el virus de la peste porcina clásica (Laevens et al., 1998; Dewulf et al., 2000), el virus de reproducción y síndrome respiratorio porcino (Torremorell et al., 1997), y el virus pseudorrabia (Partículas similares al virus - VLP) por Alphaherpesvirinae (Donaldson et al., 1983; Scheidt et al., 1991; Christensen et al., 1993; Gillespie et al., 1996). Y recientemente, se ha descrito la transmisión aérea de VHB1 en condiciones experimentales por Mars et al., (1999).

Generalmente los virus son más resistentes que las bacterias bajo las condiciones ambientales adversas; los aerosoles víricos tienen la característica de no ser inactivados con el oxígeno, siendo los virus desnudos más estables a humedades relativas altas y los envueltos a las bajas (Mohr, 2002). Éstos al igual que las bacterias, normalmente son introducidos a la atmósfera a través de desechos de origen humano y/o animal; sin embargo, su presencia como partículas individuales en el aire es poco peculiar, y su detección, cuantificación e identificación en muestras de aire es complicada, por lo que la evidencia de su presencia en aerosoles biológicos se ha establecido mediante estudios epidemiológicos en veterinaria. No obstante, existen reportes de la presencia del virus de la rabia en grutas habitadas por murciélagos, al igual que grupos de enterovirus, tales como, el *echovirus*, el *poliovirus* y el *coxsackievirus*, provenientes de muestras de aire obtenidas en sitios de riego con aguas negras (De la Rosa et al, 2002).

Por otra parte numerosas enfermedades víricas humanas transmitidas por el aire, producen infecciones en el aparato respiratorio superior (resfriado, faringitis) e inferior (laringitis, gripe, bronquitis, neumonías) o afectando otros órganos y tejidos, por ejemplo el sarampión, la paperas, la rubéola, la viruela, varicela, la poliomielitis (Chadwick et al., 1994). Adicionalmente, estudios de algunos brotes de gastroenteritis producidas por el virus de *Norwalk* y *Rotavirus*, indican que, aparte de la transmisión oral-fecal, podría existir transmisión aérea, por medio de aerosoles víricos formados durante el vómito (Chadwick et al., 1994). La transmisión de los virus causantes de fiebres hemorrágicas con elevada mortalidad no se conoce con certeza, pero en algunos casos la inhalación de aerosoles infecciosos, como los virus *Lassa* y *Sabia*, han producido brotes en hospitales y laboratorios de investigación (Sattar y Ijaz, 1997).

Es de resaltar, que se ha demostrado que los aerosoles víricos humanos alcanzan un transporte intercontinental por dispersión atmosférica, lo que podía explicar las pandemias de gripe que se han registrado en las últimas décadas (Sattar e Ijaz, 1997).

Fuentes

Las fuentes potenciales de emisión de aerosoles víricos, se encuentran asociadas según muchos autores a actividades de origen antropogénico, identificando a la ganadería, principalmente porcina y ovina, como una de las principales fuentes de emisión de virus altamente patógenos, tanto para el ganado, como para el ser humano, por contacto directo (trabajadores) o indirecto (consumidor del producto). El ganado porcino es responsable de la emisión de altos niveles de virus al aire, siendo relativamente resistentes a la infección por la vía aérea; en contraste el ganado vacuno, emite menos virus al aire, pero es altamente susceptible a la infección por esta vía; y por último se afirma que el ganado ovino excreta el virus al aire en niveles similares a los bovinos, pero se cree que son menos susceptibles a la infección por este medio que el ganado vacuno, debido al menor volumen de la respiración (New Directions, 2004).

Por otro lado, Taylor (1988) afirma que se pueden formar aerosoles víricos entéricos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, con diámetros que están típicamente a menos de 0.3 mm. (Taylor, 1988) al igual que De la Rosa et al. (2002) reportan la existencia virus de vegetales en aerosoles procedentes de plantas infectadas; por último se considera que los animales también son fuentes generadoras de aerosoles víricos, como los responsables de la glosopeda, pseudorrabia y el de la enfermedad de Newcastle, generando brotes en cerdos y pollos, respectivamente, a varios kilómetros del origen siguiendo la dirección del viento (Sattar & Ijaz, 1997).

El estudio de los aerosoles víricos en cuanto a las potenciales de emisión, se encuentra en su etapa de desarrollo, debido a lo complejo de establecer o no la presencia de estos agentes biológicos en el aire; sin embargo se están desarrollando tecnologías apropiadas que han permitido el aumento del interés sobre este grupo de aerosoles biológicos, principalmente como un mecanismo para prevenir las enfermedades y consecuencia que generan los aerosoles víricos en la ganadería.

Aerosoles Polínicos

La dispersión de las esporas en el aire, el polen y las semillas, liberadas de la vegetación, resulta importante para diversos procesos ecológicos y biológicos. El polen y la dispersión de semillas en el aire, son los mecanismos clave para la transmisión de información genética, para el crecimiento de la población, y para la migración de especies de plantas (Mullins y Emberlin, 1997; Kuparinen et al., 2007). Debido a que muchos patógenos de las plantas producen esporas, su dispersión es un proceso fundamental para la propagación de enfermedades de plantas diferentes (Kuparinen et al., 2007).

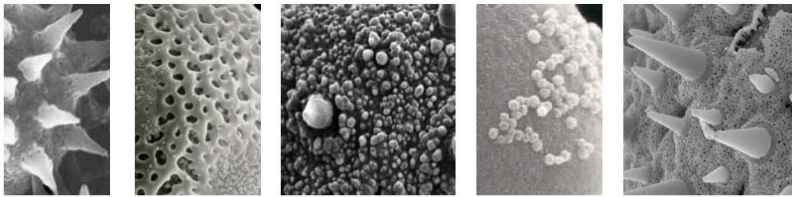
La vegetación, así como la composición significativa del ecosistema urbano, desempeña una función ecológica esencial (Meng et al., 2004); sin embargo, los inadecuados espacios verdes en la construcción, producen grandes cantidades de alérgicos de polen producto de las plantas que se han agregado en las zonas urbanas, problemática que se acentúa si se analizan factores como el efecto "isla de calor urba-

no” y la contaminación por transporte, ya que aumentan rápidamente el número de pacientes susceptibles a desarrollar polinosis, en las zonas urbanas (D’Amato y Liccardi, 2002; Nilsson et al., 2002; Herten y Hahtela, 2004; Editorial, 2005; Viinanen et al., 2005).

El estudio periódico y sistemático de los granos de polen presentes en la atmósfera ha tomado en los últimos decenios, una gran importancia; al principio muchos científicos se interesaron por las características biológicas de los granos de polen (Goldstein, 1960; Kanchan y Jayachandra, 1980), y posteriormente, el impacto generado en la salud humana, es el interés que se suscitaba a finales del siglo 20 (Park et al., 1994). La investigación sistemática de la composición, características fenológicas y los factores influyentes de las plantas de polen alergénico en el ecosistema urbano es significativa para el mejoramiento de calidad del aire, el medio ambiente verde, la construcción razonable y la mejora de la salud humana (Belmonte, 2003; Zhiyun et la., 2007).

Dentro del campo de la aerobiología, el estudio de polen transportado en el aire se denomina aeropolinología (De Benito, 2003). Así mismo, el polen transportado en forma de aerosoles en el aire, recibe el nombre de aerosoles polínicos; donde las plantas de polen alergénico se refieren a algunas plantas anemófilas, cuyas paredes de polen contienen proteínas específicas causantes de hipersensibilidad para las personas sensibles (Last y Guidotti, 1991; Durham, 1998; Ye et al., 1998).

El polen en el aire se puede clasificar en cuatro categorías según su origen, tales como árboles, hierbas, malezas, y los moldes, sin embargo, se suele realizar una caracterización, por el número, posición y características de las aperturas que poseen (Fernandez et al., 2008). (Ver figura 1.2)



A con espinas; B reticulada C verrugosa D granulada E mixta

Figura 1.2 Clasificación de los granos de polen según la forma, tamaño y estructura de la exina

Fuente: Fernández et al., 2008

La concentración de polen en la atmósfera, está sujeta a variaciones con el tiempo, principalmente asociada a los ciclos reproductivos de las plantas, y la distribución de la vegetación, mientras que la dispersión de polen estará en función del flujo de aire, causada por la variación geográfica (Latorre y Bianchi, 1997; Latorre, 1999; Latorre et al., 2001; Latorre y Caccavari, 2006). Igualmente, se reporta que la mayoría de polen de las plantas transportado en el aire ambiente, se da bajo condiciones de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento adecuada (Doskey y Ugoagwu, 1989; Moore et al., 1991; Puc y Wolski, 2002).

Otros factores que determinan la producción de polen en un área son la masa de vegetación y la composición de la flora local; estos factores son afectados por la presencia de actividad agrícola, urbanística o de obras públicas, por tanto la presencia y variación en el espacio y el tiempo del polen están condicionadas por los procesos aerobiológicos que afectan a cualquier componente biogénico en la atmósfera: producción, liberación, dispersión, transporte, deposición y resuspensión (de Benito, 2003).

El polen es asociado la mayoría de las veces a alergias en los seres humanos, por ejemplo, en investigaciones realizadas en Murcia España por Negro (2004a), se asocia al polen con la generación de distintas alergias primaverales, estornudos, mucosidad acuosa en la nariz y reacción en los ojos, principalmente. Charles Harrison Blackley, (1820-1900) determinó que una de las fuentes generadoras de las alergias

es el polen del césped (gramíneas), y esta situación se agudiza con la abundancia del polen en la atmósfera; igualmente Bernstein et al. (2008) y Winiwarter et al. (2009) reportan que las alergias más comunes que causan enfermedades secundarias son debidas a hongos y polen presentes en el aire, produciendo rinitis alérgica y asma. Con respecto al umbral de riesgo, Florido, et al. (1999) han informado que una concentración de aproximadamente 400 granos de polen por metro cúbico es suficiente para provocar los síntomas en los pacientes.

Aparte de los potenciales efectos a la salud que se le atañen a los aerosoles polínicos, el polen en el aire es una de las fuentes naturales que pueden causar la niebla en la atmósfera (Kim, 2007), reduciendo significativamente la visibilidad, y generando parálisis en las actividades urbanas, consecuencia de la alta opacidad en el entorno.

Fuentes

El polen en el aire es uno de los alérgenos más importantes que conducen a la hipersensibilidad. Su importancia ha sido altamente evaluada por los expertos, dado que la distribución del polen en el aire varía según la regional (Liu, et al., 2008). Las fuentes de emisión de aerosoles polínicos, es netamente natural (ITAAPAG, 1991; Xie et al., 1991; Man et al., 1992; Meng, 2005), sin embargo las actividades antropogénicas como la agricultura (22, Jurozs, et al., 2003; Loos et al., 2003; Klem et al., 2003; Ma et al., 2004; Dupont et al., 2006), el paisajismo y arquitectura verde (Ribeiro et al., 2009), contribuyen de manera alarmante al aumento de la concentración de polen en el aire, centrando principalmente la preocupación en la implementación de plantas transgénicas, normalmente establecidas en la agricultura como una práctica habitual (Wolfenbarger y Phifer, 2000; Luna et al., 2001; Aylor et al., 2003; Jurozs, et al., 2003; Klein et al., 2003; Loos et al., 2003; Stewart et al., 2003; Ma et al., 2004).

El polen alergénico principal en China proviene de *Pinaceae*, *Polygonaceae*, *Cyperaceae*, *Amaranthaceae*, *gramíneas*, *artemisia* y *Populus*, de acuerdo con la investigación nacional realizada sobre polen alergénico de China (ITAAPAG, 1991; Xie et al., 1991; Man et al., 1992;

Meng, 2005). Sin embargo, en otros lugares alrededor del mundo, la composición de especies de polen alergénico varía proporcionalmente; un ejemplo de ello es Gran Bretaña, donde las plantas primarias que *polinosis gatillo* son gramíneas como *Setaria viridis*, *Secale cereale* (Varnry. 1991); mientras que en Grecia, la vegetación de gramíneas, está representada por *Cupressaceae*, *Oleaceae* y *Polygonaceae*, (Gioulekas et al., 2004). En América del Norte, la incidencia de polinosis, es inducida por la *Ambrosia*, representando valores superiores al 20% de las especies (Carosso y Gallesio, 2004) y en Japón, se afirma que la causa de la mayoría de los pacientes con polinosis se atribuye a *Cryptomeria japonica* (Ishizak et al., 1987).

Referencias

- ADOS Academia, recuperado el 27 de Junio del 2008 de la URL: http://www.academiaados.com/c/document_library/get_file?uuid=9421f1c0-7d91-4db2-91dc-30cf62c59d81&groupId=10716
- Agranovski V., & Ristovski Z.D., (2005). Real-time monitoring of viable bioaerosols: capability of the UVAPS to predict the amount of individual microorganisms in aerosol particles. *Journal of Aerosol Science*, 36, 665-676.
- Andersson M.A., Nikulin U., Kõljalg M.C., Andersson F., Rainey K., Reijula E.L., Hintikka, & Salkinoja-Salonen M., (1997). Bacteria, molds, and toxins in water-damaged building materials. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 387-393.
- Anónimo., (1969). Inspección de la calidad de los medicamentos. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Servicio de Información Técnica 418*, Anexo 12. Parte 1.
- Anónimo., (1985). Orden de 19 de Abril por la que se establecen las normas de correcta fabricación y control de calidad de los medicamentos. Ministerio de Sanidad y Consumo. BOE. 30-4-1985, 103, 11997-12000.
- Anónimo., (1996). Programa de control microbiológico ambiental en zonas de producción. Ed. Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria (AEFI), Madrid.
- Aylor D.E., Schultes N.P., & Shields E.J., (2003). An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agric. For. Meteorol.* 119, 111-129.
- Banaszak E.F., J. Barboriak, J. Fink, G. Scanlon, D.P. Schlueter, A. Sosman, W. Thiede, & G. Under. 1974. Epidemiologic studies relating thermophilic fungi and hypersensitivity lung syndromes. *Am. Rev. Respir. Dis.* 110:585-591.
- Belmonte J. (2003). Técnica para la captación e identificación de los pólenes. *Alergol Inmunol Clin*; 18, (Extraordinario Núm.3), 45-47.
- Berenguer S.M.J., (1991). NTP 289- 1991 Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid, España: Ediciones y publicaciones c/Torrelaguna 73, 28027. 8, 16

- Bernstein J.A., Alexis N., Bacchus H., Bernstein L., Fritz P., Horner E., Li N., Mason S., Nel A., Oullette J., Reijula K., Reponen T., Seltzer J., Smith A. Tarlo S. M., (2006). The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 121, (3), 585-591.
- Blomquist G., Strom G., & Stromquist L.H., (1984). Sampling of high concentrations of airborne fungi. *Scand. J. Work Environ. Health*, 10, 109-113.
- Botulinum toxic, (2008). Recuperado el 1 de julio del 2009. Del URL <http://garuda.blogspot.com/2008/06/03/botulinum-toxin/trackback/>
- Brown A.D., (1953). "The survival of airborne microorganisms". *Australian Journal of Biology Sciences*, 6, 463-470.
- Burge H.A., Solomon W.R., & Boise J.R., (1980). Microbial prevalence in domestic humidifiers. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39, 840-844.
- Burge H.A., Solomon W.R., & Boise J.R., (1982). Evaluation of indoor plantings as allergen exposure sources. *Allergy Clin. Immunol.*, 70, 101-108.
- Burge H.A., (1990). The fungi, p. 136-162. In P. Morey, J. Feeley, and J. Otten (ed.), *Biological C Burge, H.A.,ontaminants in Indoor Environments*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.
- Burge, H. A., Muilenberg M.L., & Chapman J.A., (1991). Crop plants as a source of fungus spores of medical importance, p. 222-236. In J. H. Andrews and S.S. Hirano (ed.), *Microbial Ecology of Leaves*. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Burge H. A., & Roger C.A., (2000). Outdoor Allergens. *Environ. Health. Perspect*, 108, 653-659.
- Burkhart J.E., Stanevich R., & Kovak B., (1993). Microorganism contamination of HVAC humidification systems: case study. *Appl. Occup. Environ. Hyg*, 8, 1010-1014.
- Buttner M.P., Cruz-Perez P., Garret P.J., & Stetzenbach L.D., (1999). Dispersal of ungal spores from three types of air handling system duct material. *Aerobiología* 15: 1-8.
- Carducci A., Tozzi E., Rubulotta E., Casini B., Cantiani L., Rovini E., Muscillo M., & Pacini R., (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research*, 34, 1173-1178
- Carosso A, Gallesio M.T., (2000) Allergy to ragweed: clinical relevance in Turin. *Aerobiologia*, 16, 155-158.
- Carroll G.C., & Wicklow D.T., (1992). *The fungal Community, Its Organization and Role in the Ecosystem*. Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y.
- Certes A., (1984). Sur la culture à l'abri des germes atmosphérique des eaux et des sédiments rapportés par les expéditions du Travailleur et du Talsiman. C. R. Hebd. Seances Acad. Sci. 98:690-793.
- Christensen L.S., Mortensen S., Bütner A., Strandbygaard B.S., Rünsholt L., Henriksen C.A., & Andersen J.B., (1993). Further evidence of long distance airborne transmission of Aujeszky's disease (pseudorabies) virus. *Vet. Rec.* 132, 317-321.
- Comtois P., (1997). Pierre Miquel: the first professional aerobiologist. *Aerobiología* 13:75-82.
- Cooke B., (1964). The air spore. *Ecology*, Vol. 45, No. 1, (Jan., 1964), pp. 212-213.
- Cox C.S., & Wathes C.M., (1995). "Bioaerosols Handbook". Lewis Publishers. New York:

- Cravioto, & E. Ezcurra., (2004). Bacterias en la atmósfera. In: Rosas, I.,A. (Eds.). *Microbiología Ambiental* (pp. 15-46). México: INE-PUMA.
- Croft W.S., Jarvis B.B., & Yatawara C.S., (1986). Airborne outbreak of trichothecene toxicosis. *Atmos. Environ.* 20, 549-552.
- Cullinan P., Cook A., & Nieuwenhuijsen M.J., (2001). Allergen and dust exposure as determinants of work related symptoms and sensitization in a cohort of flour exposed workers; a case-control analysis. *Annals Occupational Hygiene*, 45, 97-103.
- D'Amato G., & Liccardi G., (2002). The increasing trend of seasonal respiratory allergy in urban areas. *Allergy*, 57, (71), 35-36.
- De Benito R., (2003). T De Benito R. (2003). *Titulo*. Aerobiología del polen alérgico y polinosis en Santander. Relación de la agudización del asma bronquial con factores del ambiente exterior. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Cantabria. Recuperado el 1 de noviembre del 2009, del URL http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0128109-092745//TesisVBR.pdf.
- De la Rosa M.C., Mosso M.A., & Ullán C., (2002). El aire: Hábitat y Medio de Transmisión de Microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5: 375-402.
- Denyer S.P., (1992). Factory and hospital hygiene and good manufacturing practice ». En: Hugo, W. B. and Russell, A. D. (ed). *Pharmaceutical microbiology*. 5.a Edic. Ed. Blackwell Scientific Publications, London.
- Dewulf J., Laevens F., Koenen F., Mintiens K., & de Kruif A., (2000). Airborne transmission of classical swine fever virus under experimental conditions. *Vet. Rec.* 147, 735-738.
- Donaldson A.I., (1987). Foot-and-mouth disease: the principal features. *Irish Veterinary Journal*, 41, 325-327.
- Donaldson A.I., Wardley R.C., Martin S., & Ferris N.P., (1983). Experimental Aujeszky's disease in pigs: excretion, survival and transmission of the virus. *Vet. Rec.* 113, 490-494.
- Doskey P.V., & Ugoagwu B.J., (1989). Atmospheric deposition of macronutrients by pollen at a semi-remote site in northern Wisconsin. *Atmospheric Environment*, 23, 2761-2766.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N., & Heederik D., (2003). Bioaerosol Health Effect and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(3): 187-200
- Duchaine C., Grimard Y., & Cormier Y., (2000). Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 61, 56-63.
- Dupont S., Brunet Y., & Jarosz N., (2006). Eulerian modelling of pollen dispersal over heterogeneous vegetation canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141, 82-104
- Durham S. (1998) ABC of allergies: summer hay fever. *British Medical Journal*, 316, 843-845.
- Editorial. Allergic disease in urban and rural populations: increasing prevalence with increasing urbanization. *Allergy*, 2005, 60, 1357-1360.
- Eduard W., Lacey J., Karlsson K., Palmgren U., Strom G., & Blomquist G., 1990. Evaluation of methods for enumerating microorganisms in filter samples from highly contaminated occupational environments. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 51, 427-436.

- Fang Z., Ouyang Z., Hu L., Wang X., Zheng H., & Lin X., (2005). Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China. *Science of the Total Environment.*, 350, 47– 58.
- Fernández de Tejada I., Bellet M., & García E. (2008). Las plantas y las alergias. Unidad de cultura científica Real Jardín Botánico (CSIC). Recuperado el día 1 de noviembre del 2009, del URL:<http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/didactica/plantasya-lergias.pdf>
- Ferry R.M., Grown W.F., & Damond E.B., (1958). "Studies of the loss of viability of bacterial aerosols II and III". *Journal of Hygiene Cambridge*, 56, 125-389.
- Fink J.N., Banazak E.F., Thiede W.H., & Barboriak J.J., (1971). Interstitial pneumonitis due to hypersensitivity to an organism contaminating a heating system. *Ann. Intern. Med.* 74, 80-83.
- Fischer B., (1886). Bakteriologische Untersuchungen auf einer Reise nach Westindien. *Z. Hyg.* 1, 421–464.
- Florido J.F., González Delgado P., Saenz de San Pedro B., Quiralte J., Arias de Saavedra J.M., Ruiz Valenzuela L., (1999)., High levels of *Olea europaea* pollen and relation with clinical findings. *International Archives of Allergy and Immunology.*, 119, 133–137.
- Fracchia, L., Pietronave, S., Rinaldi, M., Martinotti, M.G., (2006). Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Research*, 40, 1985-1994.
- Fungi and bacteria in Ventilation System (2008). The Pennsylvania State University . Department of Architectural Engineering. Recuperado el día 16 de noviembre Del 2009, del URL <http://www.engr.psu.edu/ae/iecc/abe/topics/ventilation.asp>
- Fulton J. D. 1966a. Microorganisms of the upper atmosphere. III. Relationship between altitude and micropopulation. *Appl. Microbiol.* 14:237–240.
- Fulton J. D. 1966b. Microorganisms of the upper atmosphere. IV. Microorganisms of a land air mass as it traverses an ocean. *Appl. Microbiol.* 14:241– 244.
- Fulton J. D. 1966c. Microorganisms of the upper atmosphere. V. Relationship between frontal activity and micropopulation at altitude. *Appl. Microbiol.* 14:245–250.
- Fulton J.D., & Mitchel, R.B. 1966. Microorganisms of the upper atmosphere. II. Microorganisms in two types of air masses at 690 meters over a city. *Appl. Microbiol.* 14:232–236.
- Gage, S.H., S.A. Isard y M. Colunga-G., (1999). Aerobiology: Coming of age in a new millenium. *Aerobiología* 15: 259–266.
- Gage S., Isard S., Colunga-G. (1999). Ecological Scaling of aerobiological dispersal processes. *Agricultural and Forest Meteorology* 97 p.249-261.
- Gerardi, M.H., & Zimmerman, M.C., (2005), *Wastewater Pathogens*. Wiley-interscience
- Gillespie, R.R., Hill, M.A., Kanitz, C.L., 1996. Infection of pigs by aerosols of Aujeszky's disease virus. *Res.Vet. Sci.* 60, 228-233.
- Gioulekas D, Papakosta D, Damialis A, et al. Allergic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessloniki, Greece. *Allergy*, 2004, 59: 174–184.
- Gloster, J., Blackall, J., Sellers, R.F., Donaldson, A.I., 1981. Forecasting the spread of foot-and-mouth disease. *Veterinary Record* 108, 370–374.

- Gloster, J., Sellers, R.F., Donaldson, A.I., 1982. Long distance transport of foot-and-mouth disease virus over the sea. *Vet. Rec.* 110, 47-52.
- Gravesen, S., J.C. Frisvad, and R.A. Samson. 1994. *Microfungi*. Munksgaard, Copenhagen, Denmark.
- Gregory, P. H. (1961). *The microbiology of the atmosphere*. Ed. Leonard Hill Ltd, London.
- Gregory P. H. (1973). *Microbiology of the Atmosphere*. 2nd ed. Leonard Hall. Wiley, New York, 377p.
- Goldstein, S., (1960). Degradation of pollen by phycomycetes. *Ecology*, 41, 543–545.
- Griffin, D.H. 1993. *Fungal Physiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y.
- Grisoli, P., Rodolfi, M., Villani, S., Grignani, E., Cottica, D., Berri, A., Picco, A.M., Dacarro, C., (2009). Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research*, 109, 135-142
- Harper, G. J., & Morton, J. D. (1952). "Bacillus subtilis spores cabeled with radiophorus ". *Journal of General Microbiology*, 7, 98.
- Hay R.J., Clayton Y.M., Goodley J.M. (1995). Fungal aerobiology: how, when and where? *Journal of Hospital Infection*. Vol. 30 (Supplement), 352-357.
- Hermann, J.R., Brockmeier, S.L., Yoon, K.J., Zimmerman, J.J., 2008. Detection of respiratory pathogens in air samples from acutely infected pigs. *Can. J. Vet. Res.* 72, 367–370.
- Hertzen, L.C., & Haahtela, T., (2004). Asthma and atopy — the price of affluence?. *Allergy*, 59, 124–137.
- Hodgson, M. J., P. Morey, W. Leung, L. Morrow, D. Miller, B.B. Jarvis, H. Robbins, J.F. Halsey, and E. Storey. 1998. Buildings-associated pulmonary disease from exposure to *Stachybotrys chartarum* and *Aspergillus versicolor*. *J. Occup. Environ. Med.* 40:241-249.
- Huang C.Y., Lee C.C., Li F.C., Ma Y.P., Su H. J. (2002). The Seasonal Distribution of Bioaerosols in Municipal Landfill Sites: a 3-yr Study. *Atmospheric Environment*, 36: 4385-4395.
- Hugh-Jones, M.E., Wright, P.B., 1970. Studies on the 1967–1968 footand- mouth disease epidemic, the relation of weather to spread of disease. *Journal of Hygiene (Cambridge)* 68, 253–271.
- Imshenetsky, A. A., S. V. Lysenko y G.A. Kazakov. 1978. Upper boundary of the biosphere. *Applied Environmental Microbiology* 35 (1): 1-5.
- Institute of Medicine (IOM). (2004). *Damp Indoor Spaces and Health*. Washington DC, National Academy of Science.
- Ishizak T, Koizumi K, Ikumori R, et al. Studies of prevalence of Japanese cedar pollinosis among the residents in a densely cultivated area. *Annals of Allergy*, 1987, 58: 265–270.
- ITAAPG Investigation Team on Airborne and Allergenic Pollen Grains in China. *An investigation on airborne and allergenic pollen grains in China*. Beijing: People Press, 1991.
- Jain, A.K. 2000. Survey of bioaerosol in different indoor working environments in central India. *Aerobiologia* 16:221-225.

- Jarosz, N., Loubet, B., Durand, B., McCartney, H.A., Foueillassar, X., & Huber, L., (2003). Field measurements of airborne concentration and deposition of maize pollen. *Agric. For. Meteorol.* 119, (1–2), 37–51.
- Jensen, P.A., W.F. Todd, M.E. Hart, R. L. Mickelsen, and D.M. O'Brien. 1993. Evaluation and control of worker exposure to fungi in a beet sugar refinery. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 54:742-748.
- Johanning, E., P. Landsbergis, M. Gareis, C.S. Yang, and E. Olmsted. 1999. Clinical experience an results of a sentinel health investigations related to indoor fungal exposure. *Environ. Health Perspect.* 107:489-494.
- Jones, B.L., and J.T. Cookson. 1983. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:919-934.
- Katsivela, E., & Karra, S., (2007). Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water research*, 41, 1355-1365.
- Kanchan, S., & Jayachandra, (1980). Pollen allelopathy—a new phenomenon. *New Phytologist*, 84, 739–746.
- Kim, K.W., (2007). Physico-chemical characteristics of visibility impairment by airborne pollen in an urban area. *Atmospheric Environment*, 41, 3565–3576.
- Kiviranta, H., A. Tuomainen, M. Reiman, S. Laitinen, A. Nevalainen, and J. Liesivuori. 1999. Exposure to airborne microorganisms and volatile organic compounds in different types of waste handling. *Ann. Agric. Environ. Med.* 6:39-44.
- Klein, E.K., Lavigne, C., Foueillassar, X., Gouypn, P.H., & Laredo, C., (2003). Corn pollen dispersal: quasi-mechanistic models and field experiments. *Ecol. Monogr.* 73, 131–150.
- Kotimma, M. H. 1990. Occupational exposure to fungal and actinomycete spores during handling of wood chips. *Grana* 29: 153-156.
- Korzeniewsk, E., Filipkowska, Z., Gotkowska-Ptacha, A., Janczukowicz, W., Dixon, B., & Czutowaska, M., (2009). Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Research*, 43, 2841-2851
- Kozak, P.P., J. Gallup, L.H. Cummins, and S.A. Gillman. 1980. Currently available methods for home mold surveys. II. Examples of problem homes surveyed. *Ann. Allergy* 45:167-176.
- Krake, A.M., K.A. Worthington, K. M. Wallingford, and K.F. Martínez. 1999. Evaluation of microbiological contamination in a museum. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 14:499-509.
- Kumar, P., R. Marier, and S.H. Leech. 1984. Respiratory allergies related to automobile air conditioners. *N. Engl. J. Med.* 311: 1619-1621.
- Kuo, Y.M., Hung, H.F., & Chien, C.C., (2008). Use of floating balls for reducing bacterial aerosol emissions from aeration in wastewater treatment processes, *Journal of Hazardous Materials*, doi:10.1016/j.jhazmat.2009.10.090
- Kuparinen, A., Markkanen, T., Riikonen, H., & Vesalab, T., (2007). Modeling air-mediated dispersal of spores, pollen and sedes in forested areas. *ecological modeling*, 208, 177–188
- Lacey, J. 1991. Aerobiology and health, p. 157-185. In. D.L. Hawksworth (ed.), *frontiers in Mycology*. CAB International Wallingford, Oxon, United Kingdom.
- Lacey M. & West J., (2006). *The air spora: a manual for catching and identifying airborne biological particles*. Springer.

- Laevens, H., Koenen, F., Deluyker, H., Berkvens, D., De Kruif, A., 1998. An experimental infection with classical swine fever virus in weaner pigs. Transmission of the virus. *Vet. Quart.* 20, 41-45.
- Last J, Guidotti T L. Implications for human health of global ecological changes. *Public Health Reservation*, 1991, 18: 49–67.
- Latorre F., & Bianchi M.M., (1997), Relación entre la concentración polínica atmosférica y la vegetación arbórea en Mar del Plata. *Polen* 8, 43–59.
- Latorre F. (1999). Differences between airborne pollen and flowering phenology of urban trees with reference to production, dispersal and interannual climate variability. *Aerobiology* 15, 131-141.
- Latorre, & Caccavar. (2006). Depositación polínica anual en el Parque Nacional Pre-Delta (Entre Ríos, Argentina). *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales*. Buenos Aires: MACN, vol. 8 n. 2 p.195-200 ISSN 1514-5158.
- Levetin, E. 1995. Fungi, p. 87-120. In. H.A. Burge (ed.), *Bioaerosols*. Lewis Publishers, Boca Ratón, Fla.
- Levetin E. & Horner E. (2002). Fungal aerobiology: Exposure and Measurement. *Allergy and Pathogenicity*. Chem Immunol. Basel, Karger, 2002, vol 81, pp 10–27
- Lighthart, B. 1984. Microbial aerosols: estimated contribution of combine harvesting to an airshed. *Appl. Environ. Microbiol.* 47:430-432.
- Lindow, S. E. & J. H. Leveau. (2002). Phyllosphere microbiology. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, (3), 238-243.
- Liu, G.H., Zhu, R.F., Zhang, W., Li, W.J., Wang, Z.X., & Chen, H., (2008). Survey of airborne pollen in hubei province of china. *Chin Med Sci J.*, 23, (4) , 212-217
- Llewellyn, G.C., and C.E. O'Rear. 1990. *Biodeterioration Research 3: Mycotoxins, Biotoxins, Wood Decay, Air Quality, Cultural Properties, General Biodeterioration, and Degradation*. Plenum Press, New York, N.Y.
- Loos, C., Seppelt, R., Meier-Bethke, S., Schiemann, J., Richter, O., 2003. Spatially explicit modelling of transgenic maize pollen dispersal and cross-pollination. *J. Theor. Biol.*, 225, (3), 241–255.
- Luna, S., Figueroa, V.J., Baltazar, M.B., Gomez, M.R., Townsend, L.R., & Schoper, J.B., (2001). Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop. Sci.* 41, 1551–1557.
- Ma, L.B., Subedi, K.D., Reid, L.M., (2004). Crop ecology, management & quality. *Crop Sci.* 44, 1273–1282.
- Man Y H, Li H Q, Cheng M, et al. A study on airborne pollen grains and allergy in Harbin. *Journal of Natural Science of Heilongjiang University*, 1992, 9(3): 80–87.
- Mars, M.H., Brusckhe, C.J.M., Van Oirschot, J.T., 1999. Airborne transmission of BHV1, BRSV and BVDV among cattle is possible under experimental conditions. *Vet. Microbiol.* 66, 197-207.
- Macé, E. (1913). *Traité pratique de bacteriologie*. 6.a Edic. Ed. J. B. Bailliére et fils, Paris.
- Madelin, T.M. (1994). Fungal aerosols—a review. *Journal of Aerosol Science*, 25, 1405–1412.

- Martinez FD, & Holt PG. Role of microbial burden in aetiology of allergy and asthma. *Lancet* 1999, 354: 12–5.
- Meng G. Survey on airborne pollens in Haikou City. *Chinese Otorhinolaryngological Journal of Integrative Medicine*, 2005, 13(4): 233–235.
- Meier, F.C., (1935a). Collecting microorganisms in the arctic atmosphere: with field notes and material by C. A. Lindbergh. *Arctic Monthly* 40:5–20.
- Meier, F.C., (1935b). Microorganisms in the atmosphere of arctic regions. *Phytopathology* 25:27.
- Meier F. C. (1935). Microorganisms in the atmosphere of arctic regions. *Phytopathology* 25:27.
- Meier F. C. (1935). Collecting microorganisms in the arctic atmosphere: with field notes and material by C. A. Lindbergh. *Arctic Monthly* 40:5–20.
- Meier, F.C. (1936). Collecting microorganisms from wind above the Caribbean Sea. *Phytopathology* 26:102.
- Meng X.S., Ouyang, Z.Y., Cui, G.F., et al. (2004). Composition of plant species and their distribution patterns in Beijing urban ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 24, (10), 2200–2206.
- Miller, J. D., A.M. Laflamme, Y. Sobol, P. Lafontaine, and R. Greenhalgh. 1988. Fungi and fungal products in some Canadian houses. *Int. Biodeterior.* 24:103-120.
- Miller, J.D. 1992. Fungi as contaminants in indoor air. *Atmos. Environ.* 26A:2163-2172.
- Miller, J.D. 1993. Fungi and the building engineer, p. 147-158. In *IAQ'92: Environments for People*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Ga.
- Millner, P.D., Olenchock, S.A., Epstein, E., Rylander, R., Haines, J., Walker, J., Ooi, B.L., Horne, E., & Maritato, M., (1994). Bioaerosols associated with composting facilities, *Compost Science & Utilization*, 2, (4), 6-57.
- Miquel, P. & Cambert, R., (1901). *Traité de bacteriologie pure et appliquée*. Ed. Masson et Cia, Paris.
- Mitchell, B.W., King, D.J., 1994. Effect of negative air ionization on airborne transmission of Newcastle disease virus. *Avian Diseases* 38 (4), 725-732.
- Mohr, A. (2002). Fate and transport of microorganisms in air. En: En C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, M.V. Walter (Eds.). *Manual of Environmental Microbiology* (pp. 827-838). Washington DC, EE.UU.: ASM Press.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., (1991). *Pollen Analysis*. Blackwell, Oxford.
- Morales J., Candau P., González F. (2004). Relación entre la concentración de algunas esporas fúngicas en el aire de Sevilla (España) y los índices bioclimáticos. *El Clima entre el Mar y la Montaña*. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, N° 4, Santander (Aportaciones presentadas al IV Congreso de la Asociación Española de Climatología 2-5 de noviembre) p. 671-680.
- Morales J., Candau P., González F., (N.N). Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.
- Morgan-Jones, G., and B.J. Jacobsen. 1988. Notes on hyphomycetes. LVIII. Some dematiaceous taxa, including two undescribed species of *Cladosporium*, associated with biodeterioration of carpet, plaster and wallpaper. *Mycotaxon* 32:223-236

- Mortensen, S., Stryhn, H., Sogaard, R., Boklund, A., Stark, K.D., Christensen, J., 2002. Risk factors for infection of sow herds with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV). *Prev. Vet. Med.* 53, 83–101.
- Mullins, J., & Emberlin, J., (1997). Sampling Pollens. *J. Aerorol SCI.*, 28, (3), 365-370.
- Negro A., (2004a). Alergia y motores diesel. sección de alergología. H.U. "Virgen de la Arrixaca". Murcia (España). Folleto.
- Negro A., (2004b). Alergia y síndrome del edificio enfermo (SEE). Recuperado el 24 de Julio del 2009, de la URL http://alergomurcia.com/pdf/Alergia_y_Sindrome_del_Edificio_Enfermo.pdf
- New Directions., (2004). New Directions: Airborne Transmission of Foot-and-Mouth Disease Virus. *Atmospheric Environment*, 38, 503–505
- Nikulin, M., A. Pasanen, S. Berg, and E. Hintikka. 1994. Stachybotrys atra growth and toxin production in some building materials and fodder under different relative humidities. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 3421-3424.
- Nilsson, L., Castor, O., Magnusson, A., et al. Allergic disease in teenagers in relation to urban or rural residence at various stages of childhood. *Allergy*, 1999, 54, 716–721.
- O'Hara R. E., & Rubin R. (2005). Reducing Bioaerosol Dispersion from Wastewater Treatment and its Land Application: A Review and Analysis. *Journal of Environmental Health. Health & Medicine Complete*, 68, (2), 24-25.
- Park, H.S., Chung, D.H., & Joo, Y.J., (1994). Survey of airborne pollens in Seoul, Korea. *Journal of Korean Medical Science*, 9, (1), 42.
- Pasanen, A., K. Yli-Pietila, P.Pasanen, P. Kalliokoski, and J. Tarhanen. 1999. Ergosterol content in various fungal species and biocontaminated building materials. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:138-142.
- Pasteur M. L. (1862). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère, examen de la doctrine des generations spontanés. *Ann. Chim. Phys.* 3 Ser. 64:5–110.
- Peraica, M., B. Radic, A. Lucic, and M. Pavlovic. 1999. Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bull. W. H. O.* 77:754-766.
- Perccia J., & Hernandez M. (2006). Incorporating Polymerase Chain Reaction-Based Identification, Population Characterization, and Quantification of Microorganisms into Aerosol Science: Review. *Atmospheric Environment*, 40: 3941-3961.
- Poulsen, O.M., Breum, N.O., Ebbehoj, N., Hansen, A.M., Ivens, U.I., van Lelieveld, D., Malmros, P., Matthiasen, L., Nielsen, B.H., Nielsen, E.M., Schibye, B., Skov, T., Stenbaek, E.I., & Wilkins C.K., (1995). Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *The Science of the Total Environment*, 170, 1-19.
- Puc, M., Wolski, T., (2002). Betula and Populus pollen counts and meteorological conditions in Szczecin, Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 9, 65–69.
- Rahkonen, P., M. Ettala, and I. Loikkanen. 1987. Working conditions and hygiene at sanitary landfills in Finland. *Ann. Occup. Hyg.* 31: 505-513.
- Rautiala, S., T. Reponen, A. Hyvarinen, A. Nevalainen, T. Husman, A. Vehilainen, and P. Kalliokoski. 1996. Exposure to airborne microbes during the repair of moldy buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57: 279-284.

- Rautiala, S., T. Reponen, A. Nevalainen, T. Husman, and P. Kalliokoski. 1998. Control of exposure to airborne viable microorganisms during remediation of moldy buildings: report of three case studies. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 59: 455-460.
- Recio M. (1999). *Aerobiología: breve Introducción Histórica*. REA - Red Española de Aerobiología. 5: 9-11. Recuperado el 24 de julio del 2009, del URL: http://www.uco.es/rea/infor_real/Boletines%20REA_pdf/REA%205/Trabajo%20Marta%20Historia5.pdf.
- Reinthaler, F.F., D. Haas, G. Feierl, R. Schlacher, F.O. Pichler-Semmelrock, M. Kock, G. Wust, O. Feenstra, and E. Marth. 1999. Comparative investigation of airborne culturable microorganisms in selected waste treatment facilities and in neighbouring residential areas. *Zentbl. Hyg. Umweltmed.* 202:1-17.
- Rengasamy A., Zhuang Z., BerryAnn R. (2004). Respiratory protection against bioaerosols: Literature review and research needs. *AJIC. State of the Science Report*, 32 (6): 345-354.
- Ribeiro, H., Oliveira, M., Ribeiro, N., Cruz, A., Ferreira, A., Machado, H., Reis, A., & Abreu, I., (2009). Pollen allergenic potential nature of some trees species: A multidisciplinary approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data. *Environmental Research*, 109, 328–333.
- Rodríguez, G.S., Sauri, R.M., Peniche, A.I. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, *Yucatán. Ingeniería Revista Académica*, 9, (3), 19-29.
- Rosas I., Salinas E., Martínez L., Eslava C., Cravioto A. (2005). Bacterias en la Atmósfera. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 27 de junio del 2007, del URL: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/193/Articulos/Endotoxinas/Endotoxinas03a.htm>
- Rosas, I., E. Salinas, A. Yela, E. Calva, C. Eslava, y A. Cravioto. 1997. *Escherichia coli* in settled dust and air samples collected in residential environments in Mexico City. *Applied Environmental Microbiology* 63(10): 4093-4095.
- Samson, R.A. 1992. Mycotoxins: a mycologist's perspective. *J. Med. Vet. Mycol.* 30(Suppl. 1):9-18.
- Samson, R.A., B. Flannigan, M.E. Flannigan, A.P. VerHoeff, O.C.G. Adan, and E.S. Hoekstra (ed.) 1994. *Health Implications of Fungi in Indoor Environments*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- Sánchez-Monedero, M.A., Aguilar, M.I., Fenoll, R., Roig, A., (2008). Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants, *Water Research*, 42, 3739-3744.
- Sánchez-Monedero, M.A., Aguilar, M.I., Fenoll, R., & Roig, A., (2007). Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Revista Ingeniería*, 11, (1), 37-42.
- Sánchez-Monedero, M.A., Roig, M., Cayuela, L., Stentiford, E.I., (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 10, (1), 39-47.



- Scheidt, A.B., Rueff, L.R., Grant, R.H., Teclaw, R.F., Hill, M.A., Meyer, K.B., Clark, L.K., 1991. Epizootic of pseudorabies among ten swine herds. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 199, 725-730.
- Schwann T. (1837). Vorläufige Mittheilung betreffend Versuche über die Weingährung und Fäulniss. *Poggendorf's Ann. Physik Chem.* 41 (or II, Ser.11):184–193.
- Schechmeister, I. L. (1950). "Certain aspects of the behaviour of type A influenza virus as an air-borne cloud". *Journal of Infectious Diseases*, 87, 128.
- Sergey A. G., & Reponen T. (2004). Sampling of Biological Particles from Ambient Environment: Physical Principles, Efficiency and Exposure Assessment. *International Aerobiology Newsletter*, 59: 1-2.
- Serra H. A. (s.f). ¿Qué es el Polen? Párrafo 1. Recuperado el 1 de Julio del 2009. Tomado de la página <http://www.apisport.com.ar/polen01.htm>. Córdoba, República de Argentina R.N.E. N° 04002416 - R.N.P.A. N° 04024396.
- Shaffer B.T., & Lighthart. (1997). Airborne bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:1286–1289. Survey of airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural forest, and coastal. *Microbial. Ecol.* 34:167-177.
- Simek, K., P. Kojecka, J. Nedoma, P. artman, J. Vrba y D. R. Dolan. (1999). Shifts in bacterial community composition associated with different microzooplankton size fractions in a eutrophic reservoir. *Limnology and Oceanography* 44: 1634-1644.
- Simmons, R. B., L.J. Rose, S.A. Crow, and D.H. Ahearn. 1990. The occurrence and persistence of mixed biofilms in automobile air conditioning systems. *Curr. Microbiol.* 39: 141-145.
- Solé M., Alonso R. & Constans A. (s.f.). Calidad del aire interior: identificación de hongos. Fuente: Instituto de seguridad e higiene en el trabajo, España. Recuperado el día 1 julio del 2009, del URL: <http://www.siafa.com.ar/notas/nota43/hongos.htm>.
- Solis A. (2004). Validación de la prueba de endotoxinas bacterianas LAL (Limulus Amebocity Lysate) por el método de Gel Clot en clindamicina 600 mg. Inyectable. Capítulo II. Generalidades. Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima- Perú.
- Stetzenbach L.D. Introduction to aerobiology. 2003. In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 801-813.
- Stewart, C.N., Halfhill, M.D., Warwick, S.I., (2003). Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat Rev Genet*, 4, 806–817
- Straatsma, G., R. A. Samson, T. W. Olijnsma, H. J.M. Opden Camp, J.P.G.Gerrits, and L.J.L.D. van Griensven. 1994. Ecology of thermophilic fungi in mushroom compost with emphasis on *Scytalidium thermophilum* and growth stimulation of *Agaricus bisporus* mycelium. *Appl. Environ. Microbiol.* 60: 454-458.
- Swan, J.R.M., Kelsey, A., Crook, B., Gilbert, E.J., (2003). "Occupational and environmental exposure to bioaerosols from composts and potential health effects – A critical review of published data". Research Report 130, HSE Books, Health and Safety Executive, Suffolk, UK. Recuperado el 16 de Julio del 2005, de la URL <http://www.hse.gov.uk/research/rpdf/rr130.pdf>

- Toivola M., Alm S., Reponen T., Kolaric S., Nevalainen A. 2002. Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosols. *Journal Environ. Monit*, 4: 166-174.
- Torremorell, M., Pijoan, C., Janni, K., Walker, R., Joo, H.S., 1997. Airborne transmission of *Actinobacillus pleuropneumoniae* and porcine reproductive and respiratory syndrome virus in nursery pigs. *Am. J. Vet. Res.* 58 (8), 828-832.
- Valarcher, J.F., Gloster, J., Doel C.A., Bankowski B., & Gibson, d., (2008). Foot-and-mouth disease virus (O/UKG/2001) is poorly transmitted between sheep by the airborne route, *The Veterinary Journal*, 177, 425–428.
- Van Netten, C., R. Brands, and D.Dill. 1997. Investigation and remediation of diesel converted trolley buses associated with extensive fungal growth and health complaints. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 58: 726-731.
- Varny V. Hay fever in United Kingdom. *Clinical and Experimental Allergy*, 1991, 21: 757–762.
- Venter, P., Lues, J.F., & Theron, H., (2004). Quantification of Bioaerosols in Automated Chicken Egg Production Plants, *Poult Sci.*, 83,(7), 1226–1231.
- Verhoeff A. P. & Burger H. A. 1997. Health Risk assessment of Fungi in Home Environment. *Ann. Allergy. Asthma. Immunol.* 78: 544-554.
- Verreault, D., et al., Airborne porcine circovirus in Canadian swine confinement buildings. *Vet. Microbiol.* (2009), doi:10.1016/j.vetmic.2009.09.013
- Viinonen, A., Munhbayarlah, S., Zergee, T., (2005). Prevalence of asthma, allergic rhinoconjunctivitis and allergic sensitization in Mongolia. *Allergy*, 60, 1370–1377.
- Vladavets V. V., L. I. Mats. 1958. The influence of meteorological factors on the microflora of the atmospheric air in Moscow. *Microbiology* 59:539–544
- Webb, S. J. (1959). "Factors affecting the viability of airborne bacteria I". *Canadian Journal of Microbiology*, 5, 649.
- Wickman, M., S.Gravesen, S.L. Nordvall, G. Pershagen, and J. Sundell. 1992. Indoor viable dust-bound microfungi in relation to residential characteristics, living habits, and symptoms in atopic and control children. *J. AllergynClin. Immunol.* 89:752-759.
- Winiwarter W., Bauer H., Caseiro A., Puxbaum H. (2009). Quantifying emissions of primary biological aerosol particle mass in Europe. *Atmospheric Environment*, 43, 1403–1409.
- Wolfenbarger, L. L., & Phifer, P. R. (2000). The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290, 2088–2093.
- Woodard, E.D., B. Friedlander, R.J. Leshner, W. Font, R. Kinsey, and F.T. Hearne. 1988. Outbreak of hypersensitivity pneumonitis in an industrial setting. *JAMA* 259: 1965-1969.
- World Health Organization. 1990. Environmental Health Criteria 105, Selected Mycotoxins: Ochratoxins, Trichothecenes, Ergot. World Health Organization, Geneva, Switzerland.



- Xie S X, Li L D, Jiu J X. An investigation on the atmosphere propagating sensitizing pollen in Nanchang. *Journal of Gannan Medical College*, 2003, 23(1): 9–12.
- Yang, C.S. 1995. Understanding the biology of fungi found indoors, p. 131-137. In: E. Johanning and C.S. Yang (ed.), *Fungi and Bacteria in Indoor Environments: Health Effects, Detection and Remediation*. Eastern New York Occupational Health Program, Albany.
- Yang, C.S. and Johanning Eckardt. Airborne Fungi and Mycotoxins. 2003. In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 839-852.
- Ye S.T., Zhang J T, Qiao B S, et al. Airborne and allergenic pollen grains in China. Beijing: Science Press, 1998. 1–5.
- Zabel, R.A., and J.J. Morrell. 1992. *Wood Microbiology*. Academic Press, Inc., San Diego, Calif.
- Zhiyun, O., Jianan, X., Hua, Z., Xiaoke, W., & Hong, M., (2007). Allergenic pollen plants and their influential factors in urban areas. *Acta Ecologica Sinica*, 27, (9), 3820–3827



Capítulo 2

Andrés M. Vélez-Pereira

La Atmósfera y su Relación con los Microorganismos

La atmósfera se considera como una mezcla de gases, compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, que sustenta la vida en la Tierra; siendo posible que una gran variedad de organismos la utilicen como su medio de transporte, cambiando su localización geográfica durante su ciclo de vida. En razón a lo anterior, las partículas biológicas están siempre presentes en la atmósfera, aunque su número y viabilidad varían con las condiciones propias de la localidad (Heinke, 1999; Rosas et al., 2005).

Los procesos atmosféricos como el movimiento del aire y el intercambio de calor, permiten el rápido transporte de los microorganismos en forma de aerosoles biológicos a través de grandes distancias, documentado ampliamente por Bovallis et al. (1978), representando el movimiento del aire el mejor camino para su dispersión; en ésta los microorganismos

han creado adaptaciones especializadas que favorecen su supervivencia y su dispersión en la troposfera. La mayoría de estos microorganismos realizan su diseminación en la atmósfera utilizando las partículas de polvo, fragmentos de hojas secas, piel, fibras de ropa, gotas de agua o gotas de saliva eliminadas al toser, estornudar o hablar como su vehículo de transporte (Martínez et al., 1996; De la Rosa et al., 2002; Rosas et al., 2005; Nava et al., 2006).

Las características más relevantes de la atmósfera que desfavorecen la supervivencia de microorganismos en ella (ver capítulo 3), son la intensidad de luz, las variaciones extremas de temperatura, las concentraciones bajas de materia orgánica y de agua, por lo que generalmente es un medio hostil para las poblaciones alóctonas (Madrioli et al., 1998; Heinke, 1999; Atlas y Bartha, 2002; De la Rosa et al., 2002; Flores et al., 2007). Debido a esto, la atmósfera no se considera un hábitat para los microorganismos, ya que sólo algunos son capaces de reproducirse en este medio (Dimmick et al., 1979; Atlas y Bartha, 2002; De la Rosa et al., 2002; Flores et al., 2007).

La mayoría de los microorganismos que entran a la atmósfera provienen de fuentes naturales como la vegetación, el suelo y los cuerpos de agua por acciones como combustión, erupción de un volcán, tormentas de polvo, lluvias y vientos (Perkins, 1974; Liu, 2002; Mohr, 2002; Rosas et al., 2005), y en menor proporción de las actividades antropogénicas (Mohr, 2002; Toivola et al., 2002; Rosas et al., 2005). Sin embargo, en las zonas urbanas existe un aumento considerable de las partículas biológicas, en donde se ha registrado alta introducción de microorganismos a la atmósfera, asociada principalmente a la turbulencia vehicular y a la gran densidad poblacional; además de otras actividades, como la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios, plantas de compostaje, botaderos y plantas de tratamiento de agua residuales (Perkins, 1974; Rosas et al., 1996; van Tongeren et al., 1997; Laine et al., 1999; Reinthaler et al., 1999; Douwes et al., 2000; Hughes, 2003; Oppliger et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Sánchez-Monedero et al., 2007), las que liberan una gran cantidad de microorganismos a la atmósfera, produciendo la contaminación de las áreas circundantes (Tabla 2.1) (Rosas et al., 2005).

El tamaño de la biota que fluye en la atmósfera varía desde micrómetros hasta milímetros (Rosas et al., 2005), como es el caso del polen de las plantas anemofilias con diámetros típicos entre 17–58 μm (Stanley y Linskins, 1974) y las esporas de los hongos entre 1–30 μm de diámetro (Gregory, 1973; Reponen et al., 2001); en cuanto a las bacterias, se observa que los tamaños normalmente encontrados en los ambientes naturales pueden ir de 0.3 a 3 μm (Thompson, 1981; Koch, 1996; Reponen et al., 2001; Vitko, 2005; Wittmaack et al., 2005), mientras los virus tienen diámetros que están típicamente por debajo de 0.3 μm según Taylor, (1988), ó de 15 a 400 nm según Wittmaack et al. (2005). La presencia de uno u otro tipo dependerá del origen o fuente, y de la dirección e intensidad de las corrientes de aire (De la Rosa et al, 2005), en donde la capacidad que tienen estos microorganismos de convertirse en un contaminante atmosférico biológico, está determinada por sus capacidades aerodinámicas y viabilidad (Ver Capítulo 3).

Tabla 2.1 Fuentes naturales y antropogénicas que contribuyen a incrementar la concentración de bacterias en la atmósfera

Fuente	Lugar o Sitio	Concentración (UFC m ⁻³)
Naturales	Costa	ND – 560
	Bosques	385 – 1.2 x 10 ³
	Pastizales	127 – 587
	Matorral desértico	2 – 283
Antropogénicas	Zona urbana	539 – 7.2 x10 ³
	Calles transitadas	100 - 13 x 10 ³
	Parques	100 – 2.5 x 10 ³
	Estación de transferencia de basura	350 - 14 x 10 ³
	Planta recicladora de basura	1.1 x 10 ³ – 2.8 x 10 ⁷
	Planta de composteo	1 x 10 ³ - 11 x 10 ⁶
	Planta de tratamiento de aguas residuales	1 x 10 ² - 2 x 10 ⁵
	Zona rural	202 – 3.4 x 10 ³
	Campo agrícola	46 - 6.5 x 10 ³
	Empacadora de algodón	3.3 x 10 ⁶ - 19 x 10 ⁶

[UFC: unidades formadoras de colonias; ND: no detectable]

Fuente: Rosas et al., 2005.

La presencia de microorganismos en la atmósfera ha sido demostrada por su crecimiento en medios de cultivo, denominándose así microorganismos cultivables; no obstante, se considera que esto representa sólo una pequeña fracción de la población que llega a la atmósfera, de forma tal que la mayoría podría estar muerta o encontrarse en forma viable no cultivable (Amann et al., 1995; Pace, 1997; Rosas et al 2005). Matthais-Maser et al. (2000) estimaron la proporción de partículas biológicas en el volumen total del aire en áreas continentales remotas (sin influencia antropogénica), áreas urbanas y áreas marítimas correspondiendo a 28%, 22% y 10%, respectivamente. Es preciso destacar que el número de microorganismos de la atmósfera cambia según la altura ($10 - 10^4$ por m^3), obteniéndose los valores más elevados en la proximidad al suelo, sobre todo en los dos metros inferiores, que constituyen el microclima del hombre, disminuyendo a los 200 metros y haciéndose más escasos a los 5.000 metros (De la Rosa et al., 2002).

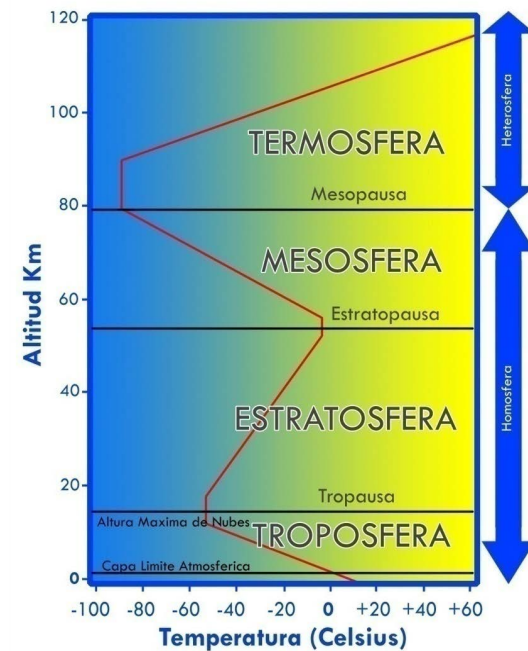


Figura 2.1 Capas de la Atmósfera
 CO: Capa de Ozono, CLM: Capa límite de Mezcla. (Ver Figuras 2.5, 2.6 y 2.7)
 Fuente: Rumney (1968)

Debido a esto, es necesario describir a la atmósfera considerando sus diferentes capas, las cuales están estrechamente relacionadas con su dinámica atmosférica; la troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera son generalmente las principales capas diferenciadas e identificadas en la atmósfera terrestre (Figura 2.1). En donde la mayoría de las variables físicas de la atmósfera no favorecen el crecimiento microbiano, como es el caso de la temperatura y la presión que disminuyen con el aumento de la altura, encontrándose ésta por debajo de la temperatura de crecimiento de muchos microorganismos. La presión también influye en el crecimiento de microorganismos, por lo que al ir disminuyendo se encontrarán bajas concentraciones de oxígeno que son muy necesarias para la microbiota (Atlas y Bartha, 2002). Por estas razones se puede afirmar que la presencia de microorganismos más allá de la troposfera no se ha podido establecer con mucha precisión (Rosas et al., 2005).

Capas de la Atmósfera y su Relación con la Presencia de Aerosoles Biológicos

La troposfera, es la capa más baja de la atmósfera, y se encuentra compuesta por casi tres cuartos de la masa atmosférica conteniendo casi todos los componentes hídricos de la atmósfera, y reportando los mayores valores de concentraciones de aerosoles biológicos, lo que la convierte en la capa con las condiciones más tolerantes para la supervivencia de la microbiota. Por otro lado, la estratosfera es considerada como una barrera natural de la dispersión de aerosoles biológicos presentes en la troposfera, dado que por sus características propias crea condiciones considerablemente adversas para la viabilidad de las poblaciones alóctonas, que se encuentran expuestas a grandes cantidades de ozono y radiación ultravioleta (UV) por prolongados períodos de tiempo, propios del lento proceso de mezcla que posee esta capa (Atlas y Bartha, 2002; De la Rosa et al., 2002).

De igual forma los análisis preliminares de los datos obtenidos sobre los aerosoles biológicos en la estratosfera, desarrollados por Andreeva et al. (2000), Andreeva et al. (2001); Ankilov et al. (1999), Ankilov et al. (2001), Belan (2000), Borodulin et al. (2003), Safatov et al. (2003), y

resumidos en Andreeva et al. (2002) permitieron llegar a la conclusión a partir del análisis de los datos obtenidos, que existe una clara variación estacional de la concentración de aerosoles biológicos troposféricos, asociados con el cambio de las estaciones; además que no existe relación evidente entre la concentración de aerosoles biológicos y la altitud, al igual que determinar que una distribución considerable en los valores de concentración, supera el estimado de los errores de medición.

Dinámica Atmosférica y su Relación con la Concentración de Aerosoles Biológicos

En la atmósfera baja se encuentran diversas capas asociadas a las condiciones del tiempo, como noches claras, días nublados o soleados; así la capa límite laminar podrá tener una altura que va de pocos centímetros hasta alcanzar varios metros; y una vez que las partículas biológicas entran a la capa de los remolinos locales y a la capa turbulenta, podrán llegar a zonas cuyas barreras geográficas no lo permiten (Rosas et al., 2005). Dado lo anterior, la dispersión de partículas biológicas se encuentra en una compleja dinámica establecida entre la atmósfera, el suelo, los cuerpos de agua y el dosel que forman los edificios o los diferentes tipos de vegetación, influenciada por procesos de deposición húmeda y seca, vientos y corrientes de convección (Rosas et al., 2005), y su viabilidad estará en función de las condiciones atmosféricas. Es importante considerar que las dimensiones y la dinámica en cada capa atmosférica dependerán en parte de la orografía, del tipo de suelo y dosel del lugar; es por ello que se habla del contrastante entre el comportamiento de una atmósfera urbana respecto de una rural (Rosas et al., 2005).

La distribución espacial de las aerobacterias es dependiente de los flujos y la modulación meteorológica. El flujo es definido como el número de microorganismos que pasan a través de una unidad de área por una unidad de tiempo ($\text{UFC}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) y esto a su vez, está determinado por la dinámica atmosférica; sin embargo se tienen pocos datos al respecto (Rosas et al., 2005). Dentro de la modulación meteorológica a la que se encuentran sometidas las partículas en la troposfera, se consideran im-

portantes la velocidad y dirección del viento, la turbulencia, estabilidad atmosférica y la topografía del terreno.

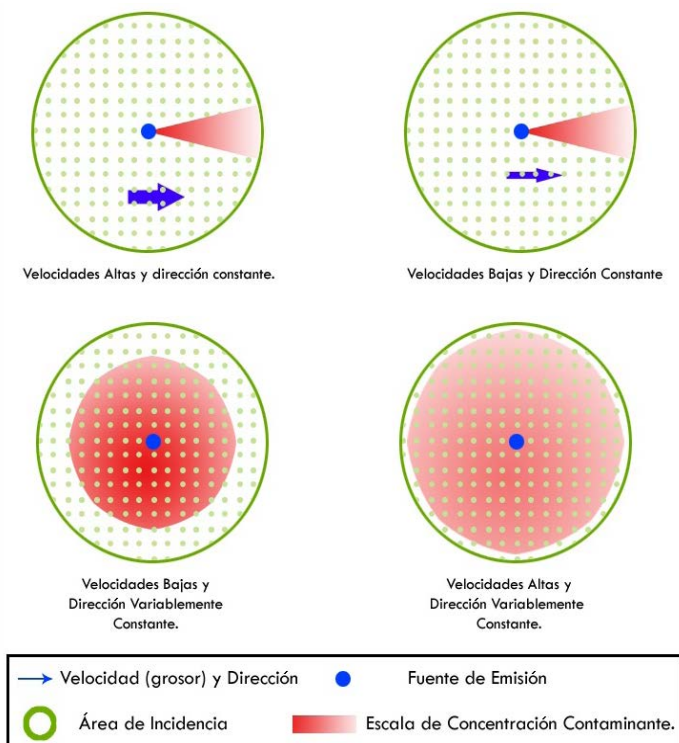


Figura 2.2 Variación de la Concentración de Contaminantes en Función de la Velocidad y Dirección del Viento

La velocidad del viento es un factor muy relacionado con la concentración de contaminantes, debido a que tiene la propiedad de regular los porcentajes de mezcla. Es así como para el caso de velocidades bajas y predominancia de los vientos en una sola dirección, se crean altas concentraciones de contaminantes en una misma área de incidencia. Caso contrario si se presenta una variación constante de la dirección del viento ya que se encontrará una distribución más uniforme del contaminante sobre su área de influencia como se puede observar en la Figura 2.2 (Godish, 1991; Canter, 2000; Allen, 2001). Es decir, la concentración de los contaminantes atmosféricos se encuentra en una relación, inver-

samente proporcional a la velocidad y directamente proporcional a la dirección del viento.

En el caso de los microorganismos, el viento se considera como un medio pasivo de emisión natural para aquellos que producen esporas secas en forma de micelios aéreos, es por esto que cuando las condiciones en la troposfera son carentes de humedad y grandes velocidades, las corrientes de aire favorecen considerablemente el aumento de las concentraciones de esporas en la atmósfera (Inglood, 1991).

Muchos autores afirman que la concentración de microorganismos aumenta durante las épocas secas, debido al transporte convectivo de las partículas provenientes de las superficies secas. Y durante la época de lluvias su número disminuye significativamente debido al lavado de la atmósfera (Rosas et al., 1994; Jones y Harrison, 2003; Rosas et al., 2005; Oppliger et al., 2005; Lee y Jo, 2006).

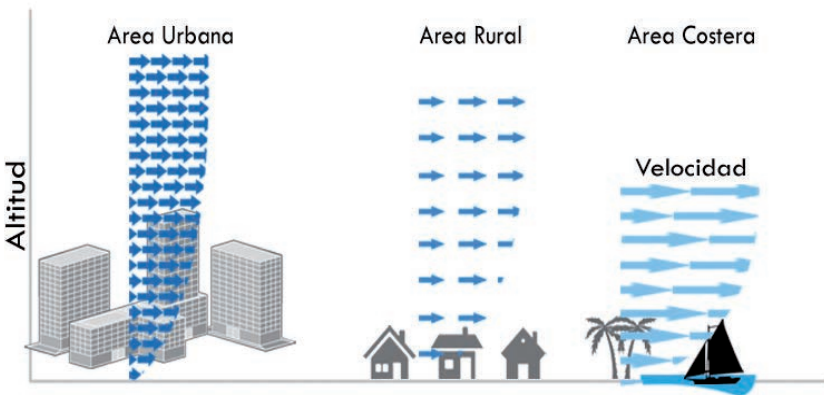


Figura 2.3 Influencia de la Infraestructura en la Dirección y Velocidad del Viento
Fuente: Raufer y Wagner, 2000

Otro de los aspectos en los cuales favorecen las altas velocidades a los microorganismos suspendidos en el aire, es que se encuentran expuestos por periodos de tiempo más cortos a las condiciones adversas que le brinda la atmósfera, mientras se desplazan desde su lugar de emisión hacia un nuevo receptor, permitiéndoles aumentar su viabilidad en fun-

ción a las distancias alcanzadas. Es así como Jones y Harrison (2003) afirman que las velocidades que han sido consideradas como un rango de vientos necesarios para la volatilización y dispersión de bioaerosoles son de 0.5 a 1.0 m/s.

La velocidad y la dirección del viento se ven fuertemente influenciadas por la topografía. Un ejemplo claro de esto se puede observar en la Figura 2.3, en la cual los vientos en las zonas costeras son mucho más fuertes y con poca altura, con respecto a las áreas urbanas en donde las estructuras fuerzan al viento a aumentar su altura como consecuencia de la fricción, e igualmente disminuyen su velocidad (Raufer y Wagner, 1991).

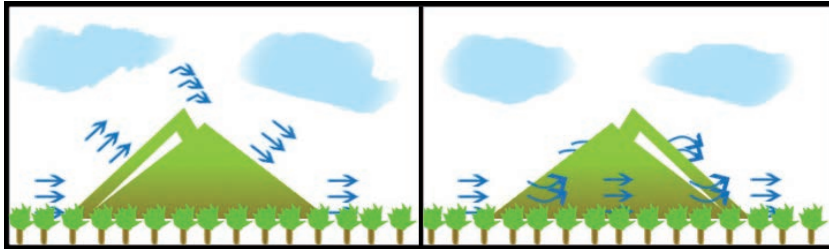


Figura 2.4 Influencia del Relieve en la Dirección y Velocidad del Viento

La figura del lado derecho presenta la elevación como método evasivo a la interferencia, mientras en la del lado izquierdo se rodea el obstáculo para evadirlo

Adaptación: CEPIS, Nevers, 1998.

Por otro lado el relieve natural también ejerce una influencia sobre el viento tal y como lo muestra la Figura 2.4, en la que se puede observar cómo varía la dirección del viento dependiendo del relieve. Esta influencia del relieve sobre el viento resulta fundamental para determinar la viabilidad de las partículas biológicas en el aire, ya que como se mencionó anteriormente cuanto mayor sea la altura alcanzada por las partículas, las condiciones serán cada vez más adversas.

Otro de los fenómenos atmosféricos que se presenta es la estabilidad de la atmósfera, la cual se caracteriza por la ausencia de mezclado vertical, debido a que con el aumento de la altura la temperatura decrece en una relación $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$; esto permite la generación de capas isotérmicas que limitan el paso de las masas contaminantes entre una y otra. Este

fenómeno al igual que la velocidad y dirección del viento, y la turbulencia atmosférica, determinan las diferencias presentadas en las capas de la atmósfera (Figura 2.5).

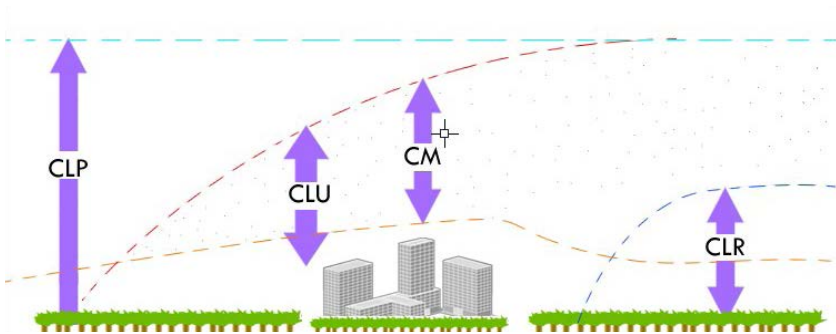


Figura 2.5 Comparación de las diversas capas atmosféricas Zona Urbana–Zona Rural
 CLP: Capa límite etaria, CLU: Capa límite urbana, CLR: Capa límite rural, CM capa de mezcla,
 CS: Capa superficial.

Adaptación: Rosas et al., 2005

En los fenómenos que tienen lugar en los procesos de dispersión de contaminantes atmosféricos, es importante resaltar que los gradientes térmicos permiten una mezcla rápida de aire facilitando la introducción de microorganismos a la atmósfera (Gregory, 1973), lo que resulta muy útil a las especies de hongos como el *Pilobolus*, que orientan la expulsión de esporangio en la dirección donde la intensidad de luz es mayor (es decir una zona despejada), y donde es mucho más probable que las corrientes de aire inducidas por los gradientes térmicos faciliten la posterior dispersión (Atlas y Bartha, 2002).

El comportamiento de la dinámica atmosférica durante el día y la noche suelen presentar diferencias que influyen en la dispersión de contaminantes. Durante el día la capa superficial presenta una mayor disgregación de contaminantes por el aumento en la tasa de reacción fotoquímica, así como la variación espacial de la concentración del contaminante. De la misma forma, un aumento de la altura (hasta capa de mezcla) representa una aceleración de los anteriores procesos, principalmente por la turbulencia y vientos atmosféricos procedentes de la capa marina; mientras que en la capa de inversión dichos procesos se desaceleran

como resultado de las condiciones de la estratósfera, ocurriendo el caso contrario en las noches, ya que los procesos en las capas superiores (inversión, mezcla y algunas veces las capas marinas) no presentan nuevas emisiones de contaminantes; no obstante, los rezagos diurnos son transformados por las reacciones nocturnas, mientras que en la capa superficial se presenta un aumento considerable de la concentración de contaminantes, principalmente asociado al descenso drástico de la capa de mezcla como se observa en las Figura 2. 6 y Figura 2.7 (Liu, 2000).

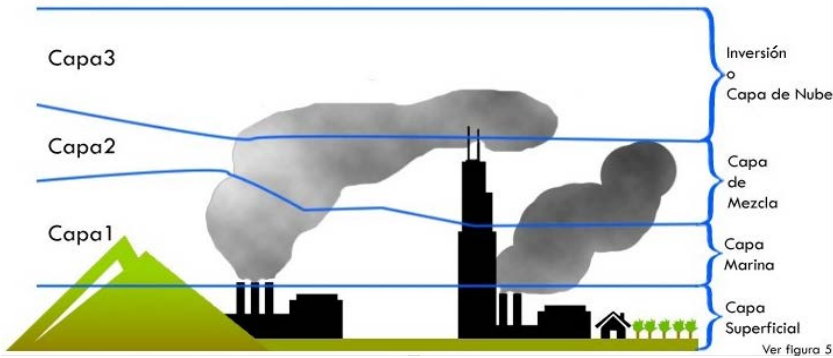


Figura 2.6 Comportamiento de la Dinámica Atmosférica y Contaminantes en el Día
Adaptación: Liu, 2002

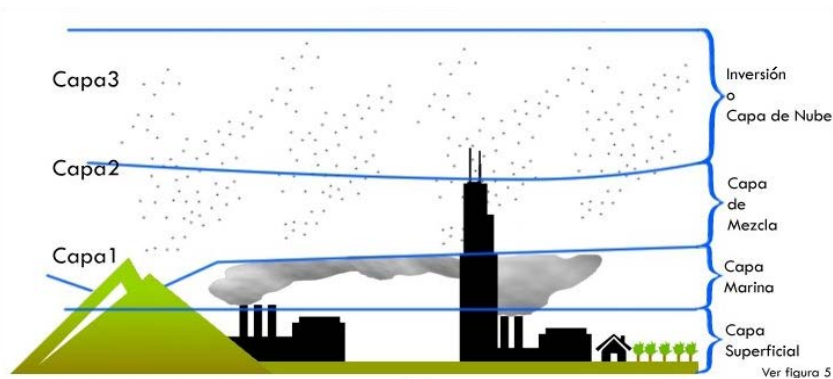


Figura 2.7 Comportamiento de la Dinámica Atmosférica y Contaminantes en la Noche
Adaptación: Liu, 2002

En razón a ello es de esperar que la concentración de las aerobacterias reporten una gran variabilidad, tanto diurna como estacional, donde se tiene información de que el tipo de aerobacterias varía con las horas del día. En la noche las Gram positivas esporuladas presentan su concentración mínima (17%) y las Gram negativas su máxima concentración (22%); durante el día se invierte el proceso con 35% y 12%, respectivamente. También se ha evaluado la proporción de bacterias pigmentadas: durante el día disminuye la proporción de bacterias no pigmentadas debido a su sensibilidad a la radiación solar, por lo que se registra una mayor proporción de aerobacterias pigmentadas (Tong y Lighthart, 1997, Lighthart, 2000).

En general, todos los microorganismos presentes en la atmósfera en forma de aerosoles biológicos pueden tener la capacidad de transportarse desde una poca distancia hasta varios metros, valiéndose de su capacidad de ser aerotransportados para asegurar su supervivencia (Stetzenbach et al., 1992, Sánchez- Monedero et al., 2006).

Adicionalmente a lo ya expuesto, se puede afirmar que los aerosoles biológicos decrecen con la altura, siendo la capa de inversión una barrera para la dispersión de los microorganismos; de igual forma la concentración de partículas biológicas cambia dependiendo de las características de la superficie por la que atraviesa la masa de aire, y en donde los sistemas climáticos frontales con vientos en ráfaga pueden incrementar la concentración, que disminuye con la lluvia. Por último es imperante recordar que las actividades en zonas urbanas y rurales pueden aumentar la entrada de partículas biológicas a la atmósfera (Rosas et al., 2005), situación que representa más riesgo de exposición en los seres humanos.

Referencias

- Allen A., (2001). Modelos de Dispersión Atmosférica En: Alley E. R. & et al (eds.). *Manual de Control de la Calidad del Aire* Tomo I. (pp. 3.1 – 3.12). México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Amann R., Ludwig W., Schleifer K., & Phylogenetic H., (1995). Identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbial Reviews*. 59, 143-169.

- Andreeva I.S., Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Marchenko Yu.V., Ol'kin S.E., et al., (2000). Variability of biogenic component of atmospheric aerosol over forested areas of Western Siberia. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 13, (6–7), 592–596.
- Andreeva I.S., Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Zhukov V.A., Panchenko M.V., Penenko M.V., Petrishchenko V.A., & Safotov A.S., (2001). Variability of the content of live microorganisms in the atmospheric aerosol in southern regions of Western Siberia. *Doklady Biological Sciences*, 381, (1-6), 530–534.
- Andreeva I. S., Borodulin A. I., Buryak G. A., Zhukov V.A., Zykov S.V., Marchenko Y.V., Panchenko M.V., Penenko V.V., Petrishchenko V.A., Safotov A.S., Marchenko V.V., Olkin S.E., Pyanko O.V., Reznikora I.K., Repin V.E., Surgeer A.N., Raputa V.F., Tsvetova E.A., Arshinov M.Y., Belan B.D., Ankilov A.N., Baklana A.M., Vlasenco A.L., Koutsenogii K.P., Makarov V.I., & Churkina T.V., (2002). Biogenic component of atmospheric aerosol in the south of West Siberia. *Chemistry for Sustainable Development*, 10, 523–537.
- Ankilov A.N., Baklanov A.M., Borodulin A.I., Buryak G.A., Malyshkin S.B., Ol'kin S.E., et al., (1999). Estimate of the biological component of the atmospheric aerosol in Southwestern Siberia. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 12, (6), 488–493.
- Ankilov A.N., Baklanov A.M., Belan B.D., Borodulin A.I., Buryak G.A., Vlasenko A.L., et al., (2001). Annual variation of protein concentration in biogenic component of atmospheric aerosol in Southwestern Siberia. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 14, (6–7), 473–477.
- Atlas R.M., & Bartha R. *Ecología microbiana y microbiología Ambiental* (4ta ed.). (2002). Nuñez de Balboa, Madrid, España: Pearson Education.
- Belan B.D., (2000). Variability of the protein component of atmospheric aerosol above large forests in Southwestern Siberia. *Doklady Biochemistry*, 374, 196–198.
- Borodulin A.I., Safotov A.S., Marchenko V.V., Shabanov A.N., Belan B.D., & Panchenko M. V., (2003). Altitude and seasonal variability of the concentration of biogenic component of tropospheric aerosol in Southwestern Siberia. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 16, (5–6), 387–390.
- Bovallius A., Bucht B., Roffey R., & Anas. P., (1978). Long-Range Air Transmission of Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 35, (6), 1231-1232
- Canter L., (2000). Soucer, Effects, and Fate of Pollution En: D. H. Liu & B. G. Lipták (Eds.). "Air Pollution" (pp 3-19). EE.UU.: CRC press LLC. Lewis Publishers.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS. (s.f.). Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire, Lección No 3. Estructura dinámica de la atmósfera. Recuperado de: http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/meteor/frame_m2.html
- De la Rosa M.C., Mosso M.A., & Ullán C., (2002). El aire: Hábitat y Medio de Transmisión de Microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402.
- Dimmick R., Wolochow H., & Chatigny M., (1979). Evidences that bacteria can form new cells in airborne particles. *Applied Environmental Microbiology American Society of Microbiology*, 37, 924-927.

- Douwes J., Dubbeld H., van Zwieten L. et al. 2002. Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relation with bio-aerosol exposure. *Am. J. Ind. Med.*; 37: 459–69.
- Flores, F.J., Pardavé, L.M., & Valenzuela, C.C., (2007). Estudio aerobiológico de la zona aledaña al relleno sanitario “San Nicolás”, Municipios Aguas Caliente, *Investigación y Ciencia*, 15, 37, 13-18.
- Godish T. (1991). *Air Quality* (4ta eds.). Chelsea, Mich: Lewis Publisher Inc.
- Gregory P.H. 1973. *The Microbiology of Atmosphere*, 2nd ed. Halstead Press, New York, N.Y.
- Heinke G.W., (1999). Microbiología y epidemiología. En: J.G. Henry & G. W. Heinke (eds.), *Ingeniería Ambiental* (pp. 275-277). México: Pearson Education.
- Hughes, K. A. 2003. Aerial dispersal and survival of sewage derived faecal coliforms in Antarctica. En: *Atmospheric Environment*. Vol. 37, No. 22 (2003); p. 3147-3155.
- Inglod C.T., (1971). *Fungal Spore: Their liberation and dispersal*. Oxford, Inglaterra: Calderon Press.
- Jones A.M., & Harrison R.M., (2003). The effects of meteorological factors on atmospheric bio-aerosol concentrations – a review. *Science of the Total Environment*, 326, (1-3), 151-180.
- Koch A.L., (1996). What size should a bacterium be? A question of scale. *Annual Review of Microbiology*, 50, 317–348.
- Laine, M.M., Jorgensen, K.S., Kiviranta, H.S., Vartiainen, T.S., Jokela, J.K., Adibi, A.K. & Salkinaja-Solonen M.K., (1999). Bioaerosols and particles release during composting of contaminated sawmill soil. *Bioremediation Journal*, 3, (1), 47-58.
- Lee J.H., & Jo W.K., (2006). Characteristics of Indoor and Outdoor Bioaerosols at Korean High-Rise Apartment Building. *Environ. Res.*, 101, (1), 11-17.
- Lighthart B., (2000). mini-review of the concentration variation found in the alfresco atmospheric bacterial population. *Aerobiologia*, 16, 7-16.
- Liu D., Atmospheric Chemistry. (2000). En: D.H.F. Liu & B. G. Lipták (Eds.). “*Air Pollution*” (pp.30-35). EE.UU.: CRC press LLC, Lewis Publishers.
- Madrioli P., Comtois, P., & Levizzani V. *Methods in aerobiology* (5ta Ed.). (1998). Bolona, Italy: Pitagora Editrice
- Martínez J.F., Muñoz A.F., Nieto J., Paredes M.M., Silva I., & Tormo R., (1996). Dispersión de ascosporas a través del aire en la atmósfera de Bajadóz y su relación con algunos parámetro meteorológicos. *Bol. San. Veg, Plagas*, 22, 693-701.
- Matthais-Maser S., Obolkin V., Khodzer T., & Jaenicke R., (2000). Seasonal variation of primary biological aerosol particles in the remote continental region of Lake Baikal/Siberia. *Atmos Environ*, 34, 3805–3811.
- Mohr A., Fate and transport of microorganisms in air. (2002). En: En C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, M.V. Walter (Eds.). *Manual of Environmental Microbiology* (pp. 827-838). Washington DC, EE.UU.: ASM Press.
- Nava A., Hilda G., Libertad I., & Sánchez-Yáñez J., (2006). Microorganismos en la atmósfera de la ciudad de Monterrey, N.L. México. Recuperado el 29 de julio del 2007 de <http://www.monografias.com/trabajos32/microorganismos-aire-monterrey/microorganismos-aire-monterrey.shtml>.

- Nevers N., Ingeniería del control de la contaminación del aire. (1ra Ed.). (1997). México, D.F: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Oppliger A., Hilfiker S., & Vu Duc T., (2005). Influence of Seasons and Sampling Strategy on Assessment of Bioaerosols in Sewage Treatment Plants in Switzerland. *Ann Occup. Hyg.*, 49, (5), 393-400.
- Pace N.R., (1997). A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science*, 276, 734-740.
- Perkins H.C., *Air Pollution*. (1974). New York, NY, EE.UU.: McGraw-Hill.
- Rauf R.K., & Wagner C.P., Atmospheric Dispersion Modeling. (2000). D.H.F. Liu & B. G. Lipták (Eds.). "Air Pollution" (pp. 49-67). EE.UU.: CRC press LLC, Lewis Publishers.
- Reithaler F.F., Haas D., Feierl G., Schlacher F.O., Pichler-Semmelrock Kock M., Wust G., Feenstra O., & Marth E. (1999). Comparative investigation of airborne culturable microorganisms in selected wastes treatment facilities and in neighboring residential areas. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed*, 202, 1-17
- Reponen T.A., Grinshpun S.A., Conwell K.L., Wiest J., & Anderson M., (2001). Aerodynamic versus physical size of spores: measurement and implication on respiratory deposition. *Grana*, 40, 119-125.
- Rosas I., Yela A., Santos-Burgoa C., (1994). Occurrence of airborne enteric bacteria in Mexico City. *Aerobiologia. Kluwer Academic Publisher*, 10, (1), 39-45.
- Rosas, I., Calderón, C., Salinas, E., & Lacey J. (1996). Airborne microorganisms in a domestic waste transfer station. En: MUILENBERG, M. y BURGE H. (eds.) *Aerobiology: Proceedings E-American Aerobiology Association* (pp. 250 – 290). CRC, Lewis Publishers.
- Rosas, I., Salinas, E., Martínez, L., Eslava, C., & Cravioto, A., (2004). *Microbiología Ambiental*. Primera edición. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) 133 p.
- Safatov A.S., Andreeva I.S., Ankilov A.N., Baklanov A.M., Belan B.D., Borodulin A.I., et al. (2003). Biogenic component fraction in the atmospheric aerosol of Southwestern Siberia. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 16, (5-6), 491-495.
- Sánchez-Monedero M.A., Aguilar M.I., Fenoll R., & Roig A., (2007). Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Revista Ingeniería*, 11, (1), 37-42.
- Sánchez-Monedero A., Roig M., Cayuela L., & Stentiford E.I., (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 10, (1), 39-47.
- Stanley R.G., & Linskins H.F., *Pollen: biology, chemistry and Management*. (1974). Berlin: Springer-Verlag.
- Stetzenbach L.D. Introduction to aerobiology. (2003). In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 801-813.
- Taylor E.J., *Dorland's Illustrated Medical Dictionary*. (1988). Philadelphia: W.B. Saunders Co.
- Thompson., WAR editor. *Black's medical dictionary*. (33 ed.) (1981). Adam and Charles Black.
- Toivola M., Alm S., Reponen T., Kolaric S., & Nevalainen A., (2002). Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosoles. *Journal Environ. Monit*, 4, 166-174.



- Tong & Lighthart, B., (1997). A study of the relationship between pigmented outdoor atmospheric bacteria and solar radiation. *Photochem Photobiology*, 65, 103-106.
- van Tongeren M., van Amelsfoort L., Heederik D. 1997. Exposure to organic dusts, endotoxins, and microorganisms in the municipal waste industry. *Int J Ind Med*; 33: 384–91.
- Vitko J., (2005). Sensor systems for biological agent attacks: protecting buildings and military bases. *Technical Report*, The National Academies Press.
- Wittmaack K., Whenes H., Heinzmann R., & Agerer R., (2005). An overview on bioaerosols viewed by scanning electron microscopy, *Science of the Total Environment*, 340, 244-255.



Capítulo 3

Andrés M. Vélez-Pereira

Comportamiento Aerodinámico y Viabilidad de los Aerosoles Biológicos

Aerodinámica de los Aerosoles

La comprensión del comportamiento aerodinámico de las partículas suspendidas en el aire o aerosoles, permite entender desde sus fundamentos la dinámica mediante la que se dispersan este tipo de agentes en el aire, facilitando las aplicaciones de modelos matemáticos que describan los procesos de emisión y dispersión para así aplicar las medidas de mitigación y corrección, inicialmente a las fuentes de emisión; y si es po-

sible a los receptores de dichas emisiones. El presente capítulo esboza los aspectos básicos de la aerodinámica de los aerosoles bajo condiciones ideales (flujo laminar, temperatura constante y presión atmosférica), justificado por un análisis básico de las fuerzas que interactúan sobre el desplazamiento, trayectoria y alcance de las partículas, resumidas a través de las ecuaciones matemáticas que describen su movimiento.

Se ha demostrado que la aerodinámica de los aerosoles está estrechamente ligada a su diámetro aerodinámico equivalente y al tipo de material que lo constituye, además de estar influenciada por condiciones tales como la densidad de partícula, su carga eléctrica, su campo electromagnético y el estado de agregación, que le infieren características especiales a cada tipo de partículas y afectan de una manera u otra su comportamiento aerodinámico.

Movimiento Browniano

Una partícula suficientemente pequeña como un grano de polen, inmersa en un líquido, presenta un movimiento aleatorio, que fue observado por primera vez por el botánico Brown en el siglo XIX. El movimiento browniano pone de manifiesto las fluctuaciones estadísticas que ocurren en un sistema en equilibrio térmico; con base en esto se define como movimiento browniano de los aerosoles, el correspondiente al movimiento de micropartículas en un camino irregular (Cutnell and Johnson, 1995), y se encuentra representado por la Ecuación de Einstein (Ec. 1), que plantea que el desplazamiento de la partícula es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su radio (Cox & Wathes, 1995).

$$\bar{X} = 5 \times 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (\text{Ec. 1})$$

- \bar{X} Desplazamiento, cm
- t tiempo, seg
- r Radio de partícula, cm

Por muy pequeñas que sean las partículas, el movimiento browniano es un factor importante en la difusión en el aire de las partículas inferiores, ya que éstas interactúan debido a la gravedad, siendo la difusión de las partículas en el aire fuertemente influenciada por las fuerzas brownianas, dado que su trayectoria en el aire no es una vía recta hacia abajo, sino una dispersión irregular, como resultado del movimiento Browniano tal y como se observa en la Figura 3.1 (Gibney, 2000).

Muchos de los estudios iniciales de deposición o sedimentación en reposo de aerosoles de tamaños superiores, evaluaron la influencia de las fuerzas de inercia así como de movimientos brownianos (Pitch, 1972), donde se comprobó que la sedimentabilidad de los aerosoles de mayor tamaño no se ve influenciada por las fuerzas brownianas, además se afirmó que el desplazamiento de estas partículas en el aire y su movimiento estará sujeto a las fuerzas gravitatorias, fuerzas térmicas y electromagnéticas y la turbulencia del medio.

Difusión de un Aerosol Afectado por el Movimiento Browniano

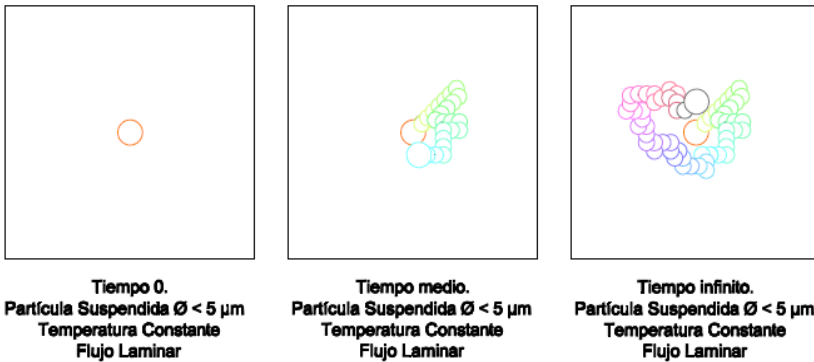


Figura 3.1 Descripción del movimiento de una partícula bajo la acción de las fuerzas brownianas

Fuerzas Gravitatorias

La fuerza gravitatoria es la ejercida por la fuerza de gravedad, siendo una de las fuerzas que más influye en el comportamiento aerodinámico de los aerosoles; fuerza que además de estar sujeta al diámetro aerodinámico equivalente de la partícula, está estrechamente ligada con la masa y densidad del aerosol, al igual que a la viscosidad del ambiente donde se está dispersando el material.

Las fuerzas gravitacionales que modulan el comportamiento de las partículas son dos fuerzas opuestas (Ver Figura 3.2): la primera corresponde a la sedimentación denominada fuerza gravitacional de sedimentación, resultado de la acción atractiva de la gravedad de la tierra sobre la masa de la partícula, y la segunda se atañe a la fuerza de empuje del aire, y se atribuye a la viscosidad del fluido del aire (masas de aire). La expresión matemática que describe el comportamiento de las sumatorias de estas dos fuerzas, queda definida según la Ec. 2 que se conoce como la velocidad de sedimentación (Cox & Whates, 1995; Gnanasekharan & Floros, 1995).

$$V_{gs} = \frac{m_p \cdot g}{6\pi \cdot R_p \cdot \mu_a} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde,

m_p	masa de la partícula, g
R_p	Diámetro de partícula, μm
g	Aceleración gravitacional, cm/s^2
μ_a	Viscosidad del aire, $\text{Kg/cm}\cdot\text{s}$

Esta ecuación parte del supuesto de flujo laminar, en una partícula en suspensión a una altura h en metros en un tiempo cero (0 seg) y apoyados en la ley de Stokes, ver Ec 3 (Stokes, 1851; Gibney, 2000).

$$F_v = 6 \cdot \pi \cdot \mu_a \cdot R_p \cdot v_{tp} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde,

- R_p Diámetro de partícula, μm
- μ_a Viscosidad del aire, $\text{Kg/cm}\cdot\text{s}$
- v_{tp} Velocidad de la Partícula con respecto al fluido

Gradientes Térmicos

El movimiento de los aerosoles puede verse influenciado por los gradientes térmicos, que actúan en forma que el desplazamiento se presenta de zonas con altas temperaturas hacia zonas con bajas temperaturas o viceversa (Keller, 1998). Actuando como lentes focalizando la energía, como las caras de los cristales (Cox y Whates, 1995).

Entre los recientes desarrollos en el campo de la convección térmica que afecta el movimiento de las partículas, se destaca la convección de doble difusividad, la cual estudia fluidos con varios gradientes difusivos moleculares, incluyendo la distribución de densidad vertical del fluido o "Inestabilidad de Rayleigh Taylor" (Falcón et al., 2007).

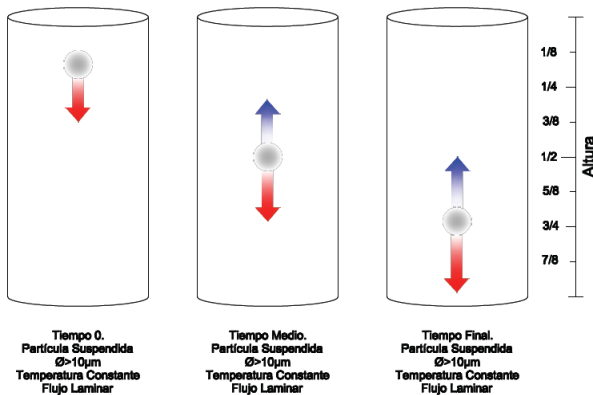


Figura 3.2 Descripción del movimiento de una partícula bajo la acción de las fuerzas gravitatorias

La Inestabilidad de Rayleigh Taylor, consiste principalmente en un proceso transitorio de convección en capas de fluidos inicialmente estables y con distintas difusiones moleculares denominadas isoterma, que no son más que diferentes capas térmicas presentes en un fluido. Este fenómeno presenta, durante el proceso de mezclado o régimen transitorio, filamentos que descienden desde la capa más densa y caliente del fluido hacia la capa menos densa y relativamente fría, finalizando en un sólo fluido homogéneo, térmicamente y mecánicamente estable (Falcón et al., 2007).

Fuerzas Electrostáticas

Los efectos debido a las fuerzas eléctricas habitualmente reciben una atención insuficiente, o incluso son ignorados (Cox, 1988); no obstante, en la generación de aerosoles, las cargas de estas partículas son invariables a menos que sean neutralizadas deliberadamente; es así como la emisión y difusión en ambientes secos, normalmente genera cargas mucho más altas que en un sistema húmedo. La fuerza ejercida por las cargas de los aerosoles, influye en la masa de la partícula aumentándola considerablemente por la deposición y agregación, debido a las fuerzas atractivas que ejercen las cargas (Cox y Whates, 1995).

Los aerosoles suelen tener como resultado global cargas neutras o cero carga basados en el principio de distribución de Boltzmann, que dice que existe igual número de partículas cargadas +1, +2, +3, +4, etc., como -1, -2, -3, -4, etc. Sin embargo en algunos casos, esta distribución no se ha observado (Wake et al., 1989), siendo atribuible al hecho que las superficies en las cuales se genera o transportan los aerosoles, pueden inducir o retirar las cargas a las partículas.

En cuanto a su comportamiento, los aerosoles actúan recíprocamente con la primera radiación electromagnética a través de la reflexión, la refracción, la absorción y el esparcimiento, la magnitud de esta fuerza estará en función de la carga de la partícula inferida. Estos últimos dos fenómenos que influyen en la aerodinámica de las partículas, son conocidos como termoforesis para las pendientes termales, ejercidas por

los gradientes térmicos y fotoforesis para la radiación originada por las fuerzas electromagnéticas (The Pennsylvania State University).

Sin embargo, el poco interés que antes suscitaba el estudio de esta fuerza que interviene en el proceso de difusión de los aerosoles biológicos, ha repuntado significativamente, asociado a la influencia que estas cargas tienen sobre las diferentes metodologías de cuantificación de tamaño y tipo de microorganismos. Mainelis et al. (2001) reporta que aun no existen muchas evidencias acerca de las cargas que pueda tener un aerosol biológico, pero se puede suponer que serían cargas altas (Mainelis, 1999; Mainelis et al., 2002; Mainelis et al., 2005; Mainelis y Yao, 2006).

Cabe destacar que las ecuaciones que describen el comportamiento aerodinámico de las partículas aquí presentadas, están basadas en las condiciones atmosféricas ideales, partiendo del supuesto que las partículas ya están suspendidas en el aire. Sin embargo, bajo las condiciones reales, los aerosoles biológicos tienen un comportamiento aerodinámico influenciado principalmente por las condiciones locales o la acción antropogénica, las condiciones medioambientales de la zona (energía disponible, viento, corrientes de convección, remolinos locales, etc.) y los mecanismos de liberación de partículas al aire (activos o pasivos), que influyen notablemente el comportamiento de las partículas, creando condiciones complejas para el establecimiento de un modelo de dispersión.

Aerodinámica de los Aerosoles Biológicos

Los aerosoles biológicos poseen una propiedad aerodinámica similar a los aerosoles en general, sujetas a las mismas leyes, además de estar bajo la influencia de otras leyes que se le infieren debido a sus propiedades biológicas especiales, tales como las cargas eléctricas, la transparencia u opacidad de las partículas, así como las adaptaciones específicas que han desarrollado algunos microorganismos o estructuras vegetativas para su transporte (Cox y Wahtes, 1995; Qian, 2000; De la Rosa et al., 2002; Rengasamy et al., 2004). Dentro de las propiedades

físicas son de gran importancia, los movimientos brownianos, las fuerzas gravitacionales, las fuerzas eléctricas y los gradientes térmicos, los cuales están relacionados con el diámetro aerodinámico equivalente de las partículas (Hinds, 1999) tratados en la sección anterior.

Algunos microorganismos suspendidos en el aire, generalmente se encuentran asociados a partículas de otro tipo como partículas de suelo, fragmento de hojas, gotas de agua, piel o fibras de ropas (Fulton, 1966; Whight et al., 1969; Imshenetsky et al., 1978; Tong et al., 1993; Lighthart y Mohr, 1994; Lighthart y Shaffer, 1994; Lighthart y Shaffer 1995; De la Rosa et al., 2002). Un ejemplo de ellos es el transporte que realizan las aerobacterias en fragmentos de hojas, material particulado o polvo, o en un complejo biótico conformado por varios tipos de microorganismos (De la Rosa et al., 2002; Rosas et al., 2005; Campbell, 2005; Nava et al., 2006). Es por ello que en algunos casos los aerosoles biológicos poseen propiedades aerodinámicas altamente similares o iguales a los demás aerosoles, ya que este asocio con aerosoles no viables, puede generar un cambio en sus propiedades físicas y químicas.

Fundamentado en lo anterior se puede afirmar que los aerosoles biológicos con un diámetro aerodinámico superior a $10\ \mu\text{m}$ tienden rápidamente a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales, mientras que las partículas inferiores a $0.1\ \mu\text{m}$ son transportadas por movimientos brownianos y presentan un comportamiento similar a un gas, permaneciendo así en suspensión. Sin embargo, las partículas con un diámetro aerodinámico entre 0.1 y $10\ \mu\text{m}$ presentan un comportamiento intermedio, ya que su movimiento está afectado en mayor o menor medida por ambos tipos de fuerzas (Cox y Whates, 1995; Sanchez-Monedero et al., 2006).

Sánchez-Monedero et al. (2006) afirma que la velocidad de sedimentación teórica de los aerosoles biológicos con tamaños entre 0.1 y $1\ \mu\text{m}$ es aproximadamente de $0.01\ \text{cm s}^{-1}$, lo que supone que estas partículas necesitarían más de 5 horas antes de sedimentar en el suelo desde una altura de 2 metros. Este cálculo teórico se fundamenta en el movimiento de una partícula en el aire sujeto a las fuerzas de gravedad y de rozamiento de la Ley de Stokes, condiciones ideales

que no se pueden extrapolar cuando las partículas se encuentran al aire libre expuestas a distintas condiciones ambientales, donde factores tales como turbulencia atmosférica, temperatura y humedad, pueden aumentar la velocidad de sedimentación hasta 1 cm/s. Incluso en estos casos, los aerosoles biológicos podrían permanecer suspendidos en el aire durante varios minutos antes de ser depositados en el suelo o en cualquier otra superficie.

Dinámica Atmosférica y su Influencia en el Comportamiento de los Aerosoles Biológicos

La aerodinámica que presentan los aerosoles biológicos en la atmósfera se considera como una de las principales características que influyen en la dispersión de los microorganismos emitidos al aire. Una vez que se encuentran en suspensión, su comportamiento aerodinámico va a estar regido por sus propiedades físicas y las condiciones medioambientales (Gregory, 1973; Lighthart & Mohr, 1987; Crowe et al., 1990; Lighthart et al., 1991; Pedgly, 1991; Israeli et al., 1993; Lighthart & Schaffer, 1994; Maier et al., 2000; Sanchez-Monedero, et al. 2006; Pillai, et al., 2007).

Sin embargo describir la viabilidad y transporte de los microorganismos en la atmósfera es un tema complicado, que involucra muchos factores físicos y bioquímicos. Es así como el transporte de aerosoles biológicos se rige fundamentalmente por factores hidrodinámicos y cinéticos, mientras que la viabilidad de estos aerosoles depende de la composición química específica y los parámetros meteorológicos a los que están expuestos. Un conocimiento profundo de las variables espaciales y temporales de movimiento de la atmósfera es necesario para apreciar el transporte de microorganismos en el aire. Las condiciones atmosféricas locales (velocidad del viento, temperatura y humedad relativa) se encuentran fuertemente influenciadas por características como los grandes campos de flujo de aire, ubicación geográfica y topografía local. Siendo la turbulencia atmosférica, responsable de la difusión de los microorganismos durante el transporte por acción del viento, e influencia-

da fuertemente por las condiciones atmosféricas locales y de variación diurna en la radiación solar que llega a la tierra (Mohr, 2002).

A través de los estudios realizados por Lighthart, se ha demostrado que el comportamiento aerodinámico de las aerosoles biológicos puede ser representado, modelado y simulado por las ecuaciones matemáticas gaussianas para describir el comportamiento de partículas suspendidas en la atmósfera. Adicional a estos otros estudios realizados evidencian que el tiempo que permanecen los microorganismos en el aire, depende de la forma, tamaño y peso del microorganismo, y de la existencia y potencia de las corrientes aéreas que los sostengan y los eleven (De la Rosas et al., 2002).

Pese a que los estudios desarrollados por Lighthart con diversos autores tenían como objeto elaborar un algoritmo que permitiera describir la viabilidad de los aerosoles biológicos basados en el modelo de dispersión gaussiana, comprobó a través de éstos, que los aerosoles biológicos obedecen en condiciones ambientales reales a lo planteado en la ecuación de dispersión gaussiana (Lighthart & Frisch, 1975; Lighthart, 1983; Marthi & Lighthart, 1990; Lighthart & Shafer, 1995; Tong & Lighthart, 1996; Lighthart & Mohr, 1997; Lighthart, 1998; Lighthart & Kirilenko, 1998; Lighthart et al., 2000; Prier et al., 2001).

Adicional a estos estudios Wickman (1994), presenta una explicación basada en lo físico y biológico (Proceso Molecular) y utiliza los parámetros de la deposición, la adhesión y la liberación para explicar el transporte de aerosoles biológicos. Cox (1987) se refiere a los mismos mecanismos "los procesos de liberación" y "sedimentación en la superficie", sin embargo, la explicación de este autor se orienta más a efectos en la salud relacionados con el sistema respiratorio humano, interesado en los procesos que influyen en el transporte de aerosoles biológicos, haciendo énfasis en el aumento en los últimos años del uso de microorganismos genéticamente modificados y su liberación. Por último Chamberlain (1967) estudió ambos fenómenos: la deposición y la liberación de esporas y polen, en lo que se refiere a las superficies biológicas.

Viabilidad de los Aerosoles Biológicos

Los factores ambientales, además de regir el comportamiento aerodinámico de los aerosoles biológicos, también determinan su estabilidad y viabilidad. Los microorganismos en suspensión están expuestos a distintos tipos de estrés ambiental que dan lugar a su inactivación; siendo los factores que más influencia tienen en la viabilidad de los microorganismos, el contenido de agua en la atmósfera, temperatura, radiación UV, entre otros factores característicos de ambientes al aire libre (Mohr, 2002; Jones & Harrison, 2003; Arango, 2007).

La viabilidad en los aerosoles biológicos, se considera como la capacidad que tienen dichas partículas en bajar su tasa metabólica entrando a un estado de inactivación durante su transporte (dispersión), después de impactar en un medio con las condiciones óptimas para crecer o infectar, siendo capaces de sobrevivir al estrés ambiental, para así activarse y cumplir con sus funciones vitales.



Figura 3.3 Factores que afectan la viabilidad de los aerosoles biológicos
Adaptado por el autor a partir de Cox, 1987; Marthi, 1994; Mohr, 2002.

Cuando los organismos son estresados pueden morir o ser afectados, aunque otros pueden permanecer aparentemente sin resentir sus efectos.

tos; de tal forma que la supervivencia de un microorganismo que se ha sometido a estrés, dependerá de su capacidad de reparar sus funciones biológicas afectadas, conociéndose dos tipos de procesos para ello, fisicoquímicos y enzimáticos (dependientes de energía) (Rosas et al, 2005).

Las condiciones sobre las que se puede establecer la viabilidad de los microorganismos en suspensión en forma de aerosoles dependerán en gran medida de las condiciones físicas y químicas de la masa de aire presente en el momento de su emisión y dispersión (ver figura 3.3), sin embargo se hace necesario aclarar que la forma de emisión, el medio o material donde realizan el transporte, así como las adaptaciones especiales que han desarrollado los agentes microbianos permiten en gran medida aumentar las posibilidades de supervivencia en el aire; ejemplo de ello, es la mayor posibilidad de supervivencia de una bacteria transportada sobre una microgota de agua (producto de la acción mecánica de las superficies de agua con el viento) a una que se transporte sobre una partícula de polvo, ya que en la primera forma de transporte, la bacteria tendrá mayor probabilidad de evitar la desecación con respecto a la segunda por la escasa o nula disponibilidad de agua.

Características Fisicoquímicas de la Atmósfera y su Relación con la Viabilidad de los Aerosoles Biológicos

Muchos estudios han definido la viabilidad de los aerosoles biológicos a través de investigaciones a escalas de laboratorio, controlando tanto las condiciones de flujo como las de transporte. No obstante, dentro de los estudios realizados acerca de la viabilidad de los aerosoles biológicos, no se ha tenido en cuenta que menos del 1% de los microorganismos son cultivables en medios enriquecidos (Amann et al., 1995; Pace, 1997; Rosas et al., 2005), siendo sólo cuantificable una pequeña porción de los que pueden llegar a estar suspendidos en el aire. Adicionalmente, es preciso anotar que algunos de los microorganismos cultivables muchas veces presentan un proceso endógeno debido al estrés al que son sometidos en la etapa de muestreo y análisis, lo que dificulta aún más

identificar la real viabilidad de dichos microorganismos (Stewart et al., 1995; Buttner et al., 1997; Mainelis y Yao, 2006; Sergey & Reponen, 2004).

A continuación se presenta una descripción de las principales variables que influyen en la viabilidad de los aerosoles biológicos.

Contenido de Agua o Humedad Relativa

El estado físico y el contenido del agua en la atmósfera están asociados con los aerosoles biológicos, siendo uno de los factores fundamentales que influyen en la supervivencia de los microorganismos (Marthi, 1994; Madrioli et al., 1998; Peccia et al., 2001; Mohr, 2002; Jones y Harrison, 2003; Barth, 2006). La cuantificación del contenido de agua en la atmósfera, se realiza por la medición de humedad relativa, desempeñando un rol relevante en la viabilidad de los aerosoles biológicos, ya que la cantidad de agua presente en la atmósfera determinará el grado de deshidratación o hidratación a que estarán sometidos los microorganismos en el aire (Crowe et al, 1990; Israeli et al, 1993); razón por la cual se establece que uno de los parámetros meteorológicos de mayor importancia para la estabilidad de los aerosoles biológicos es la humedad relativa (Cox, 1987).

Según estudios desarrollados por Israeli et al. (1994) se demostró a través de microorganismos liofilizados la importancia del contenido de agua para la viabilidad de los aerosoles biológicos, concluyendo que la biomembrana, conformada por una doble pared de fosfolípidos, sufre cambios en su conformación desde una fase cristalina hasta una gelatinosa, como resultado de la pérdida de agua, donde estas transformaciones inducen a un cambio en las proteínas de la célula, lo cual resulta en la pérdida de la viabilidad.

Cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los microorganismos, lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos (Mohr, 2002); por otro lado a mayores altitudes, las condiciones son más favorables por la evaporación, permitiendo que algunas esporas fúngicas puedan germinar en las nubes.

Por tanto y sirviendo de referencia el hecho que la humedad relativa mínima necesaria para el crecimiento de hongos es del 65 %, se plantea que bacterias requieren una mayor humedad; siendo las bacterias Gram negativas más sensibles a la desecación que las Gram positivas, sin embargo esto refleja que existe poca evidencia de transmisión por el aire de bacterias Gram negativas, con la excepción de *Legionella* (Lidwell, 1990).

Es así como se afirma, que dentro del amplio grupo de aerosoles biológicos, los hongos y virus son más resistentes a la desactivación que las bacterias, pero en todos los casos el factor que más influye en su viabilidad es la cantidad de agua de la que dispone el microorganismo para evitar la desecación de la membrana externa que quedaría expuesta a la acción de los factores ambientales (Winkler, 1973; Ali et al., 1976; Urzi et al., 2001; Lua et al., 2008); esta situación ha sido demostrada en los estudios que afirman, que con un aumento de humedad relativa cercano al 50% , las células obtienen protección contra la inactivación inducida por los rayos UV (Barth, 2006; Sánchez-Monedero, et al. 2006; De la rosa et al., 2002; Mohr, 2002; Pillai, 2007).

En general las bacterias Gram negativas y las Gram positivas tienen arreglos protéicos en las membranas exteriores, o S-capas, que constituyen la capa más externa de la envoltura celular presentando cambios en sus propiedades físicas como el espesor o la adhesión causados por los cambios de la humedad relativa; es así como se plantea que entre un 50% y 90% de humedad aproximadamente, existe una disminución en la adherencia y espesor, y por encima de una humedad relativa de aproximadamente el 90%, hay un fuerte aumento en el espesor, que se atribuye a la captación de agua o de reordenamiento de conformación, por lo que los grupos polares están expuestos a la superficie, dando lugar a la capa S cada vez más hidrofílica, permitiendo una adhesión inmediata a la superficie de contacto (Wickham, 1994).

Datos contradictorios de los efectos de la relación de la humedad en la supervivencia de las bacterias han sido publicados simultáneamente (Cox, 1995). Sin embargo, es preciso aclarar que la temperatura y la humedad relativa están en una estrecha relación, por lo que es difícil

separar los efectos que producen ambas sobre la viabilidad de los aerosoles biológicos, ya que se ha demostrado que con un aumento de la temperatura a condiciones estables de humedad relativa se presenta una disminución en la viabilidad de los microorganismos.

Temperatura

La estrecha relación que existe entre la temperatura y la humedad relativa, genera complicaciones en el momento de evaluar los efectos por separado. La temperatura en la troposfera varía de 40° C cerca de la superficie a -80° C en las capas altas, alcanzándose temperaturas de congelación entre 3-5 Km. Es importante comentar que la congelación no destruye los microorganismos, pero si impide que puedan multiplicarse (reproducirse), debido a que las células congeladas tienden a perder la actividad de las proteínas celulares, traduciéndose en una mayor tasa de inactivación de los aerosoles (Mohr, 2002). Diversos estudios muestran que el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los microorganismos (Dimmock, 1967; Mohr, 2002).

Las bacterias pueden producir endosporas que le confieren resistencia contra los cambios ambientales (Barth, 2006), la temperatura y la congelación. Aunque la mayoría de las bacterias esporuladas son anaerobios estrictos, las hay facultativas como en el caso de *Bacillus*. Así mismo las esporas pueden ser transportadas a grandes distancias y dispersadas por el viento permitiéndoles resistir la inactivación producto de las temperaturas (Urzi et al., 2001; Rosas et al., 2005).

Radiaciones ultravioleta

La inactivación que producen las radiaciones ultravioletas en los microorganismos depende de la longitud de onda e intensidad de la radiación, donde las radiaciones de longitud de onda corta (rayos X, rayos γ) contienen más energía, son ionizantes y alteran o destruyen el ADN de los microorganismos. Otros factores, como la humedad relativa (Beebe, 1959), la actividad del agua (Bridges, 1976; Krinsky, 1976), concentración de oxígeno, y la presencia de otros gases, influyen en el efecto

que producen las radiaciones sobre los microorganismos. La forma de interacción es poco conocida, pero la desecación y congelación pueden proteger a los microorganismos de las radiaciones (Mohr, 2002); es así como la radiación ultravioleta comprendida entre 250 - 400 nm es la banda más perjudicial para los microorganismos (Webb & Malina, 1967; Harm, 1969; Harm 1980).

Por otro lado Peccia et al. (2000), afirmaron que a partir de una longitud de onda de 253,7 nm se produce un efecto germicida de la radiación, que puede llegar a inhibir la reproducción de los microorganismos en el agua y las corrientes de aire. Dadas las condiciones de transporte de los microorganismos (sobre partículas de polvo y hojas, microgotas en consorcios bacterianos y adaptaciones especiales) pueden llegar a resistir esta longitud de onda y transportarse fácilmente sobre la masa de aire; un ejemplo de esto lo representan las nubes de polvo que pueden atenuar la exposición de los microorganismos a la energía solar (Griffin et al., 2001).

La exposición a radiaciones de corta longitud de onda, como la luz ultravioleta, es la principal causa de pérdida de viabilidad de los microorganismos que entran en la atmósfera. Las radiaciones ultravioleta aumentan con la altura, debido a una menor retención, lo que causa mutaciones y la muerte de los microorganismos. Algunos se protegen de los efectos letales de la radiación por los pigmentos que producen, así como por el polvo y las gotas de saliva y moco, debido al escaso poder de penetración de la luz ultravioleta. Sin embargo, en la estratosfera existe una zona con una gran concentración de ozono que mata a los microorganismos, pero al mismo tiempo, actúa absorbiendo la radiación ultravioleta. Por todas estas razones, la estratosfera constituye una barrera para los microorganismos vivos procedentes de la troposfera (Atlas y Bartha, 2002).

Velocidad del Viento

La velocidad del viento es una variable poco relacionada con la viabilidad de los aerosoles biológicos, sin embargo esta variable puede llegar a resultar crucial para la supervivencia de los microorganismos, ya que

de ella dependerá en gran medida el tiempo al cual estarán expuestos los microorganismos a las variables físico-químicas de la masa de aire donde realizan su procesos de emisión y transporte, así mismo determinarán la distancia máxima que podrán llegar a recorrer los aerosoles biológicos en función de su diámetro.

Es así como los aerosoles biológicos de diámetro inferior a 10 micras pueden recorrer grandes distancias en menores tiempos a velocidades de viento relativamente bajas con respecto a las partículas de mayor diámetro. De igual forma el viento también determina el tiempo en el que los aerosoles pueden permanecer en suspensión, por lo que en la condición anterior los microorganismos de diámetro menor a 10 micras necesitarán de menores velocidades de viento para permanecer en suspensión en la masa de aire, que aquellos mayores a 10 micras; a su vez toma menor tiempo en recorrer amplios trayectos, generando disminución en la exposición a los agentes estresantes presentes en la masa de aire.

Otros factores Ambientales

Carbono

La atmósfera contiene muy poca concentración de materia orgánica, y en la mayoría de los casos, es insuficiente para permitir el crecimiento heterotrófico. Incluso el crecimiento de microorganismos autótrofos está limitado por el agua disponible que es escasa.

Concentración de Oxígeno

La concentración de oxígeno puede tener un efecto importante en la estabilidad de los aerosoles y la ineffectividad de algunas bacterias (Cox, 1973). Los radicales libres de oxígeno se han sugerido como la causa de la inactivación. Algunos investigadores (Cox, 1967) han observado relaciones tóxicas que aumentan la susceptibilidad de oxígeno con deshidratación, aumento de la concentración de oxígeno y el tiempo de exposición (Mohr, 2002).

Factores Microbiológicos

El tipo, la especie o la cepa de un microorganismo (Marthi 1994; Handley y Webster, 1995; Lighthart y Shaffer, 1997) influye en la viabilidad que éste pueda llegar a tener en el proceso de emisión, transporte y dispersión en el aire, como ya se mencionó anteriormente; no obstante, es preciso aclarar que todos los microorganismos son susceptibles de ser sometidos a estrés por los diversos factores ambientales, sin que hasta el momento se haya reportado actividades reproductivas por parte de los microorganismos en la atmósfera, ratificando el concepto que afirma que la atmósfera no es considerada un hábitat para los microorganismos.

En general estudios desarrollados por Mik y Groot (1977), han demostrado que las tasas de inactivación para muchos aerosoles biológicos aumentan significativamente cuando son sometidas al aire libre, en comparación con ambiente de un laboratorio con condiciones inertes en el aire (Benbough y Hood, 1971; Druett, 1973); mientras que Cox (1987) sugirió que la razón principal para la inactivación son las reacciones entre el ozono y las olefinas. Otros factores de la atmósfera que pueden causar inactivación son probablemente la contaminación ambiental (Mohr, 2002). En la Tabla 3.1 se resumen los factores ambientales y los daños que causan a los microorganismos, afectando su viabilidad donde las membranas bacterianas son sensibles a la desecación, mientras que los ácidos nucleídos son más sensibles a los rayos ultravioleta (Cox, 1995).

Tabla 3.1 Principales efectos causados sobre la viabilidad de los microorganismos por los factores ambiental

Factor Ambiental	Daño o afectación
Humedad relativa	Membrana fosfolípida y proteínas de las células
Temperatura	
Concentración de oxígeno	
Radiaciones electromagnéticas	Membrana fosfolípida, proteínas, ácidos nucleótidos de las células
Otros factores ambientales	

Fuente: Adaptado por el autor a partir de la información suministrada por Mohr, 2002

Por otro lado determinados compuestos químicos presentes en el aire ambiente pueden aumentar la supervivencia de microorganismos. Estos compuestos mejoran la supervivencia mediante la sustitución de las moléculas de agua en la estructura de las proteínas durante la desecación a través de puentes de hidrógeno, para conservar la estructura natural de las proteínas celulares (Webb, 1960). Ejemplo claro de ello es una suspensión de heces (Adams, et al., 1982; Ijaz, et al., 1985) que puede afectar a la supervivencia de los virus; de igual forma los compuestos orgánicos de bajo peso molecular como la glicina, betaína, prolina, taurina y la trehalosa se acumulan en las células durante el estrés osmótico para equilibrar la fuerza osmótica del citoplasma con el medio ambiente (Marthi y Lighthart, 1990).

Modelos de Viabilidad

Modelo de Decaimiento Exponencial

La pérdida de la viabilidad de los microorganismos aerolizados es causada por una compleja interacción de los factores físicos, meteorológicos y celulares (Mohr, 2002). Los primeros intentos de explicar la viabilidad de los aerosoles se basó en el modelo de decaimiento exponencial con resultados mixtos (Mohr, 2002). Incluso se pensó que el modelo de decaimiento exponencial había sido una simplificación de la aplicación de complejas expresiones matemáticas, que a menudo entregan conclusiones que no eran más precisas que las expresiones simples (Mohr, 2002). Si todos los parámetros conocidos se aplican a una expresión matemática, habría alrededor de 20 entradas, muchas de las cuales dependen de los demás parámetros en determinados periodos del vuelo (Mohr, 2002). La expresión matemática de la disminución exponencial de la viabilidad de los aerosoles biológicos se expresa mediante la ecuación Ec. 4.

$$V_t = V_o e^{-k} \quad \text{Ec. 4}$$

donde,

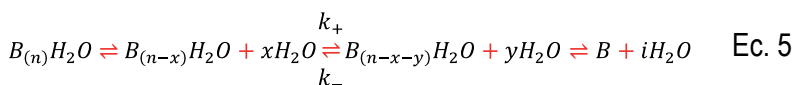
V_t Viabilidad del aerosol en un tiempo t

V_0 Viabilidad en un tiempo 0

k Tasa constante de decaimiento o desintegración

Modelo cinético

Cox (1987), en una serie de artículos presentó lo que denominó modelo cinético. Él no estaba satisfecho con la falta de explicación del modelo exponencial, debido a que no cuenta con un tiempo de desintegración independiente observado para la mayoría de microorganismos. Cox explicó su modelo cinético, que supone que contienen microorganismos de una especie molecular, $B_{(n)}H_2O$; siendo $B_{(n)}H_2O$ la actividad biológica esencial para una célula microbiana o la capacidad para replicar o ser infecciosas. Se pensaba que cuando la especie molecular $B_{(n)}H_2O$, se encontraba expuesta a un entorno de baja actividad de agua o bajo porcentaje de humedad relativa, se hidrataba de una serie de hidratos similar a otras biomoléculas, siendo algunos de estos hidratos inestables, y que su proceso de decaimiento de forma espontánea, lo realizaban a través de un proceso de primer orden ($-dx / dt = kx$), donde x es la concentración de la especie que se estresa. Y la cual corresponde al modelo representado por la Ec. 5



Referencias

- Adams D., Spendlove J., Spedlove R., & Barnett B., (1982). Aerosol Stability of Infectious and Potentially Infectious Reovirus. *Applied and Environmental Microbiology*, 444, (4), 903-908.
- Ali M.I., Salama A.M., & Ali J.M., (1976). Possible role of solar radiation on the viability of some air fungi in Egypt. *Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene. Zweite naturwissenschaftliche Abt.: Allgemeine, landwirtschaftliche und technische Mikrobiologie*, 2, 131, 529-534.
- Amann R., Ludwig W., Schleifer K., & Phylogenetic H., (1995). Identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbial Reviews*. 59, (1), 143-169.

- Arango M.C., (2007). *Microbiología del aire*. Recuperado el 29 de junio de 2007, <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/microbiol/ecoaire2.ppt>
- Atlas R.M., & Bartha R. *Ecología microbiana y microbiología Ambiental* (4ta ed.). (2002). Nuñez de Balboa, Madrid, España: Pearson Education.
- Barth E., (2006). *Evaluation of Bioaerosol Components, Generation Factors, and Airborne Transport Associated with Lime Treatment of Lead-Contaminated Sediment for Beneficial Use Purposes*. Tesis no publicada. Division of Research and Advanced Studies of the University of Cincinnati In partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTORATE OF PHILOSOPHY (Ph.D.) In the Department of Environmental Health of the College of Medicine, Miami, Estados Unidos.
- Beebe J.M., (1959). Stability of disseminated aerosol of pasteurized *Shigella flexneri* subjected to simulated solar radiation and various humidities. *J. Bacteriol*, 18, 18-24.
- Benbough J.E., & Hood A.M., (1971). Viricidal activity of open air. *J. Hyg. Camb*, 69, 619-626.
- Bridges B.A., (1976). Survival of bacteria following exposure to ultraviolet and ionizing radiation. En T.R.G. Gray & J.R. Postage (eds.), *Twenty-sixth symposium of the society of general microbiology* (pp. 183-208). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Buttner M.P. Willeke K., & Grinshpun S.A., (1997). Sampling and analysis of airborne microorganisms. En C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, M.V. Walter (Eds.). *Manual of Environmental Microbiology* (pp 814-826). Washington DC, EE.UU.: ASM Press.
- Campbell R., *Ecología Microbiana*. (2005) México D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Chamberlain A.C., Deposition of particles onto natural surfaces. (1967). En P.H. Gregory y J.L. Montieith (eds.). *Airborne microbes* (pp. 138-164). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Cox C.S., (1987). The aerobiological pathway of microorganisms. En: Jhon Wiley y Sons, Chichester, United Kingdom
- Cox C.S., & Balddwin F., (1967). The toxic effect of oxygen upon the aerosol survival *Escherichia coli* B. *J. Gen. Microbiol*, 49, 115-117.
- Cox C.S., & Wathes C.M., *Bioaerosols Handbook*. (1995). New York: Lewis Publishers.
- Cox C.S., Baster J., & Maidment B.J., (1973). A mathematical expression for oxygen-induced death in dehydrated bacteria. *J. Gen. Microbiol*, 75, 179-185.
- Crowe J.H., Carpenter F., Crowe C.M., & Anchordoguy T.J., (1990). Are freezing and dehydration similar stress factors? A comparison of modes of interaction of stabilizing solutes with biomolecules. *Cryobiology*, 21.
- Cutnell J.D. & Johnson K.W., *Physics* (3rd ed). (2002). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- De la Rosa M.C., Mosso M.A., & Ullán C., (2002). El aire: Hábitat y Medio de Transmisión de Microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402.
- de Mik G., & Grooter de I., (1977). The germicidal effect of the open air in different parts of the Netherlands, *J. Hyg*, 78, 175-180.



- Dimmonck N.L., (1967). Differences between the thermal inactivation of picornaviruses at "high" and "low" temperatures. *Virology*, 31, 338-353.
- Druett H.A., The open air factor. (1973). En J.F.P. Hers and K.C. Winkler (eds.). *Airborne transmission and infection* (pp.141-151). New York, NY, EE.UU.: John Wiley & Sons.
- Fulton J.D., (1966) Microorganisms of the upper atmosphere. II. Relationship between altitude and micropopulation. *Appl. Environ. Microbiol*, 14, 237-240.
- Gibney M.J. IV., (2000). Predicting Package Defects: Quantification Of Critical Leak Size. Tesis de maestría no publicada. Thesis submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Food Science and Technology. Recuperado el 28 de Junio del 2007, de <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-08312000-14550031/unrestricted/etd gibney.pdf>
- Gregory P.H. 1973. *The Microbiology of Atmosphere*, 2nd ed. Halstead Press, New York, N.Y.
- Griffin D., Kellogg C., & Shinn E., (2001). Dust in the Wind. *Global Change and Human Health*, 2, (1), 2-15
- Handley B.A., & Webster A.J.F., (1995). Some factors affecting the airborne survival of bacteria outdoors. *Journal of Applied Bacteriology*, 79, 368-378.
- Harm W., (1969). Biological determination of the germicidal activity of sunlight. *Rad. Res.*, 40, 63-69.
- Harm W., (1980). *Biological Effects of Ultraviolet Radiation*. London: Cambridge University Press.
- Hinds W.C., (1999). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles* (2da ed.). New York, NY, EE.UU.: John Wiley and Sons, Inc.
- Ijaz M., Sattar S., Johnson-Lussenburg M., & Springthorpe V., (1985). Effect of relative Humidity, Atmospheric Temperature, and Suspending Medium on the Airborne Survival of Human Rotavirus. *Canadian Journal of Microbiology*, 31, 681-685
- Imshenetsky A.A., Lysenko S.V., & Kazakov G.A., (1978). Upper boundary of the biosphere. *Appl. Environ. Microbio*, 35, 1-5.
- Israeli E., Gitelman J., & Lighthart B., (1994). Death mechanisms in bioaerosols. En B. Lighthart & A.J. Mohr (eds.). *Atmospheric microbial aerosols* (pp.166-191). New York, NY, EE.UU.: Chapman & Hall.
- Israeli E., Schaffer B.T., & Lighthart B., (1993). Protection of freeze-dried *Escherichia coli* by trehalose upon exposure to environmental conditions. *Cryobiology*, 30, (5), 519-523.
- Jones A.M., & Harrison R.M., (2003). The effects of meteorological factors on atmospheric bio-aerosol concentrations – a review. *Science of the Total Environment*, 326, (1-3), 151-180.
- Keller S., (1998). Determination of the leak size critical to package sterility maintenance. Tesis no publicada. Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA. Recuperado el 28 de junio del 2007, de <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-040799-175608/unrestricted/Kelleretd.pdf>

- Krinsky N.I., (1976). Cellular damage initiated by visible light. En T.R.G. Gray & J.R. Postgate (eds.), *twenty-six symposium of the society of General Microbiology* (pp. 209-239). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University press.
- Lau A.P.S., Cheng J.Y.W., & Fang M., (2008). Assessment of the atmospheric fungal prevalence through field ergosterol measurement I—Determination of the specific ergosterol content in common ambient fungal spores and yeast cells. *Atmospheric Environment*, 42, (22), 5526-5533
- Lidwell O.M., (1990). The microbiology of air. En: Linton, A. & Dick, H.M. (eds.), *Topley and Wilson's. Principles of bacteriology, virology and immunity*. London: Edic. Ed. Edward Arnold.
- Lighthart B., (1983). Microbial Aerosols: Estimated Contribution of Combine Harvesting to an Airshed. *Applied and Environmental Microbiology*, 47, (2), 430-432.
- Lighthart B., (1999). An Hypothesis Describing de General Temporal and Spatial Distribution of Alfresco Bacteria in the Earth's Atmospheric Surface Layer. *Atmospheric Environmental*, 33, (4), 611-615.
- Lighthart B., & Frisch A. S. (1976). Estimation of Viable Airborne Microbes Downwind from a Point Source. *Applied and Environmental Microbiology*, 31, (5), 700-704.
- Lighthart B., & Kivirenko A., (1998). Simulation is Summer-Time Diurnal Bacterial Dynamic in the Atmospheric Surface Layer. *Atmospheric Environmental*, 32, (14/15), 2491-2496.
- Lighthart B., & Mohr A.J., (1987). Estimating Downwind Concentrations of Viable Airborne Microorganisms in Dynamic Atmospheric Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 53, (7), 1580-1583.
- Lighthart B. & Mohr A.J., (1994) *Atmospheric Microbial Aerosols, Theory and Applications*. New York, NY, EE.UU.: Chapman and Hall.
- Lighthart B., & Schaffer B.T., (1994). Bacterial flux from chapparral into the atmosphere in mid-summer at a high desert location. *Atmos. Environ.*, 28, (7), 1267-1274.
- Lighthart B., & Schaffer B.T., (1995). Airborne Bacteria in the Atmospheric Surface Layer: Temporal Distribution above a Grass Seed Field. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, (4), 1492-1496.
- Lighthart B., & Shaffer B.T. (1997). Increased airborne bacterial survival as a function of particle content and size. *Aerosol Science and Technology*, 27, (3), 439-446.
- Lighthart B., & Tong Y., (1997). Solar Radiation has a Lethal Effect on Natural Populations of Culturable Outdoor Atmospheric Bacteria. *Atmospheric Environment*, 31, (6), 897-900.
- Lighthart B., & Tong Y., (1998). Effect of simulated solar radiation on mixed outdoor atmospheric bacterial populations. *Microbiology Ecology*, 26, 311-316.
- Lighthart B., Prier K., Loper G., & Bromenshenk J., (2000). Honey Bees Scavenge Airborne Bacteria from the atmosphere. *First Joint Conference on Point Detection for Chemical and biological Defense*.

- Lighthart B., Shaffer B.T., Marthi B., & Ganio L., (1991). Trajectory of Aerosol Droplets from a Sprayed Bacterial Suspension. *Appl. Environ. Microbiol*, 57, (4), 1006-1012.
- Madrioli P., Comtois P. & Levizzani V. *Methods in aerobiology* (5ta Ed.). (1998). Bolona, Italy: Pitagora Editrice
- Maier R.M., Pepper I.L., & Gerba C.P. (2000). *Environmental Microbiology*. San Diego, California, EE.UU.: Academic Press.
- Mainelis G. (1999). Collection of Airborne Microorganisms by Electrostatic Precipitation. *Aerosol Science and Technology*, 30, 2, 127-144.
- Mainelis G., Willeke K., Baron P., Reponen T., Grinshpun S. A., Guorny R. L., & Trakumas S., (2001). Electrical charges on airborne microorganisms. *Journal of Aerosol Science*, 32, 1087–1110.
- Mainelis G., Willeke K., Baron P., Reponen T., & Grinshpun., (2002). Induction Charging and Electrostatic Classification of Micrometer-Size Particles for Investigating the Electrobiological Properties of Airborne Microorganisms. *Aerosol Science and Technology*, 36, 479–491.
- Mainelis G. & Yao M., (2006). Effect of physical and biological parameters on enumeration of bioaerosols by portable microbial impactors. *Aerosol Science*, 37, 1467 – 1483.
- Mainelis G., Yao M., & Roun H., (2005). Inactivation of Microorganisms Using Electrostatic Fields. *Environ. Sci. Technol*, 39, (9), 3338-3344.
- Marthi B. (1994). Resuscitation of microbial bioaerosols. En B Lighthart & A. J. Mohr (eds.). *Atmospheric Microbial Aerosols* (pp. 192-225). New York, N.Y., EE.UU.: Chapman & Hall.
- Marthi B., & Lighthart B., (1990). Effects of Betaine on Enumeration of Airborne Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, (5), 1286-1289.
- Mohr A., Fate and transport of microorganisms in air. (2002). En: En C.J. Hurst, G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach, M.V. Walter (Eds.). *Manual of Environmental Microbiology* (pp. 827-838). Washington DC, EE.UU.: ASM Press.
- Nava A., Hilda G., Libertad I., & Sánchez-Yáñez J., (2006). Microorganismos en la atmósfera de la ciudad de Monterrey, N.L. México. Recuperado el 29 de julio del 2007 de <http://www.monografias.com/trabajos32/microorganismos-aire-monterrey/microorganismos-aire-monterrey.shtml>
- Pace N.R., (1997). A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science*, 276, (5313), 734-740.
- Peccia J., Werth H. & Hernandez M., (2000). Effects of relative humidity on the UV-Induce inactivation of bacterial bioaerosols. *J. Aerosol Sci.*, 31, 1, S959-S960.
- Peccia J., Werth H., Miller S., & Hernandez M., (2001). Effects of relative humidity on the Ultraviolet induced inactivation of airborne bacteria, *Aerosols Science and Technology*, 35, 3, 728-740.
- Pedgley D.E., Aerobiology: The Atmosphere as a Source and Sink for Microbes. (1991). En: J.H. Andrews & Hirano, S.S. (Eds.), *Microbial Ecology of Leaves*. New York, NY, EE.UU.: Springer-Verlag.

- Pich J., (1972). Theory of gravitational deposition of particles from laminar flows in channels. *J. Aerosol Sci*, 3, 5, 351-361.
- Pillai Suresh D., (2007). Bioaerosols from land-applied biosolids: Issues and need. *Water Environment Research*, 79, 3, 270-278.
- Prier K., Lighthart B., & Bromenshenk J., (2001). Adsorption Model of Aerosolized Bacterial Spore (*Bacillus Subtilis* Variety *Niger*) Onto Free-Flying Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) and its Validation. *Environmental entomology*, 30, (6), .1188-1194
- Qian H., (2000). Single-Particle Tracking: Brownian Dynamics of Viscoelastic Materials. *Biophys Journal*, 79 (1), 137-143.
- Rosas, I., Salinas, E., Martínez, L., Eslava, C., & Cravioto, A., (2004). Microbiología Ambiental. Primera edición. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) 133 p.
- Rengasamy A., Zhuang Z., & Berryann R., (2004). Respiratory protection against bioaerosols: Literature review and research needs. *State of the Science Report*. 32, (6), 345-354.
- Sánchez-Monedero M.A., Roig M., Cayuela L., Stentiford E.I., (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 10, (1), 39-47.
- Sergey A.G., & Reponen T., (1995). Sampling of Biological Particles from Ambient Environment: Physical Principles, Efficiency, and Exposure Assessment. *International Aerobiology Newsletter*. 59.
- Stewart S.L., Grinshpun S.A., Willeke, K., Terzieva, S., Ulevicius, V., Donnelly, J. Effect of Impact Stress on Microbial Recovery on an Agar Surface, *Appl. Environ. Microbiol*, 61, (4), 1995.
- Stokes G.G., (1851). On the effect of the lateral friction of fluids on the motion of pendulums. *Transactions of Cambridge Philosophical Society*, Cambridge, 9, (1), 8-86.
- The Pennsylvania State University. Bioaerosols and bioaerols dynamics. The Pennsylvania State University. Recuperado el 26 de Junio de 2007 de The Pennsylvania State University http://www.engr.psu.edu/AE/iec/abe/topic/bioaerosol_dynamics.asp.
- Tong Y.Y., Che F.X., Xu X.Z., Chen M.L. & Ye B.Y., (1993) Population study of atmospheric bacteria at the Feng tai district of Beijing on two representative days. *Aerobiologia*, 9, (1), 69-74.
- Urzi C., De-Leo F., Paola S., & Criseo G., (2001). Airborne fungal spores colonising marbles exposed in the terrace of Messina Museum, Sicily. *Aerobiologia*, 17, (1), 11-17.
- Wake D., Thorpe A., & Brown R.C., (1989). Measurements of the electric charge on laboratory generated aerosols. In proceedings of the 3rd annual conference of the Aerosol Society (West Bromwich, 20-22 march 1989), 71-75.
- Webb R.B., & Malina M.M., (1967). Mutagenesis in *Escherichia coli* by visible light. *Science* 156, (3778), 1104 - 1105.



- Winkler K., (1973). Fourth International Symposium on Aerobiology, J. Hers, & K. Winkler (Eds). Oosthoek, Utrecht, the Netherlands, pp. 1-11
- Wickman H.H., (1994). Deposition, adhesion, and release. En: B Lighthart & A. J. Mohr (Eds.), *Atmospheric Microbial Aerosol* (pp. 99-165), New York, NY, EE.UU.: Chapman & Hall.
- Wright T.J., Greene V.W. & Paulus H.J., (1969). Viable microorganisms in an urban atmosphere. *J. Air Pollut. Control Assoc*, 19, 337-341.



Capítulo 4

Yiniva Camargo Caicedo

Efectos de los Aerosoles Biológicos

En las últimas décadas el interés en el estudio de la exposición a bio-aerosoles ha aumentado, debido a que actualmente se reconoce que la interacción con agentes biológicos en ambientes outdoor e indoor, así como en espacios ocupacionales se encuentra asociado con un amplio rango de efectos adversos. Sobresalen los efectos relacionados con repercusiones en la salud pública, que incluyen enfermedades infectocontagiosas, efectos tóxicos agudos, alergias y cáncer.

Actualmente se han identificado diversas actividades antropogénicas en las que se han reconocido fuentes de exposición a agentes biológicos (resumidas en la Tabla 2.1), como por ejemplo el reciclaje de residuos que ha reportado frecuentemente altos niveles de exposición de sus trabajadores a microorganismos, durante la clasificación, recogida y compostaje de residuos (van Tongeren et al., 1997; Douwes et al., 2000a). Igualmente diversos estudios han indicado una alta prevalencia de sín-

tomas respiratorios y la inflamación de las vías respiratorias en este tipo de actividades industriales (Sigsgaard et al., 1994; Poulsen et al., 1995; Thorn and Rylander, 1998; Douwes et al., 2000a; Wouters et al., 2002).

Otros casos relacionados con elevada exposición a bioaerosoles (principalmente mohos) se presentan en edificios con problemas de ventilación, que en diversos estudios han registrado que la ocurrencia de enfermedades se asocia con estas exposiciones, lo que se denomina “síndrome del edificio enfermo” (Walinder et al., 2001).

A pesar del riesgo potencial para la salud humana que representa la exposición a bioaerosoles, resulta escasamente conocido el papel que juegan los agentes biológicos en el desarrollo de síntomas y enfermedades. Con excepción de los agentes patógenos específicos y unos pocos componentes individuales, tales como las endotoxinas bacterianas y alérgenos específicos, se encuentran vacíos científicos acerca de qué componentes son los principales responsables de los presuntos efectos a la salud. Las relaciones dosis-respuesta frecuentemente no han sido descritas y el conocimiento acerca de los valores umbral (con excepción de algunos agentes) no está disponible; este escaso conocimiento se debe principalmente a la carencia de métodos validados de evaluación cuantitativa a la exposición (Douwes et al., 2003).

En este capítulo se presenta un panorama general de los principales efectos producidos por diferentes grupos de bioaerosoles, con especial énfasis en los efectos asociados a la salud humana, identificando áreas relevantes para futuras investigaciones.

Efectos a la Salud

Las enfermedades asociadas con la exposición a bioaerosoles se pueden dividir en tres grandes grupos: enfermedades infecciosas, enfermedades respiratorias y cáncer. Las enfermedades infecciosas y respiratorias son más comunes; sin embargo, no se dispone de datos de prevalencia válidos en la mayoría de casos donde se presenta incidencia de enfermedades causadas por agentes biológicos (Douwes et al., 2003).

La inhalación, ingestión y contacto con la piel constituyen las rutas humanas de exposición a bioaerosoles, siendo la inhalación el principal medio que resulta en efectos adversos a la salud (Stetzenbach, 2003), si se tiene en cuenta que un humano promedio inhala aproximadamente 10 m³ de aire por día (Lynch & Poole, 1979). Las partículas aerotransportables de gran tamaño son retenidas en el sistema respiratorio superior (nariz y nasofaringe) (Zeterberg, 1973), mientras que las partículas menores de 5 µm son removidas a través de los estornudos o la limpieza de la nariz; estas partículas depositadas en la faringe (2-5 µm) son removidas por acción mucociliar para luego ser ingeridas (Slote, 1976). Las partículas de 1 a 5 µm pueden ser transportadas a los pulmones, pero la mayor retención en los alveolos se debe a las partículas de 1 a 2 µm (Sattar & Ijaz, 1987; Salem & Gardner, 1994).

Enfermedades infecciosas

Las enfermedades infecciosas se derivan de virus, bacterias, hongos, protozoos y helmintos y suponen la transmisión de un agente infeccioso presente en un reservorio a un huésped susceptible a través del contacto directo, la transmisión aérea o la transmisión vectorial. Estas pueden ser atribuibles a: (i) la exposición a ocupaciones específicas, por ejemplo en el caso de los trabajadores que se desempeñan en el área de la salud (tuberculosis, gripe, sarampión), granjeros, trabajadores de mataderos, veterinarios (gripa avial, gripa porcina, fiebre Q, ántrax) y trabajadores forestales (tularemia); (ii) aglomeración de personal en los sitios de trabajo, como en el caso de oficinas, bases militares o de aviación (gripe, tuberculosis, etc.) (Driver et al., 1994; Van den Ende et al., 1998).

El descubrimiento de *L. pneumophila* como causante de la enfermedad del Legionario, infección reportada por primera vez en 1976 en Filadelfia, incrementó el interés por el estudio de afecciones originadas por bioaerosoles de alto perfil (Osterholm et al., 1983; Winn, 1988; Gold, 1992). *Legionellae* se caracteriza por ser una bacteria gram negativa que habita en ambientes acuáticos incluyendo sistemas artificiales (biopelículas, torres de enfriamiento, sistemas de aire acondicionado, etc.), que puede

causar neumonía desencadenando en la muerte, principalmente en individuos susceptibles (p.e. ancianos o sujetos inmunocomprometidos). *Legionellae* frecuentemente puede llegar a ser aerotransportada como resultado de procesos de aerosolización activa (p.e. aireación de agua contaminada), reportando epidemias en torres de enfriamiento (Castellani Pastoris et al., 1997; Brown et al., 1999), baños de hospitales (Kool et al., 1999), empacadoras de carne (Osterholm et al., 1983), piscinas de hidromasajes y aspersores (Den Boer et al., 2002).

Finalmente, diversas enfermedades se pueden presentar de la inhalación de esporas de hongos en labores que requieran la manipulación de materia orgánica en descomposición, heces, compost o suelo; estas enfermedades incluyen la aspergilosis, histoplasmosis, blastomicosis, coccidioidomicosis y *Adiaspiromicosis* (MMWR, 1993, 1999; NIOSH, 1997).

Enfermedades respiratorias

Los síntomas respiratorios y el deterioro de la función pulmonar son probablemente los efectos a la salud relacionados con bioaerosoles, que han sido estudiados con mayor interés. Estos síntomas pueden ir desde enfermedades levemente agudas que suelen no afectar la vida diaria hasta enfermedades respiratorias crónicas severas que requieren atención médica especializada, y resultan de la inflamación de las vías respiratorias causada por la exposición a las toxinas específicas, agentes inflamatorios o alérgenos.

Dentro de este grupo de enfermedades se encuentra el asma de origen no alérgico, denominada por los especialistas “síndrome de asma” o “asma inducida”, provocada principalmente por factores ocupacionales y con alta prevalencia en los granjeros o personas dedicadas a actividades agropecuarias expuestas a bioaerosoles, particularmente endotoxinas (Douwes et al., 2003). Se ha demostrado que en algunos individuos dedicados a actividades asociadas con la cría de ganado porcino, se presenta disminución reversible en la función pulmonar (asma), además de disminución crónica acelerada de la función pulmonar (enfermedades pulmonares obstructivas crónicas) (Vogelzang et al., 1998).

La Tabla 4.1 resume las enfermedades respiratorias alérgicas y no alérgicas con potencial causa en agentes biológicos, así como los ambientes que pueden aumentar el riesgo por exposición.

Cáncer

El cáncer puede ser causado por una variedad de factores incluyendo los virus oncogénicos y otros agentes biológicos. A la fecha, se ha establecido claramente que los carcinógenos biológicos no-virales son las micotoxinas, estos se producen en industrias en las que se manejan materiales contaminados con mohos (Anónimo, 1998); tal vez la micotoxina carcinogénica más conocida es la aflatoxina de *Aspergillus flavus*, que es un carcinógeno humano relacionado con el cáncer de hígado (Hayes et al., 1984; Sorenson et al., 1984; Bray & Ryan, 1991).

La ruta de exposición más relevante a la aflatoxina es la ingestión, pero la exposición también puede producirse por inhalación en industrias tales como la de procesamiento del maní o de alimento para ganado, y en industrias en las que se produce exposición a polvo de grano (Sorenson et al., 1984; Autrup et al., 1993). Los trabajadores en la elaboración de alimento para ganado, tienen un riesgo mayor de cáncer de hígado, así como de cánceres del tracto biliar, glándulas salivales y mieloma múltiple (Olsen et al., 1988). Otros indican incremento de riesgos de leucemia en empleados de la industria cárnica (Bethwaite et al., 2001) y varios estudios han encontrado relación entre la exposición al polvo de madera y diversos tipos de cáncer específicos, en particular, el cáncer de senos paranasales en la fabricación de muebles, actividades de ebanistería, carpintería y otros trabajos realizados en aserraderos (Demers and Boffetta, 1998). Finalmente, los trabajadores de otras industrias procesadoras de material biológico, tales como industrias del caucho, textil, cuero y calzado, se encuentran en riesgo de desarrollar diversos tipos de cáncer. Sin embargo, actualmente se desconoce si estos riesgos se producen por exceso de exposición a agentes biológicos o por los diversos productos químicos utilizados en estas industrias (Douwes et al., 2003).

Tabla 4.1 Enfermedades respiratorias no infecciosas, agentes potenciales y ambientes que incrementan el riesgo

Enfermedades respiratorias		Agentes	Ambientes
No alérgicas	Asma no alérgica, rinitis no alérgica/irritación de la membrana mucosa, bronquitis crónica, obstrucción crónica de las vías respiratorias, síndrome tóxico del polvo orgánico	Hongos, bacterias, actinomicetos, endotoxinas, β (1,3)-glucanos, peptidoglicanos, micotoxinas y muchos otros componentes de plantas y de origen microbiano no identificados en la actualidad	Agricultura e industrias relacionadas, tratamiento o manipulación de aguas residuales/estiércol, industrias de alimentos, procesamiento de fibra animal o vegetal, industria de la madera, producción de papel, industria de la fermentación, mataderos, industrias del mecanizado de metales, recolección y compostaje de basura, edificios con sistemas de ventilación/humidificación contaminados
Alérgicas	Asma alérgica, rinitis alérgica, neumonitis por hipersensibilidad, alveolitis alérgica, pulmón del granjero	Hongos, enzimas microbianas, proteínas vegetales (soya, trigo, polen, látex, etc.), proteínas de mamíferos (rata, vaca, etc.), proteínas de invertebrados (mariposas, saltamontes, arañas, etc.)	Instalaciones de compostaje, agricultura e industrias afines, industria de la biotecnología y productores de enzimas, industrias de alimentos, industria de detergentes, industria de panadería, sector médico y de salud pública (látex), clínicas veterinarias, tiendas de mascotas, laboratorios experimentales de animales, industria biopesticida (invertebrados)

Fuente: Douwes et al., 2003

Exposiciones Específicas

Los diversos grupos de organismos que pueden formar parte de la composición de bioaerosoles generan efectos a la salud que han sido ampliamente documentados en diversas investigaciones. Algunos de los principales agentes microbianos presentes en los aerosoles han sido asociados por Stetzenbach, (2003) con efectos adversos a la salud humana tal como se presenta en la Tabla 4.2.

A continuación se documenta más ampliamente los efectos adversos a la salud generados por cada uno de los agentes microbianos mencionados anteriormente.

Bacterias

Las bacterias termofílicas se han identificado como fuentes de alérgenos que intervienen en el desarrollo de neumonitis por hipersensibilidad. El heno contaminado con estas bacterias, por ejemplo *Saccharopolyspora rectivirgula* o *Thermoactinomyces vulgaris*, constituyen la fuente de los alérgenos que causan el pulmón de granjero (Pepys et al., 1990; Reboux et al., 2001).

La mayoría de las bacterias o agentes bacterianos no son alérgenos muy potentes, con la excepción de las esporas de actinomicetos. Los componentes de la pared celular de las bacterias, denominadas endotoxinas (presente sólo en bacterias Gram-negativas) y peptidoglicanos (más frecuente en las bacterias Gram-positivas), son agentes con importantes propiedades inflamatorias que pueden inducir síntomas respiratorios. Los efectos de peptidoglicanos se supone que son similares a los observados con exposición a endotoxinas (Douwes et al., 2003).

Tabla 4.2 Efectos adversos a la salud asociados a la exposición de bioaerosoles

Agente Microbiano	Efectos adversos a la salud humana
Algas	Reacciones alérgicas
Bacterias	Neumonitis por hipersensibilidad
	Infecciones, irritación de la membrana mucosa
Endotoxinas	Tos, Dolor de cabeza, fiebre, malestar, dolor muscular, náusea, angustia respiratoria
Hongos	Reacciones alérgicas, Asma, irritación cutánea, Neumonitis por hipersensibilidad, infecciones e irritación de la membrana mucosa
Micotoxinas	Dolor de cabeza, problemas musculares, desórdenes neurológicos, angustia respiratoria
Protozoos	Encefalitis, reacciones de hipersensibilidad, infecciones
Virus	Infecciones

Fuente: Stetzenbach, 2003

Sin embargo, resulta importante anotar el incremento de los registros de tuberculosis tanto en países industrializados como en desarrollo, que han renovado el interés en el género *Mycobacterium* y su transmisión en el aire. *M. tuberculosis* se propaga a través de los aerosoles de una persona infectada y se reconoce como una importante preocupación de salud pública debido a la baja dosis infecciosa (Kaufmann and van Embden, 1993).

La dispersión de aerosoles patógenos bacterianos como armas de destrucción en masa (p.e. *Bacillus anthracis*) también puede resultar en enfermedad y muerte en las poblaciones expuestas (Wiener, 2000); sin embargo, la importancia de las bacterias comúnmente aisladas suspendidas en el aire en oficinas, escuelas, residencias y ambientes *outdoor* no se ha determinado, esto se debe en parte al aislamiento de numerosos cocos y bacilos gram-positivos en la ausencia de efectos adversos para la salud.

Endotoxinas

Las endotoxinas son materiales biológicamente activos constituidos por un componente hipoalergénico de la pared celular de bacterias Gram-negativas formado por lipopolisacáridos y que tiene propiedades

inflamatorias. Se ha reconocido como un factor importante en la etiología de las enfermedades laborales pulmonares (no alérgicas), incluyendo asma (Douwes and Heederik, 1997) y síndrome tóxico del polvo orgánico.

Estudios realizados en individuos expuestos a la inhalación de endotoxina han reportado la manifestación de efectos clínicos como fiebre, escalofríos, síntomas de gripe (malestar), leucocitosis de sangre, inflamación de las vías neutrofílicas, síntomas de asma (tos seca, disnea y opresión en el pecho) y obstrucción bronquial, entre otros.

Las endotoxinas aerotransportables pueden ser la mayor causa de enfermedades en instalaciones agrícolas cerradas, tales como silos, graneros, fábricas de algodón, corrales para aves e instalaciones procesadoras de residuos, registrando aumento de náuseas y problemas gastrointestinales asociados con su exposición (Rylander & Vesterlund, 1982; Castellan et al, 1984; Ivens et al., 1999). Se resumen en la Tabla 4.3 los resultados de diversos estudios que han demostrado la asociación entre la exposición a endotoxinas y los efectos a la salud en ambientes de trabajo.

En particular, se ha reportado la relación entre la exposición a endotoxinas y la respuesta de los individuos, dentro de los que se pueden destacar los resultados de una investigación realizada en la industria de procesamiento de papa, que registra la obstrucción aguda de las vías respiratorias a niveles de exposición aproximados de 50 unidades de endotoxinas por m^3 ($5 \text{ ng}/m^3$) (Zock et al., 1998).

Tabla 4.3 Efectos a la salud producidos por endotoxinas bacterianas relacionados con ambientes laborales

Ambiente ocupacional	Efectos a la salud
Industria del algodón	Síntomas respiratorios crónicos y agudos incluyendo el asma
Actividades agropecuarias (principalmente de ganado porcino y aves de corral , además del manejo y almacenamiento de granos)	Disminución crónica y aguda de la función pulmonar
Industria del procesamiento de la papa	
Industria de alimentos para animales	
Industria de la fibra de vidrio	Inflamación de las vías respiratorias no alérgicas (neutrofílica)
Mataderos	Incremento de la hipersensibilidad bronquial
Industria del compost y residuos	Síndrome tóxico del polvo orgánico (síntomas agudos y de corta duración como la gripe con fiebre y afectación a las vías respiratorias)
Producción de fibra vegetal	Bronquitis crónica

Fuente: Douwes et al., 2003

β (1 \rightarrow 3)-glucanos

Polímeros de glucosa con peso molecular variable y alto grado de ramificación que se produce en la mayoría de los hongos, plantas superiores y plantas inferiores, además de algunas bacterias (Stone & Clarke, 1992). Los resultados de diversos estudios en los que los individuos fueron expuestos a β (1 \rightarrow 3)-glucanos aerotransportables, sugieren que estos agentes desempeñan un papel en respuestas inflamatorias inducidas por bioaerosoles resultando en síntomas respiratorios; se puede resaltar el estudio realizado a un pequeño grupo de trabajadores de sistemas de disposición de residuos sólidos, quienes inhalaban β (1 \rightarrow 3)-glucanos y presentaron respuesta inflamatoria en la mucosa nasal (Sigsgaard et al., 2000).

Un estudio reciente en los Países Bajos demostró una asociación entre la variabilidad del flujo espiratorio máximo y los niveles de β (1 \rightarrow 3)-glucano en el polvo de la casa de niños ($n = 159$) con síntomas respiratorios (Douwes *et al.*, 2000b). Sin embargo, efectos sobre la salud por la exposición de β (1 \rightarrow 3)-glucano en ambientes ocupacionales aún son objeto de estudio y los resultados obtenidos a la fecha presentan una evidencia muy débil, debido que no siempre se logra controlar la exposición a otros posibles agentes.

Hongos

Los hongos aerotransportables han sido fuentes de gran preocupación como resultado de su capacidad para causar infecciones respiratorias y provocar reacciones alérgicas; en la actualidad se ha demostrado que algunos hongos causan infecciones tanto a individuos saludables como a huéspedes inmunosuprimidos por procesos de trasplante de órganos, cáncer o terapia, o por la presencia de agentes que causan enfermedades que pueden aumentar la probabilidad de infección por hongos (Mishra *et al.*, 1992).

Los hongos pueden actuar como aeroalérgenos en ausencia de infección, dependiendo de la situación de exposición y la dosis, resultando en exacerbación del asma, rinitis alérgica y angustia respiratoria (Lacey & Crook, 1988; Miller *et al.*, 1988), así como potenciales causantes de infecciones en la piel y otros órganos del cuerpo. Igualmente los subproductos fúngicos referidos en los apartes anteriores como (1-3)- β -D-glucanos, micotoxinas y COV's han sido implicados en reacciones adversas a la salud y otras enfermedades (Husman, T. 1996; Burge and Ammann, 1999; Rylander, 1999).

Se encuentra disponible una importante cantidad de literatura sobre los hongos suspendidos en ambientes *outdoor* durante estudios realizados por Gregory (1973), Flannigan *et al.*, (1991), Lacey (1981, 1991) y Levetin (1995). Muchos de estos estudios han revelado que la generación de hongos toxigénicos se encuentra en productos agrícolas, granos de polvo y suelo, refiriéndose a *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* y *Trichothecium* (Tobin *et al.*, 1987).

Tabla 4.4 Enfermedades transmitidas por hongos *aerotransportables*

Hongo	Enfermedad	Órgano (s)/Tejido (s) afectados
Histoplasma capsulatum	Histoplasmosis	Pulmones, ojos, piel y huesos
Cryptococcus neoformans	Cryptococcosis	Pulmones, sistema nervioso central, meninges, piel y vísceras
Coccidioides immitis	Coccidioidomycosis	Pulmones, Diseminación multiórganos (piel, huesos, meninges, articulaciones)
Blastomyces dermatitidis	Blastomycosis	Pulmones, piel y membrana mucosa, huesos y articulaciones
Aspergillus spp. (especialmente A. fumigatus)	Aspergillosis	Pulmones, bronquios, cavidades de los senos nasales, canal auditivo, ojos (córnea)
Sporothrix schenckii	Sporotrichosis	Neumonitis granulomatosa (rara), piel, articulaciones, sistema nervioso central, ojos
Mucorales, Zygomycetes	Mucormycosis	Nariz, ojos, pulmones, senos nasales, cerebro y otros órganos, sistema gastrointestinal

Fuentes: Kwon-Chung & Bennett, (1992); Pfaller & Fromtling, (1999); Yang & Johanning, (2003)

Penicillium y *Aspergillus* han sido identificados en niños como factores de riesgo para asma y atopia, respectivamente (Garrett et al., 1998). Los niños expuestos a hongos en lugares con alto contenido de humedad, están sometidos a alto riesgo manifestado con síntomas que afectan al sistema respiratorio inferior y superior, además de síntomas sistémicos como dolor de cabeza, fatiga, dolor de las articulaciones y fiebre (Rylander and Etzel, 1999).

En la Tabla 4.4 se relacionan los hongos más importantes y las infecciones producidas por su transmisión (micosis) a través del aire, incluyendo las enfermedades causadas y sus manifestaciones clínicas.

Enfermedades como aspergilosis broncopulmonar y sinusitis alérgica pueden ser el resultado combinado de una reacción inflamatoria alérgica y una respuesta a los efectos inmunotóxicos de metabolitos de los hongos (Kurup, 1999), siendo la inhalación, la ruta de exposición más relevante.

Tabla 4.5 Hongos responsables de enfermedades ocupacionales

Hongo	Fuentes	Enfermedades
<i>Aspergillus clavatus</i>	Malta mohosa	Pulmón de trabajador de la malta
<i>Aureobasidium pullulans</i>	Humo	Pulmón del tomador de sauna
<i>Alternaria spp.</i>	Madera	Pulmón de trabajador de la madera
<i>Botrytis cinérea</i>	Frutas mohosas	Pulmón del viticultor
<i>Cryptostroma corticale</i>	Madera	Pulmón del artista de la corteza de arce
<i>Farnai rectivirgula</i>	Paja	Pulmón del misterio de la patata
<i>Serpula lacrymans (Merilius)</i>	Edificio mohoso	Pulmón de la putrefacción seca
<i>Penicillium spp.</i>	Corcho	Suberosis, Enfermedad del carpintero
<i>Penicillium casei</i>	Queso	Pulmón de trabajador del queso
<i>Mucor stolonifer</i>	Paprika mohosa	Pulmón de trabajador de la paprika
<i>Trichosporon cutaneum</i>	Polvo casero	Neumonitis

Fuentes: von Essen et al., (1990); Yang & Johanning, (2003)

Dentro de las actividades antropogénicas que involucran procedimientos con exposición a diversos hongos patógenos en altos niveles de riesgo, se encuentra el compostaje de residuos orgánicos a gran escala. Concentraciones de *A. fumigatus*, *Penicillium spp.*, y *Paecilomyces spp.* en el rango de 2000 a 20000 UFC/m³ han sido halladas en una investigación piloto de un joven trabajador de la tecnología del compostaje, quien desarrolló alveolitis y fibrosis pulmonar (Johanning et al., 1995, 1999). A continuación se resumen en la Tabla 4.5 los principales hongos con sus fuentes potenciales y las enfermedades asociadas a su exposición.

Micotoxinas

Los efectos adversos a la salud pueden ser el resultado de exposición a micotoxinas producidas como producto secundario del metabolismo de algunos hongos; estas toxinas fúngicas son biomoléculas de bajo peso molecular que ingeridas, inhaladas o en contacto con la piel, son nocivas para animales y seres humanos e inclusive algunas (p. e., las aflatoxinas de *Aspergillus niger* y *Aspergillus parasiticus*) pueden ser potentes carcinógenos.

Desde el punto de vista de salud pública, los hongos toxigénicos de especial interés son las especies de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Stachybotrys chartarum*, *Paecilomyces* y *Trichoderma*; estos hongos son asociados con efectos adversos a la salud de humanos y animales resultando en daños a órganos y enfermedades (Tabla 4.6). Las micotoxinas de *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* se han identificado en la fracción respirable del polvo de maíz (Sorenson, 1990), el polvo de algodón (Salvaggio *et al.*, 1986) y polvo de cereales (Lacey *et al.*, 1994); sin embargo, aún no se conoce si estas sustancias contribuyen a los síntomas respiratorios frecuentes en las industrias del algodón y de los cereales.

Tabla 4.6 Hongos toxigénicos, metabolitos químicos y efectos a la salud

Hongo	Metabolito químico	Efectos a la salud
<i>Penicillium</i> (>200 especies) <i>Citrinin</i> <i>Ochratoxin A</i> <i>Citroviridin</i> <i>Emodin</i> <i>Gliotoxin</i> <i>Verruculogen</i> <i>Secalonic acid D</i>	Patulin	Hemorragia de pulmón, enfermedad cerebral
	Daño renal, vasodilatación, constricción bronquial, incremento del tono muscular	Daño renal, vasodilatación, constricción bronquial, incremento del tono muscular
	Nefrotóxico, hepatotóxico	Nefrotóxico, hepatotóxico
	Neurotóxico	Neurotóxico
	Reducción de la captación celular de oxígeno	Reducción de la captación celular de oxígeno
	Enfermedad pulmonar	Enfermedad pulmonar
	Neurotóxico: temblor en animales	Neurotóxico: temblor en animales
	Pulmón, Teratogénico en roedores	Pulmón, Teratogénico en roedores

Hongo	Metabolito químico	Efectos a la salud	
<i>Aspergillus</i> spp.	<i>A. calvatus</i>	Patulin	Hemorragia de pulmón, enfermedad cerebral
	<i>A. flavus</i> y <i>A. parasiticus</i>	Aflatoxin B1	Cáncer de hígado, cáncer respiratorio, desorden del citocroma P-450-monooxigenasa
	<i>A. versicolor</i>	Sterigmatocystin	Carcinógeno
	<i>A. ochraceus</i>	Ochratoxin A	Nefrotóxico, hepatotóxico
<i>Stachybotrys chartarum</i> <i>Fusarium</i> spp. <i>Trichoderma</i> spp.	Trichothecenes (más de 500 derivados conocidos): T-2, nivalenol, deoxynavalenol, diacetoxyscirpenol, satratoxin H y G, otros macrocyclic trichothecenes, spirolactone, zearalenone	Inmunosupresión y disfunción, citotóxico, necrosis dérmica, hemorragia, alta dosis de ingestión letal, teratogénico, abortogénico (en animales)	
<i>Claviceps</i> spp.	Alcaloides	Inhibidor de la prolactina, constricción vascular, constricción del útero	

Fuente: Yang & Johanning, 2003

En este sentido, se puede afirmar que se tiene escaso conocimiento relacionado con los riesgos ocupacionales de las micotoxinas en el aire y sus efectos en la salud, a pesar que se ha documentado la exposición a micotoxinas de trabajadores agrícolas y de trabajadores industriales (Lacey & Crook, 1988)

Virus

Existen diversas fuentes antropogénicas que producen contaminación en el aire por presencia de virus, p.e. las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, los sistemas de tratamiento y disposición de residuos sólidos y los cultivos agrícolas con plantas infectadas por virus patógenos. La inhalación de aire con tales partículas puede conducir a su retención en el tracto respiratorio generando enfermedades como en el caso de epidemias de gastroenteritis viral, que pueden ser ocasionadas

por la ingestión de partículas retenidas en el tracto respiratorio superior (Slote, 1976; Sawyer et al., 1988).

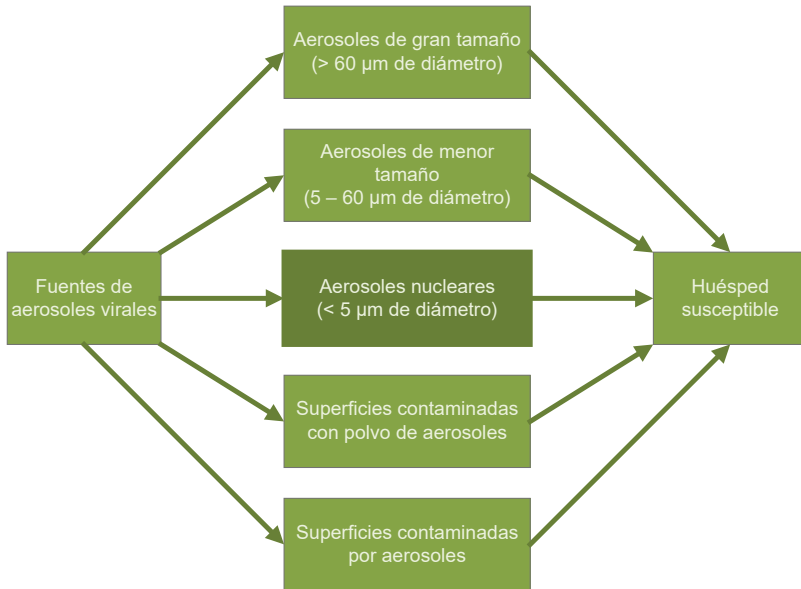


Figura 4.1 Exposición directa e indirecta de huéspedes susceptibles a virus aerosolizado
Fuente: Sattar & Ijaz, 2003

Las infecciones víricas producidas por inhalación y retención de aerosoles nucleares (diámetro menor a 5 μm), son consideradas como la verdadera diseminación de aerotransportables, documentada por una variedad de infecciones virales en humanos (Sattar and Ijaz, 1987; Eichhoff, 1994). Es así como en la Figura 4.1 se muestran los diversos tipos de aerosoles víricos a los que puede ser susceptible un huésped.

El tiempo de permanencia de un virus causante de infecciones en el aire depende de factores tales como la naturaleza del virus, el medio en el que es suspendido antes de llegar a ser aerotransportado, la temperatura ambiente, el contenido de humedad, los gases atmosféricos, la iluminación y la radiación (Sattar and Ijaz, 1987).

Aunque los virus no se reproducen fuera de una célula huésped, ellos son fácilmente transportados a través del aire y en el caso de numero-

Los virus humanos, éstos son transmitidos por aerosoles de una persona a otra en el ambiente *indoor* (Zeterberg, 1973), sobresaliendo dos importantes grupos:

Virus causantes de la gastroenteritis aguda

Los calicivirus, en especial el virus de Norwalk puede diseminarse utilizando el aire como mecanismo, al igual que los rotavirus, ambos grupos responsables de gastroenteritis aguda como lo demuestran múltiples investigaciones realizadas. La contaminación en el aire se debe principalmente a la aerosolización del virus ocurrida durante el vómito (Chadwick and McCann, 1994; Chadwick *et al.*, 1994).

Virus causantes de infecciones en el tracto respiratorio

El comportamiento de virus aerosolizados de influenza y parainfluenza en humanos se ha estudiado en algunos detalles (Sattar & Ijaz, 1987). La relativa importancia del aire y otros vehículos en la diseminación de resfriados de rinovirus continua siendo un debate desde el punto de vista científico y en estudios realizados, se demostró que el rinovirus aerotransportable tipo 14 que afecta a humanos tiene un tiempo de vida media cercano a 14 horas cuando éste es aerosolizado a 20°C y 80% de humedad relativa (Karim *et al.*, 1985); esto sugiere que la infección del rinovirus puede permanecer en el aire tanto como se lo permitan las condiciones de diseminación aérea.

Efectos en el Ambiente

Los bioaerosoles también pueden producir efectos en el ambiente que resultan en la propagación de enfermedades en las plantas, la pérdida de productividad agrícola y el deterioro de los materiales de construcción. Los agentes microbianos con los principales efectos asociados a su exposición se resumen en la Tabla 4.7, que se presenta a continuación:

Tabla 4.7 Efectos adversos al ambiente asociados a la exposición de bioaerosoles

Agente microbiano	Efectos adversos al ambiente
Algas	Problemas de olores ofensivos
Bacterias	Deterioro del material de las edificaciones
	Pérdida de la productividad agrícola (enfermedades de los cultivos y la ganadería)
Endotoxinas	No reportado
Hongos	Deterioro del material de las edificaciones
	Pérdida de la productividad agrícola (enfermedades de los cultivos y la ganadería)
	Problemas de olores ofensivos
Micotoxinas	Pérdida de la productividad agrícola (enfermedades de los cultivos y la ganadería)
Protozoos	Posible protección de tratamiento de biocidas a otros microorganismos, pérdida de la productividad agrícola (enfermedades de los cultivos y la ganadería)

Fuente: Stetzenbach, 2003

Se puede resaltar que el deterioro de los materiales de las edificaciones y los olores ofensivos son los efectos que más se encuentran asociados con contaminación microbiana de ambientes *indoor*. Siendo estudiada la presencia de microorganismos aerotransportables en residencias, oficinas, escuelas, instalaciones para el cuidado de la salud, estructuras cerradas para la actividad agrícola (p.e. graneros y áreas de almacenamiento de cultivos), instalaciones industriales y farmacéuticas, plantas de procesamiento de alimentos e instalaciones de reciclaje.

Conclusiones

Los efectos ambientales y de las enfermedades que afectan la salud humana resultado de los microorganismos aerotransportables han renovado el interés en una amplia variedad de microorganismos.

Se han realizado numerosos estudios de los diversos efectos producidos por la exposición de individuos a los diferentes tipos de bioaerosoles: bacterias, virus, hongos y sus productos metabólicos, identificando su concentración y relacionándolos con enfermedades infecciosas,

respiratorias y cáncer; sin embargo, se dispone de información limitada relacionada con datos de exposición/dosis-respuesta que permita establecer valores de umbral límite para bioaerosoles.

Las relaciones entre las concentraciones en ambientes *indoor* y *outdoor* también han sido objeto de estudio, utilizando los resultados como un indicador del alto grado de ocupación, mala ventilación o inadecuado mantenimiento de edificios o espacios en general. Además, se ha aceptado la importancia de las fuentes *indoor* de bioaerosoles cuando se notan altas relaciones en la relación *indoor/ outdoor*, recordando que los aerosoles *outdoor* son frecuentemente la fuente de contaminación en ambientes *indoor*, demostrando las necesidades de investigación en esta área.

Las actividades laborales asociadas a enfermedades ocupacionales que tienen su origen en la exposición a bioaerosoles, requieren de medidas preventivas que incluyen el uso de controles de higiene industrial, equipos de protección personal (p.e. protección respiratoria) y sistemas de ventilación adecuado.

Se han identificado ambientes laborales y espacios que favorecen la exposición a bioaerosoles, -tales como centros de salud, hospitales, hogares para adultos mayores y sitios especializados para el cuidado de la salud-, donde el riesgo por patógenos oportunistas se incrementa con la posibilidad de causar infecciones nosocomiales, lo que implica un estricto control de las infecciones mediante mantenimiento y descontaminación de las instalaciones utilizadas para realizar procedimientos de rutina, con la finalidad de controlar los microorganismos suspendidos en el aire.

Finalmente, aunque se cuenta con una variedad de estándares cuantitativos y guías obtenidas de datos proporcionados por estudios de línea base, se carece de normas sobre la contaminación microbiana o concentraciones de bioaerosoles, en ambientes *indoor* y *outdoor*, motivando a la comunidad científica a continuar con investigaciones que conduzcan al establecimiento de normas en este sentido.

Referencias

- Anónimo. (1998). Respiratory health hazards in agriculture. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 158, S1–76.
- Autrup J.L., Schmidt J., & Autrup H. (1993). Exposure to aflatoxin B1 in animal-feed production plant workers. *Environ Health Perspect*; 99, 195–7.
- Bethwaite P., McLean D., Kennedy J., & Pearce N., (2001). Adult-onset acute leukaemia and employment in the meat industry: a New Zealand case-control study. *Cancer Causes Control*; 12: 635–43.
- Bray G.A., Ryan D.H. (eds). 1991. *Mycotoxins, cancer, and health*. Baton Rouge, LA: Louisiana State University Press.
- Brown C.M., Nuorti P.J., Breiman R.F. et al. 1999. A community outbreak of Legionnaires' disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure. *Int. J. Epidemiol.*; 28: 353–9
- Burge H.A. and Ammann H.A. 1999. Fungal toxins and β -(1-3)-D-glucans, p. 24-1 a 24-13. In: Macher J., Ammann H.A., Burge H.A., Milton D.K. and Morey P.R. (ed)., *Bioaerosols: Assessment and Control*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio
- Castellan R.M., Olenchock S.A., Hankinson J.L., Millner P.D., Cocke J.B., Bragg C.K., Perkins H.H. and Jacobs R.R. 1984. Acute bronchoconstriction induced by cotton dust: dose-related responses to endotoxin and other dust factors. *Ann. Intern. Med.* 101:157-163
- Castellani Pastoris M., Ciceroni L., Lo Monaco R et al. 1997. Molecular epidemiology of an outbreak of Legionnaires' disease associated with a cooling tower in Genova-Sestri Ponente, Italy. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*; 16: 883–92.
- Chadwick P.R. and McCann R. 1994. Transmission of a small round structured virus by vomiting during a hospital outbreak of gastroenteritis. *J. Hosp. Infect.* 26:251-259
- Chadwick P.R., Walker M. and Rees A.E. 1994. Airborne transmission of a small round structure virus. *Lancet* 343:171
- Demers P.A. and Boffetta P. 1998 *Cancer risk from occupational exposure to wood dust*. IARC Technical Report no. 32. Lyon: IARC.
- Den Boer J.W., Yzerman E.P., Schellekens J. et al. 2002. A large outbreak of Legionnaires' disease at a flower show, the Netherlands. *Emerg Infect Dis*; 8: 37–43
- Douwes J., Heederik D. 1997 Epidemiologic investigations of endotoxins. *Int J Occup Environ Health*; 3(suppl): S26–31.
- Douwes J., Dubbeld H., van Zwielen L. et al. 2000a. Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relation with bio-aerosol exposure. *Am. J. Ind. Med.*; 37: 459–69.
- Douwes J., Zuidhof A., Doekes G. et al. 2000b. (1 → 3) β -D-glucan and endotoxin in house dust and peak flow variability in children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 162: 1348–54.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N., Heederik D. 2003. Bioaerosols health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann. Occup. Hyg.*; 47 (3): 187-200.

- Driver C.R., Valway S.E., Morgan W.M., Onorato I.M., Castro K.G. 1994. Transmission of Mycobacterium tuberculosis associated with air travel. *J. Am. Med. Assoc.*; 272: 1031-5.
- Eickhoff T.C. 1994. Airborne nosocomial infection: a contemporary perspective. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 15:663-672
- Flannigan B., Mc Cabe E.M. and McGarry F. 1991. Allergenic and toxigenic micro-organisms in houses. *J. Appl. Bacteriol.* 79: 61S-73S
- Garrett M.H., Rayment P.R., Hooper M.A., Abramson M.J. and Hooper B.M. 1998. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. *Clin. Exp. Allergy* 28: 459-467
- Gold D.R. 1992. Indoor air pollution. *Clin. Chest Med.* 13:215-229
- Gregory P.H. 1973. *The Microbiology of Atmosphere*, 2nd ed. Halstead Press, New York, N.Y.
- Hayes RB, Van Nieuwenhuize JP, Raatgever JW, Kate FJW. (1984) Aflatoxin exposures in the industrial setting: an epidemiological study of mortality. *Food Chem Toxicol*; 22: 39-43.
- Husman T. 1996. Health effects of indoor-air microorganism. *Scan. J. Work Environ. Health* 22:2-13
- Ivens U.I., Breum N.O., Ebbenhøj N., Nielson B.H., Poulsen O.M. and Wurtz H. 1999. Exposure-response relationship between gastrointestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. *Scand. J. Work Environ. Health* 25:238-245
- Johanning E. 1995. Health problems related to fungal exposure-primarily of *Stachybotrya atra*, p. 169-182. In Johanning E. and Yang C.S. (ed.), *Fungi and Bacteria in Indoor Air Environments: Health Effects, Detection and Remediation*. Eastern New York Occupational Health Program, Albany
- Johanning E. 1999. Overview of waste management in the United States and recent research activities about composting related occupational health risks. *Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der abfallentsorgung und-verwertung. Schr. Vereins Wasser Boden Lufthyg.* 104:127-140
- Karim Y.G., Ijaz M.K., Sattar S.A. and Johnson-Lussenburg C.M. 1985. Effect of relative humidity on the airborne survival of rhinovirus-14. *Can. J. Microbiol.* 31:1058-1061
- Kaufmann S.H.E. and van Embden J.D.A. 1993. Tuberculosis: a neglected disease strikes back. *Trends Microbiol.* 1:2-5
- Kool J.L., Bergmire-Sweet D., Butler J.C. et al. 1999. Hospital characteristics associated with colonization of water systems by *Legionella* and risk of nosocomial legionnaires' disease: a cohort study of 15 hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol*; 20: 798-805.
- Kwon-Chung, K.J., and Bennett J.E. 1992. *Medical Mycology*. Lea & Febiger, Philadelphia, Pa
- Kurup V.P. 1999. Allergens, diagnosis, and pathogenesis, p. 620-625. In Johanning E. (ed.), *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. Eastern New York Occupational and Environmental Health Center, Albany
- Lacey J. 1981. Aerobiology of conidial fungi, p. 373-416. In G.C. Cole and B. Kendrick (ed.), *Biology of Conidial Fungi*, vol. 1. Academic Press, Inc., New York, N.Y.

- Lacey J. 1991. Aerobiology and health, p. 157-185. In: D.L. Hawksworth (ed.), *Frontiers in Microbiology*. CAB International, Wallingford, Oxon, United Kingdom
- Lacey J. and Crook B. 1988. Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens. *Am. Occup. Hyg.* 32:515-533
- Lacey J., Auger P., Eduard W., Norn S., Rohrbach M.S., Thorne P.S. 1994. Tannins and mycotoxins. *Am. J. Ind. Med.*; 25: 141-4.
- Levetin E. 1995. Fungi, p. 87-120. In: H.A. Burge (ed.), *Bioaerosols*. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
- Lynch J.M., and Poole N.J. 1979. Aerial dispersal and the development of microbial communities, p. 140-170. In: J. M. Lynch and N. J. Poole (ed.), *Microbial Ecology: a Conceptual Approach*. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.
- Miller J.D., Lafamme A.M., Sobol Y., Lafontaine P. and Greenhalgh R. 1988. Fungi and fungal products in some Canadian houses. *Int. Biodeterior.* 24:103-120
- Mishra S.K., Ajello L., Ahearn D.G., Burge H.A., Kurup V.P., Pierson D.L., Price D.L., Samson R.S., Sandhu R.S., Shelton B., Simmons R.B. and Switzer K.F. 1992. Environmental mycology and its importance to public health. *J. Med. Vet. Mycol.* 30:287-305
- MMWR. 1993. Coccidioidomycosis—United States, 1991– 1992. *Morbidity and Mortality Weekly Report*; 42(2): 21–4.
- MMWR. 1999. Blastomycosis acquired occupationally during prairie dog relocation—Colorado, 1998. *Morbidity and Mortality Weekly Report*; 48(5): 98–100.
- NIOSH. 1997. Histoplasmosis: protecting workers at risk. DHHS (NIOSH) Publication no. 97–146. Cincinnati, OH: NIOSH.
- Olsen J.H., Dragsted L., Autrup H. 1988. Cancer risk and occupational exposure to aflatoxins in Denmark. *Br J Cancer*; 58: 392–6.
- Osterholm M.T., Chin T.D.Y., Osborne D.O., Dull H.B., Dean A.G., Fraser D.W., Hayes P.S. and Hall W.N. 1983. A 1957 outbreak of Legionnaires' disease associated with a meat packing plant. *Am. J. Epidemiol.* 117:60-67
- Pepys J., Jenkins P.A., Festenstein G.N., Gregory P.H., Lacey M.E., Skinner F.A. 1990. Farmer's lung: thermophilic actinomycetes as a source of "farmer's lung hay" antigen. 1963. *Allergy Proc*; 11: 101–2, discussion 97–9.
- Pfaller M.A., and Fromtling R.A. 1999. Mycology. p. 1159-1326. In P.R. Murray, E.J. Baron, M.A. Tenover, F.C. Pfaller, F.C. Tenover, and R.H. Tenover (ed.), *Manual of Clinical Microbiology*, 7th ed. ASM Press, Washington, D.C.
- Poulsen O.M., Breum N.O., Ebbenhøj N. et al. 1995. Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environ*; 168: 33–56.
- Reboux G., Piarroux R., Mauny F. et al. 2001. Role of molds in farmer's lung disease in Eastern France. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 163: 1534–9.

- Rylander R. 1999. Effects after mold exposure-which are causative agents?, p. 28-32. In E. Johanning (ed.), *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. Eastern New York Occupational and Environmental Health Center, Albany
- Rylander R. and Vesterlund J. 1982. Airborne endotoxins in various occupational environments. *Prog. Clin. Biol. Res.* 93:399-409
- Rylander R. and Etzel R. 1999. Introduction and summary: workshop on children's health and indoor mold exposure. *Environ. Health Perspect.* 107: 465-468
- Salem H. and Gardner D.E. 1994. Health aspects of bioaerosols, p. 304-330. In B. Lighthart and A.J. Mohr (ed.), *Atmospheric Microbial Aerosols, Theory and Applications*. Chapman & Hall, New York, N.Y.
- Salvaggio J.E., Neil C.E.O., Butcher B.T. 1986. Immunologic responses to inhaled cotton dust. *Environ Health Perspect*; 66: 17-23.
- Sattar S.A. and Ijaz M.K. 1987. Spread of viral infections by aerosols. *Crit. Rev. Environ. Control* 17:89-131
- Sattar S.A. and Ijaz M.K. 2003. Airborne viruses. In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 871-883.
- Sawyer L.A., Murphy J.J., Kaplan J.E., Pinsky P.F., Chacon D., Walmsley S., Schonberger L.B., Philips A., Forward K., Goldman C., Brunton J., Fralick R.A., Carter A.O., Gary W.G.J., Glass R.I. and Low D.E.. 1988. 25-to 30 nm virus particle associated with a hospital outbreak of acute gastroenteritis with evidence for airborne transmission. *Am. J. Epidemiol.* 127:1261-1271
- Sigsgaard T., Malmros P., Nersting L., Petersen C. 1994. Respiratory disorders and atopy in Danish refuse workers. *AmRespir Crit Care Med*; 149: 1407-12.
- Sigsgaard T., Bonefeld-Jørgensen E.C., Kjaergaard S.K., Mamas S., Pedersen O.F. 2000. Cytokine release from the nasal mucosa and whole blood after experimental exposures to organic dusts. *Eur Respir J*; 16: 140-5.
- Slote L. 1976. Viral aerosols: a potential occupationally related health in aerated wastewater treatment systems. *J. Environ. Health* 38: 310-314
- Sorenson W.G. 1990. Mycotoxins as potential occupational hazards. *Dev Ind Microbiol*; 31: 205-11.
- Sorenson W.G., Jones W., Simpson J., Davidson J.I. 1984. Aflatoxin in respirable airborne peanut dust. *J Toxicol Environ Health*; 14: 525-33.
- Stetzenbach L.D. Introduction to aerobiology. 2003. In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 801-813.
- Stone B.A., Clarke A.E. 1992. *Chemistry and biology of (1 → 3)β -glucans*. Bundoora, Victoria: La Trobe University Press.
- Thorn J. and Rylander R. 1998. Airways inflammation and glucan exposure among household waste collectors. *Am. J. In. Med.*; 33: 463-70.

- Tobin R.S., Baranowski E., Gilman A.P., Kuiper-Goodman T., Miller J.D. and Giddings M. 1987. Significance of fungi in indoor air: report of a working group. *Can. J. Public Health* 78:S1:S32
- Van den Ende J, Lynen L, Elsen P et al. 1998. A cluster of airport malaria in Belgium in 1995. *Acta Clin Belg*; 53: 259– 63.
- van Tongeren M., van Amelsfoort L., Heederik D. 1997. Exposure to organic dusts, endotoxins, and microorganisms in the municipal waste industry. *Int J Ind Med*; 33: 384–91.
- Vogelzang P.F., van der Gulden J.W., Folgering H. et al. 1998. Endotoxin exposure as a major determinant of lung function decline in pig farmers. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 157: 15– 8.
- Von Essen S., Robbins R.A., Thompson A.B. and Rennard S.I. 1990. Organic dust toxic syndrome: an acute febrile reaction to organic dust exposure distinct from hypersensitivity pneumonitis. *Clin. Toxicol.* 28:389-420.
- Walinder R., Norback D., Wessen B., Venge P. 2001. Nasal lavage biomarkers: effects of water damage and microbial growth in an office building. *Arch Environ Health*; 56: 30–6.
- Wiener S.L. 2000. Biological warfare defense, p. 119-146. In R.A. Zilinskas (ed.), *Biological Warfare-Modern Offense and Defense*. Lynne Rienner Publishers, Boulder, Colo.
- Winn W.C., Jr. 1988. Legionnaires disease: historical perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 1:60-81
- Wouters I.M., Hilhorst S.K.M., Kleppe P. et al. 2002. Upper airway inflammation and respiratory symptoms in domestic waste collectors. *Occup Environ Med*; 59: 106–12.
- Yang C.S. and Johanning E. 2003. Airborne Fungi and Mycotoxins. In: Hurst C.J. *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press. p. 839-852.
- Zeterberg J.M. 1973. A review of respiratory virology and the spread of virulent and possibly antigenic viruses via air conditioning systems. *Ann. Allergy* 31:228-234
- Zock J.P., Hollander A., Heederik D., Douwes J. 1998. Acute lung function changes and low endotoxin exposures in the potato processing industry. *Am. J. Ind. Med.*; 33: 384–91.



Capítulo 5

Yiniva Camargo Caicedo
Andrés M. Vélez Pereira

Aerosoles Biológicos en Sistemas de Disposición Final de Residuos Sólidos: Estudio de Caso

Introducción

Recientes estudios sobre contaminación del aire y salud en América Latina y el Caribe establecen una asociación entre morbilidad y mortalidad con el deterioro de la calidad del aire en los principales centros urbanos, convirtiéndose esta situación en motivo de preocupación desde el punto de vista de salud pública. Dentro de las actividades antropogénicas generadoras de emisiones atmosféricas, se puede citar la gestión inte-

gral de residuos sólidos que se encuentra asociada al riesgo biológico como resultado de la exposición poco controlada a diferentes clases de microorganismos, que son responsables de infecciones, alergias o toxicidad; es así, como se han reportado resultados de investigaciones que demuestran que los sistemas de manejo de residuos pueden contribuir a la dispersión de microorganismos, considerándose una fuente de riesgo para la salud de los trabajadores del lugar y los habitantes de la comunidad aledaña.

El Relleno Sanitario del Distrito de Santa Marta localizado en el sector denominado Palangana del cual recibe su nombre, cuenta con un área de 53 Ha; se encuentra ubicado aproximadamente a 1 Km del Barrio Fundadores -costado derecho de la carretera que conduce a Bahía Concha (Ingeambiente Ltda., 2004). Su proximidad a la Urbanización Altos de Bahía Concha y los Barrios Fundadores y Bastidas, crea una preocupación que centra su origen en el conocimiento que se tiene de los sistemas de disposición final de residuos sólidos y su relación con la generación de contaminantes atmosféricos diversos, como es el caso de las emisiones de aerosoles biológicos; estas emisiones determinadas por sus características físicas y las condiciones ambientales de la zona de estudio, están asociadas a enfermedades respiratorias y afecciones dermatológicas por la presencia de microorganismos patógenos.

En una primera etapa, se obtuvo el inventario de microorganismos presentes en los aerosoles biológicos, y luego en una segunda etapa a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio, referidos a la identificación y conteo de hongos y bacterias, se representaron las seis campañas de monitoreo en cada jornada y para cada etapa del impactador, con la distribución espacio-temporal de los microorganismos encontrados en el área de estudio aproximando el comportamiento de los aerosoles biológicos emitidos del Relleno Sanitario Palangana del Distrito de Santa Marta.

Planteamiento del Problema

Identificación del Problema

De la Rosa et al, 2002 han afirmado que gran número de infecciones humanas y animales se transmiten por el aire y causan enfermedad, principalmente, en el aparato respiratorio. También consideran que las enfermedades respiratorias tienen una gran importancia socio económica ya que se transmiten fácilmente a través de las actividades normales del hombre, constituyen las más frecuentes en la comunidad y el motivo más importante de absentismo laboral y escolar.

Sin embargo, el control de estas enfermedades es difícil porque los individuos que las padecen suelen seguir realizando sus actividades cotidianas y además, en algunas de ellas, no se dispone de agentes terapéuticos ni vacunas eficaces, de acuerdo con lo expuesto por De la Rosa et al., 2002. Es así como la presencia de bacterias en el aire es el resultado de actividades antropogénicas generadoras de aerosoles biológicos, que se constituyen en vehículos transmisores de patógenos de humanos y de animales en el aire; sobresalen actividades como el tráfico vehicular, las plantas de tratamiento de aguas residuales, los centros de manejo de residuos sólidos, el movimiento de animales en suelos expuestos, las prácticas agrícolas y la manipulación de compost, entre otros, que liberan una gran cantidad de bacterias a la atmósfera, produciendo la contaminación de las áreas circundantes (Hughes, 2003; Laine, et al., 1999; Rosas, et al., 1996; Stenzenbach, 2002).

Dentro de las numerosas actividades antropogénicas que consideran el origen de aerosoles biológicos en los ambientes exteriores, se han reportado en diversas investigaciones la presencia de bacterias y virus producto del tratamiento de aguas residuales (Fannin et la., 1985; Lundholm, 1982; Randall & Ledbetter, 1966) y operaciones en rellenos sanitarios donde se registra la presencia de Actinomicetos, Bacterias como Coliformes Totales y Streptococcus Fecal y Hongos Termofílicos y Mesofílicos (Rahkonen et al., 1987).

En el año 2004 se construyó e inició su operación en el Distrito de Santa Marta, el Relleno Sanitario Palangana con el inconveniente de encontrarse localizado próximo a Bahía Concha-Parque Natural Tayrona y a zonas urbanizadas de la ciudad, constituyendo desde entonces un motivo de preocupación, por el conocimiento que se tiene sobre la relación entre la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios y la dispersión de microorganismos, que de acuerdo con Clark et al, 1984; Malmros et al, 1992; Sigsgaard et al, 1990 y Huang et al, 2002 en su etapa de desarrollo pueden ser dispersados como aerosoles biológicos y causar infecciones, reacciones alérgicas, asma, neumonía, rinitis, sinusitis e incluso intoxicaciones, estableciendo un riesgo potencial para la salud tanto de los operarios de la planta como de los residentes en zonas próximas.

Esta situación además de generar un posible problema de salud que afecta a la comunidad que reside en las proximidades de rellenos sanitarios, potencialmente expuesta a la emisión de aerosoles biológicos, favorece las condiciones para que los habitantes de esta comunidad pueden transformarse en vectores creando nuevos focos epidemiológicos en lugares donde los impactos son muy bajos, convirtiéndose en un serio problema de salud pública (Driver, et al., 1994; Van den Ende, et al., 1998; Lewis *et al.*, 2002; Sánchez & Stentiford, 2003).

A nivel mundial, se considera que la generación de residuos sólidos municipales en los centros poblacionales constituye uno de los focos de contaminación del aire, suelo y agua, más preocupantes por su acelerado aumento, como resultado del crecimiento de la zona urbana (Rodríguez et al., 2005). Un porcentaje importante de los residuos sólidos municipales se considera putrescible y por lo tanto, de fácil colonización para las bacterias y hongos; es así como Beffa et al., 1998 ha identificado tres fuentes de contaminación originada por residuos sólidos municipales: Patógenos primarios de origen intestinal (bacterias, virus, huevos y quistes de parásitos, etc.); Formas patogénicas y alergénicas secundarias y oportunistas, principalmente hongos desarrollados durante el proceso de almacenamiento y bacterias y hongos alérgenos, así como toxinas.

Los efectos ambientales y la afectación en la salud humana originados por estos aerosoles constituyen otro aspecto que ha reanudado el interés en una amplia variedad de microorganismos. El principal efecto en humanos (desde el punto de vista económico y por el número de personas afectadas) atribuido a los aerosoles de ambientes exteriores, lo constituyen los problemas de hipersensibilidad, en particular la rinitis alérgica, el asma, así como algunas infecciones. Igualmente, los hongos aerotransportables han sido el foco de mucha preocupación debido a su habilidad para causar graves infecciones respiratorias y reacciones alérgicas; generalmente, la exposición a hongos puede originar efectos adversos a la salud en la ausencia de infección, por actuar como aeroalérgenos, resultando en exacerbación de asma, rinitis alérgica y afección respiratoria (Banaszak, 1974; Gravesen, 1979; Lacey & Crook, 1988).

Diversos estudios epidemiológicos como los de Schwartz et al., 1993; Borja-Aburto et al., 1997 y Samet et al., 2000 han demostrado que el incremento de aeropartículas menores a $10\mu\text{m}$, consideradas como partículas inhalables, afecta la salud de niños y adultos. Esta situación se ve reflejada en un aumento en las ausencias escolares por infecciones respiratorias como la bronquitis, la exacerbación asmática, etc., un incremento de las visitas a hospitales e incluso un aumento de la tasa de mortalidad. Las evidencias epidemiológicas antes mencionadas sólo comprometen el tamaño y la concentración de las partículas; sin embargo, la composición de las mismas tiene un papel muy importante en el tipo de respuesta desarrollada. Alfaro-Moreno et al. 2002 demuestran que las partículas ambientales de origen industrial con concentraciones elevadas de metales de transición, colectadas en la zona norte de la Ciudad de México, son capaces de inducir apoptosis y daño al ADN en macrófagos y fibroblastos. En cambio, partículas colectadas en la zona centro, un área donde se combina el tráfico vehicular y la contaminación biológica, son responsables de una respuesta inflamatoria más significativa (Rosas et al., 2004).

Justificación

Las estrategias de control, prevención y las investigaciones realizadas en temáticas asociadas con la Calidad del Aire, se han limitado a evaluar concentraciones de material particulado y gases como lo comprueban los estudios de Bogner et al., 1995 y Eklund et al., 1998, entre otros que se han orientado sólo a contaminantes químicos en el aire, cuando en su mayoría los responsables de las enfermedades e infecciones suelen ser los microorganismos.

Aparte de su patogenicidad, el impacto potencial de aerosoles biológicos sobre la salud ha sido ampliamente discutido desde el punto de vista alérgico y toxicológico (Fischer et al., 2000). Investigaciones realizadas han revelado que una exposición elevada a polvo contaminado con toxinas podría causar cáncer o micotoxinas del pulmón (Ghio & Roggli, 1995). Las micotoxinas pueden encontrarse en esporas de hongos vivas o en esporas muertas y/o en el polvo. Es claro que la disposición de residuos sólidos lleva asociado un riesgo biológico como consecuencia de la exposición poco controlada a diversos tipos de microorganismos, susceptibles a causar algún tipo de infección, alergia o toxicidad. En este sentido, resulta fundamental realizar estudios orientados a identificar los principales aerosoles biológicos emitidos desde rellenos sanitarios, su comportamiento aerodinámico y dispersión para ser utilizados como criterios en el diseño y planificación de nuevas instalaciones, dado que el estudio de estas partículas ha sido escasamente evaluado en Colombia, encontrándose como referente más recientes el publicado por García, 2002 sobre la Determinación del Material Viable emitido desde el Relleno Sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín, a partir de la relación de microorganismos patógenos presentes en el aire con la disposición de residuos sólidos y las posibles afectaciones a la salud.

A nivel nacional se cuenta como referencia la Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios, 2002 del Ministerio de Medio Ambiente, donde se sugiere que en el plan de monitoreo se lleve a cabo el seguimiento a las emisiones de aerosoles biológicos; sin embargo, por la carencia de obligatoriedad de la guía ambiental, las empresas prestadoras del servicio de disposición y tratamiento de residuos sólidos omiten el desarrollo de actividades de control relacionadas con la medición de partículas aerotransportables.

El presente estudio tuvo como objeto principal evaluar el comportamiento de los aerosoles biológicos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana del Distrito de Santa Marta (Colombia), y respondió a los siguientes objetivos metodológicos cuantificar el aporte de microorganismos patógenos específicos presentes en los aerosoles biológicos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana y determinar la distribución espacio-temporal de los microorganismos específicos presentes en estos aerosoles emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana.

Metodología

Área de estudio

Localización General

El área de estudio está conformada por el sitio de disposición final de residuos sólidos del Distrito de Santa Marta y su comunidad colindante (Barrios Altos de Bahía Concha, Fundadores y Bastidas), el cual se encuentra ubicado en Parque Distrital Bondigua, sobre la vía que conduce a Bahía Concha.

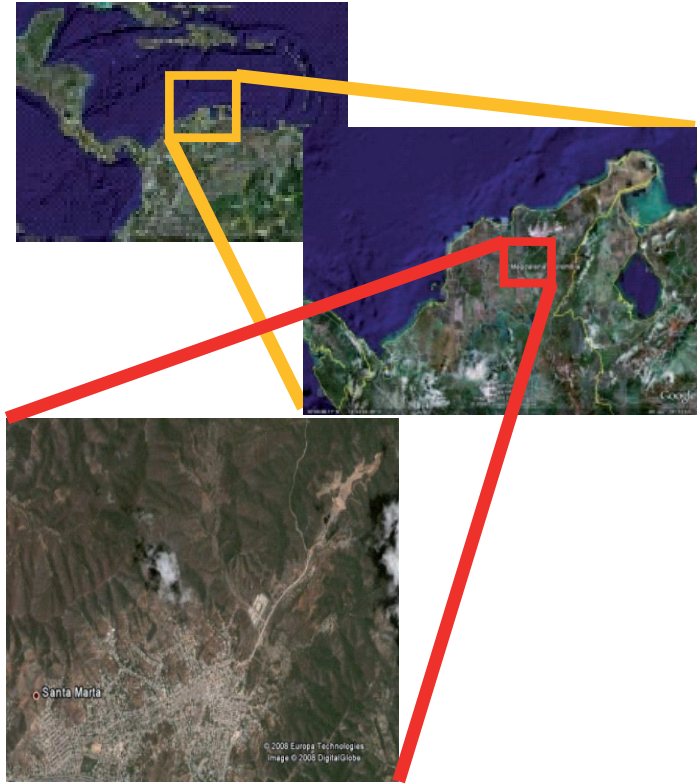


Figura 5.1 Ubicación de la zona de estudio (Fuente: Google Earth)

Muestreo en la zona de estudio

Estaciones de Muestreo

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se ubicaron seis estaciones de monitoreo, tres de ellas dentro del Relleno Sanitario de Palangana, y las tres restantes en el área de influencia directa de las emisiones del relleno.

Las estaciones se ubicaron en el área previamente determinada sobre un eje imaginario trazado en la dirección del viento, siendo las estaciones dentro del relleno distribuidas sobre el eje de acuerdo con las diferentes etapas del proceso de tratamiento de residuos sólidos, en las que posiblemente encontraremos fuentes generadoras de aerosoles, y de acuerdo con las características del área de influencia. De este modo las estaciones quedaron repartidas de la siguiente manera: una estación en la celda activa que se ubicaba a unos 5 metros del frente de trabajo o celda diaria de disposición, una en la celda pasiva que está determinada por una terraza con chimeneas activas, y una última entre las dos piscinas de lixiviado.

En cuanto a las comunidades, las estaciones fueron repartidas de tal forma que su ubicación fuese un punto central de la misma, siendo las comunidades más cercanas al sitio de disposición final Altos de Bahía Concha, Fundadores y Bastidas. Las condiciones de selección de estos puntos fueron:

1. Áreas despejadas: libres de cualquier interferencia física, vegetación y/o edificaciones.
2. Un punto central y representativo de la comunidad en estudio: dado que las comunidades se encuentran en su mayoría en las faldas de los cerros del área de amortiguamiento de la SNSM, y la distribución de las comunidades es a lo largo, permitiendo así tomar un eje central, representativo del área de estudio, sobre la dirección del viento.

Adicional a las estaciones de muestreo en el área de estudio se ubicó una séptima estación de control o blanco con la que se puede determinar la concentración de aerosoles biológicos en un área sin influencia por parte del Relleno Sanitario Palangana.

Las estaciones previamente definidas por estos criterios fueron sometidas a consideración a través del desarrollo de un pre-muestreo, que arrojó resultados favorables. Es de anotar que las estaciones se georreferenciaron utilizando un GPS Garmin MAP 60CSX (ver tabla 5.1).

Tabla 5.1 Coordenadas de las estaciones de muestreo

Estación	Coordenadas Planas						
	Y			X			
	Grado	Minutos	Segundos	Grado	Minutos	Segundos	
Celda Pasiva	11	15	35,11	74	9	15,7	
Piscina de Lixiviado	11	15	30,9	74	9	20,5	
Altos de Bahía Concha	11	15	11,8	74	9	44,1	
Fundadores	11	14	57,3	74	9	3,2	
Bastidas	11	14	54,2	74	9	14,8	
Celda Activa	Campaña 1	11	15	37,5	74	9	13,6
	Campaña 2	11	15	36,9	74	9	14,1
	Campaña 3	11	15	36,3	74	9	14,5
	Campaña 4	11	15	35,4	74	9	15,5
	Campaña 5	11	15	34,8	74	9	15,9
	Campaña 6	11	15	34,3	74	9	16,4

A continuación se detallan las condiciones de cada estación de muestreo así como la ubicación en un plano del área de estudio y sus respectivas coordenadas geográficas:

Celda Activa: Se encuentra ubicada aproximadamente a 5 metros del frente de trabajo en la dirección del viento. Dadas estas condiciones durante el desarrollo de la fase experimental, esta estación es la única que cambia su posición según el plan de trabajo del relleno sanitario.

Celda Pasiva: Ubicada en una terraza (en la parte superior de una celda de disposición clausurada) con chimeneas activas, específicamente sobre el nivel 4 del relleno sanitario.

Piscina de Lixiviado: Ubicada en medio de las dos piscinas de lixiviados del Relleno Sanitario Palangana.

Altos de Bahía Concha: Comunidad más próxima al relleno sanitario. Se encuentra ubicada a más o menos 0.5 kilómetros del eje central del

relleno; esta estación se encuentra ubicada en la cancha de la urbanización, la cual está en el centro de la comunidad.

Fundadores: Se encuentra ubicada sobre el eje de la vía y es la siguiente comunidad en el área de estudio.

Bastidas: Se encuentra ubicada a la entrada de la última comunidad de estudio.

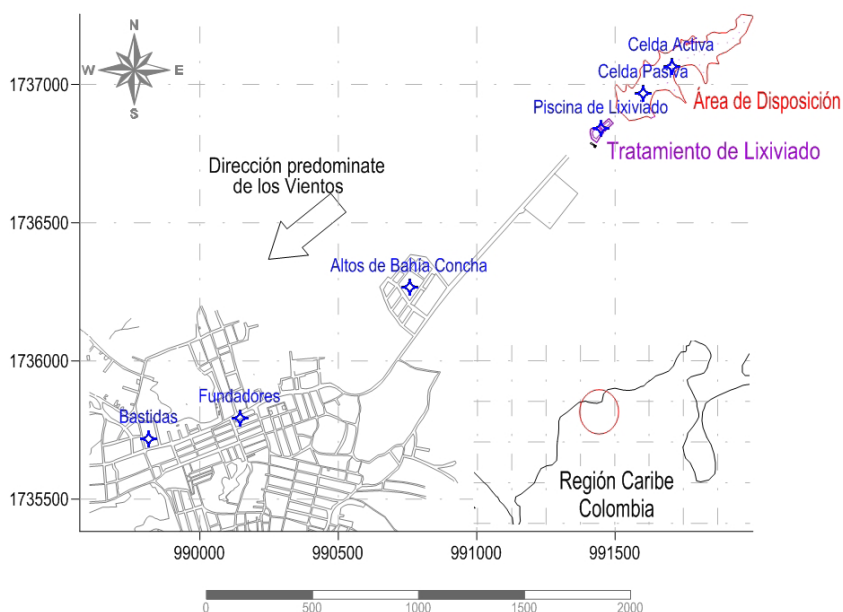


Figura 5.2 Ubicación de las Estaciones

Equipos

Para la toma de las muestras en campo se utilizó un impactador de cascada marca Tisch Environmental de dos etapas. Este equipo está diseñado para simular el aparato respiratorio humano y dispone de dos platos o etapas (etapa 1 y 6), que permiten coleccionar las partículas que son sedimentables en la etapa 1 y respirables en la etapa 6.



Figura 5.3 Impactador de Cascada Marca Tisch Environmental de 2 etapas



Figura 5.4 Etapas del impactador de Cascada

A. Platos que componen el impactador, B. Etapa 1., C. Etapa 6

Para simular la respiración humana en el equipo se utilizó un sistema de bombeo a través de una bomba de vacío, que fue operado a un caudal de 28.3 l/min verificados por un rotámetro acoplado al sistema.

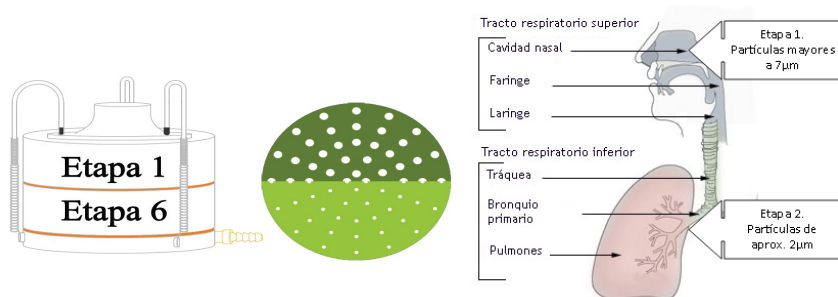


Figura 5.5 Distribución de los tamaños de las partículas según las etapas y su comparación con el sistema respiratorio humano (Adaptado de Padilla, 2004; fuente de la imagen: internet)

En el desarrollo de la toma de muestra se utilizó un GPS marca Garmin MAP 60CSX, una planta eléctrica Baueker como fuente de energía y un anemómetro Kestrel 4000 para la toma de la información meteorológica, en las condiciones de muestreo.

Toma de Muestra

La recolección de la muestra se realizó por espacio de tres minutos por ensayo a un caudal previamente establecido simulando la respiración humana, a una altura de 1,5 metros de modo que se capturarán las partículas a nivel respirable (García, 2002).

Las muestras fueron tomadas por replicado en cada uno de los medios de cultivos específicos para los diversos tipos de microorganismos en estudio. Los medios de cultivo utilizados para el desarrollo de esta investigación fueron el Agar Saboreaud con dextrosa al 2% (**SD**) para el recuento de hongos, Agar Standard Plate Count (**SPC**) para Heterótrofos mesófilos y Agar Baird Parker (**BP**) para Staphylococcus.

Cuantificación del material e identificación de organismos

Cuantificación del Material

Luego de la recolección de muestra se procedió a incubar las muestras a una temperatura de 28 °C (temperatura ambiente promedio de la zona de estudio); luego las muestras fueron selladas con cinta parafilm (compuesta con parafina), que permiten el paso de la humedad y el aire, pero disminuye en una gran porcentaje las posibilidades con contaminación por cepas en la incubadora.

En el caso de las bacterias como *Staphylococcus sp.* fueron incubadas por un periodo igual a 48 horas después del muestreo; luego de este periodo se realizó el recuento de las unidades formadoras de colonia presentes en las cajas petri, y posterior al recuento se realizó coloración diferencial de Gram a las diversas colonias obtenidas en el SPC.

De igual manera para el caso de las bacterias recolectadas en SPC se realizó un recuento detallado de las diferentes colonias impactadas, lo que permitirá establecer la morfología y Gram predominante. Las muestras recolectadas en SD fueron incubadas durante un periodo de 5 días. Luego de transcurrido este tiempo se realizó un recuento detallado a través del formato de recuento de hongos, anotando las características macroscópicas de las diferentes colonias; seguido al recuento y caracterización de las colonias recolectadas en el plato se procedió a la identificación microscópica de las cepas a través de coloración simple con azul de lactofenol, en el que se observaron las estructuras reproductivas y la morfología del micelio.

Para la identificación del género se utilizaron las claves taxonómicas de Barnett, 1960 (Illustrated genera of imperfect fungi), y para la identificación de las especies de *Aspergillus sp.* se utilizaron las claves taxonómicas Raper K. B. and D. J. Fennell, 1997.

Determinación de la Concentración

Determinación de la concentración por Ensayo

Para el establecimiento de la concentración se realizó la relación existente entre las unidades formadoras de colonias y el volumen de aire muestreado. El cálculo se efectuó por la siguiente expresión matemática:

$$\frac{UFC}{m^3} = \frac{\text{Unidades Formadoras de Colonias}}{\text{Volumen de Aire}} \quad \text{Ec. 6}$$

Determinación de la concentración por Etapa

Para la determinación de la concentración en cada una de las etapas, medio y cultivos se realizó un promedio aritmético de las muestra original (O) y réplica (R).

Determinación de la concentración por Jornada

Para la obtención de la concentración de aerosoles biológicos presente en cada uno de los medios y estaciones en las diversas jornadas de muestreo, se procede a sumar las concentraciones promedio calculadas en cada etapa, obtenidas según el cálculo presentado en el ítem anterior.

Determinación de la Concentración Promedio

Para el cálculo de la concentración promedio representativa del periodo de muestreo se realizó un promedio geométrico de las concentraciones obtenidas según el cálculo del ítem anterior, discriminado siempre la jornada y el tipo de microorganismos.

Resultados

Concentración de Aerosoles Biológicos

De la tabla 5.2 a la Tabla 5.4 se presentan los resultados de la concentración (UFC/m³) en las unidades de proceso del Relleno Sanitario Palangana y su área de influencia, durante las seis campañas de monitoreo, en las dos jornadas seleccionadas y los tres tipos de microorganismo en estudio.

El máximo promedio geométrico de aerobacterias se presentó en la jornada de la tarde en la Celda Pasiva (1086.60 UFC/m³), mientras que el mínimo se reportó en Altos de Bahía Concha (111.18 UFC/m³) en la misma jornada; para los hongos el máximo reportado se presentó en la jornada de la mañana en la estación ubicada en el Barrio de Bastidas (692.83 UFC/m³) y el mínimo valor se presentó en la jornada de la tarde en la Celda Activa (288.29 UFC/m³); en el caso de los *Staphylococcus* en la jornada de la mañana se presentó en máximo valor reportado en la Celda Activa (1091.61 UFC/m³), y en la jornada de la tarde se registró el mínimo valor en la estación Altos de Bahía Concha (7.42 UFC/m³).

En los resultados por jornada se encontró que para las aerobacterias en la jornada de mañana el mínimo fue en la Celda Activa (277.31 UFC/m³) y el máximo fue en la Estación Fundadores (1064.60 UFC/m³). Los

reportes de la jornada de la tarde arrojan que el valor más bajo fue obtenido en Altos de Bahía Concha (111.18 UFC/m^3), mientras que la máxima reportada fue en la Celda Pasiva (1086.60 UFC/m^3). En el caso de los hongos en la jornada de la mañana se presentó un mínimo en la Celda Activa (363.21 UFC/m^3), y un máximo en la estación Bastidas (692.83 UFC/m^3); en la jornada de la tarde se percibió como valor mínimo la Celda Activa (288.29 UFC/m^3), y como valor máximo la estación Bastidas (384.90 UFC/m^3). Los reportes para *Staphylococcus sp.* se presentaron en la jornada de la mañana con un mínimo en la Piscina de Lixiviados (254.40 UFC/m^3) y un máximo en la Celda Activa (1091.61 UFC/m^3); en la jornada de la tarde se reportó un mínimo en la estación Altos de Bahía Concha (7.42 UFC/m^3) y un máximo en la Celda Activa (797.35 UFC/m^3).

Para reportar los valores discriminados por campañas se presentaron en el caso de las Aerobacterias un valor mínimo en la campaña 4 en la jornada de la tarde en Altos de Bahía Concha (11.78 UFC/m^3) y un valor máximo en la campaña 3 en la misma jornada en la estación de Fundadores (4711.43 UFC/m^3); para los hongos el valor mínimo se presentó en la campaña 2 en la jornada de la tarde en la Celda Activa (58.89 UFC/m^3) y el valor máximo en la campaña 3 en la jornada de la mañana en la estación de Altos de Bahía Concha (1448.76 UFC/m^3); y por último en los *Staphylococcus* se reportó un valor de (0.00 UFC/m^3) en varias de las estaciones en las dos jornadas con predominancia en la campaña 3, y el valor máximo se reportó en la campaña 1 en la jornada de la tarde tanto en la Celda Activa como en la Celda Pasiva (7067.14 UFC/m^3).

Tabla 5.2 Concentración de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana

Microorganismo	Estación	Jornada	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6	Promedio Geométrico
Aerobacterias	Celda Activa	Mañana	1336,87	630,15	482,92	671,38	17,67	94,23	277,31
		Tarde	1295,64	3545,35	11,79	2285,04	312,13	NM**	521,65
	Celda Pasiva	Mañana	724,38	1048,29	94,23	1507,66	NM*	NM*	573,11
		Tarde	1525,32	412,25	1107,18	2002,36	NM*	NM*	1086,60
	Piscina de Lixiviados	Mañana	995,29	1702,00	329,80	553,59	2320,38	82,45	624,24
		Tarde	830,39	329,80	259,13	2555,95	630,15	NM**	648,05
	Altos de Bahía Concha	Mañana	730,27	206,12	82,45	3722,03	229,68	3274,44	571,22
		Tarde	435,81	176,68	70,67	11,78	265,02	NM**	111,18
	Fundadores	Mañana	1578,33	1354,53	459,36	2355,71	1113,07	565,37	1064,60
		Tarde	1478,21	853,95	4711,43	329,80	588,93	NM**	1029,26
	Bastidas	Mañana	1048,29	253,24	353,36	2956,42	1502,77	2508,83	1007,46
		Tarde	836,28	565,37	494,70	2285,04	1042,40	NM**	889,59
	Desviación Estándar		370,45	955,18	1295,93	1155,39	706,88	1486,23	-
	Promedio Aritmético		1067,92	923,14	704,75	1769,73	802,22	1305,06	-

NM No muestreado

* el punto de muestreo de la celda pasiva fue suprimido por el avance de la celda diaria o celda activa, quedando esta sobre la estación

** Jornada con precipitación

Tabla 5.3 Concentración de Aerosoles fungil emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana

Microorganismo	Estación	Jornada	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6	Promedio Geométrico
Hongos	Celda Activa	Mañana	288,57	100,12	530,04	553,59	359,25	753,83	363,21
		Tarde	229,68	58,89	494,70	765,61	388,69	NM**	288,29
	Celda Pasiva	Mañana	518,26	206,12	565,37	459,36	NM*	NM*	408,12
		Tarde	441,70	182,57	329,80	306,24	NM*	NM*	300,41
	Piscina de Lixiviados	Mañana	353,36	106,01	836,28	683,16	318,02	1342,76	457,24
		Tarde	253,24	106,01	306,24	518,26	700,82	NM**	312,62
	Albos de Bahía Concha	Mañana	347,47	206,12	1448,76	848,06	565,37	871,61	592,73
		Tarde	235,57	159,01	541,81	447,59	800,94	NM**	373,57
	Fundadores	Mañana	235,57	235,57	471,14	365,14	583,04	989,40	420,23
		Tarde	159,01	188,46	388,69	812,72	842,17	NM**	380,47
	Bastidas	Mañana	530,04	276,80	1071,85	1012,96	765,61	906,95	692,83
		Tarde	306,24	229,68	588,93	494,70	412,25	NM**	384,90
Desviación Estándar		118,24	65,99	334,19	216,51	196,78	223,42	-	
Promedio Aritmético		324,89	171,28	631,13	605,61	573,62	972,91	-	

NM No muestreado

* el punto de muestreo de la celda pasiva fue suprimido por el avance de la celda diaria o celda activa, quedando esta sobre la estación

** Jornada con precipitación

Tabla 5.4 Concentración de Aerosoles *Staphylococcus* emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana

Microorganismo	Estación	Jornada Campaña 1 Campaña 2 Campaña 3 Campaña 4 Campaña 5 Campaña 6						Promedio Geométrico	
		Mañana	Tarde	0,00	58,89	1749,12	730,27		
Staphylococcus	Celda Activa	Mañana	5689,05	3621,91	0,00	58,89	1749,12	730,27	1091,61
		Tarde	7067,14	1030,62	0,00	376,91	147,23	NM**	797,35
	Celda Pasiva	Mañana	5848,06	459,36	0,00	47,11	NM*	NM*	502,08
		Tarde	7067,14	123,67	0,00	223,79	NM*	NM*	580,48
	Piscina de Lixiviados	Mañana	6401,65	182,57	0,00	70,67	17,67	730,27	254,40
		Tarde	0,00	382,80	0,00	247,35	276,80	NM**	297,04
	Albos de Bahía Concha	Mañana	4640,75	636,04	0,00	3934,04	58,89	588,93	833,70
		Tarde	5,89	11,78	0,00	0,00	5,89	NM**	7,42
	Fundadores	Mañana	5206,12	176,68	0,00	1142,52	388,69	824,50	804,40
		Tarde	5,89	247,35	0,00	341,58	5,89	NM**	41,37
	Bastidas	Mañana	4817,43	1101,30	11,78	4840,99	541,81	671,38	692,25
		Tarde	35,34	2037,69	0,00	82,45	123,67	NM**	164,61
	Desviación Estándar		2967,79	1048,62	3,40	1647,00	529,37	86,71	-
	Promedio Aritmético		3898,70	834,31	0,98	947,19	331,57	709,07	-

NM No muestreado

* el punto de muestreo de la celda pasiva fue suprimido por el avance de la celda diana o celda activa, quedando esta sobre la estación

** Jornada con precipitación

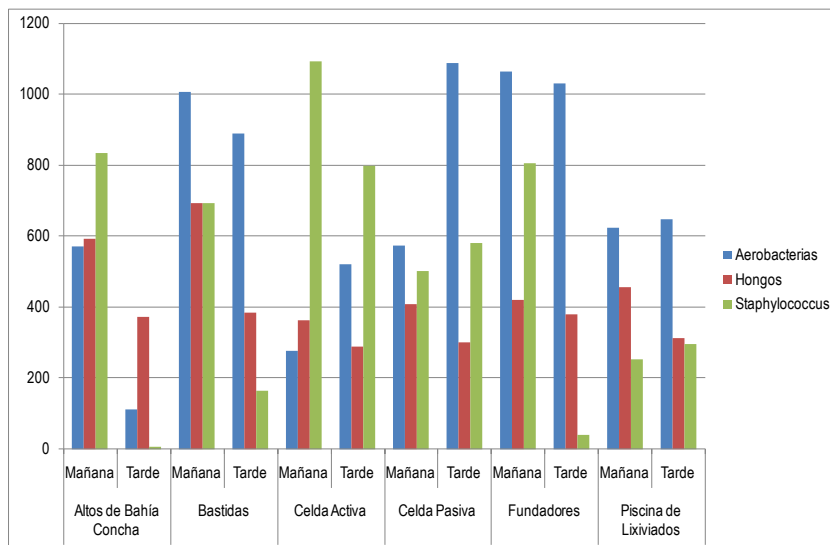


Figura 5.6 Promedio geométrico de la concentración de aerosoles biológicos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana

En el caso de los valores registrados por jornada en la totalidad de las campañas para la aerobacterias en la jornada de la mañana se presentó un valor mínimo en la campaña 5 en la Celda Activa (17.67 UFC/m^3) y un valor máximo en la campaña 4 en Altos de Bahía Concha (3722.03 UFC/m^3); en la jornada de la tarde se presentó un valor mínimo en la campaña 4 en la estación de Altos de Bahía Concha (11.78 UFC/m^3) y un valor máximo en la campaña 2 en la Celda Activa (3545.35 UFC/m^3). En los valores reportados para los hongos en la mañana se registró un valor mínimo en la campaña 2 en la Celda Activa (100.12 UFC/m^3) y un valor máximo en la campaña 6 en la Piscina de Lixiviados (1342.76 UFC/m^3); en la jornada de tarde un valor mínimo en la campaña 2 en la Celda Activa (58.89 UFC/m^3) y un máximo en la campaña 5 en la estación Fundadores (842.17 UFC/m^3). En cuanto a los *Staphylococcus sp.* en las dos jornadas se reportó un valor mínimo (0.00 UFC/m^3) en la mayoría de las estaciones en la campaña 3 y un máximo, reportado en la campaña 1 en la jornada de la mañana en la Piscina de Lixiviados (6401.65 UFC/m^3) y en la tarde el mismo valor tanto para la Celda Activa como en la Celda Pasiva (7067.14 UFC/m^3).

En la Figura 5.6 se observa que en la estación Altos de Bahía Concha en la jornada de la mañana, el mayor promedio geométrico lo presentó para *Staphylococcus sp.*, mientras que para la jornada de la tarde fue aerosoles fungi. Para las estaciones de Bastidas, Celda Pasiva y Fundadores, las aerobacterias presentaron los promedios más altos en ambas jornadas, mientras que en la Celda Activa el microorganismo con mayor promedio fue *Staphylococcus sp.* para las dos jornadas.

Toda esta información se puede contrastar con la reportada en la distribución porcentual por microorganismo en el apartado siguiente.

Distribución por Microorganismos

En la Figura 5.7 se observa una clara predominancia de las aerobacterias en la mayoría de las estaciones (Celda Pasiva – 52.12%, Bastidas – 40.18%, Fundadores – 52.59%, Piscina de Lixiviados – 45.12%), en cuanto a los demás tipos de microorganismos los aerosoles fungi fue el segundo más predominante en las estaciones de muestreo, siendo la estación de Altos de Bahía Concha la que presentó el mayor porcentaje (38.65%); por último el *Staphylococcus sp* presentó su mayor porcentaje en la Celda Activa con un 41.87%.

Distribución por tamaño

De la Figura 5.8 se puede inferir la alta presencia de aerosoles biológicos a nivel respirable, con un porcentaje general de 61.22% con respecto a los aerosoles biológicos sedimentables; siendo *Staphylococcus sp.*, en la jornada de la mañana de la campaña 6, el que presentó el mayor porcentaje de aerobacterias respirables con un 88.74%.

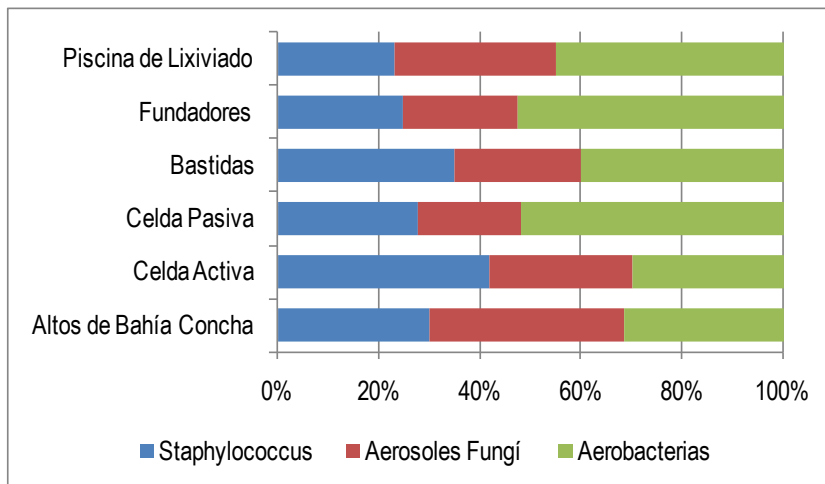


Figura 5.7 Distribución de Microorganismos por tipo o medio de Cultivo

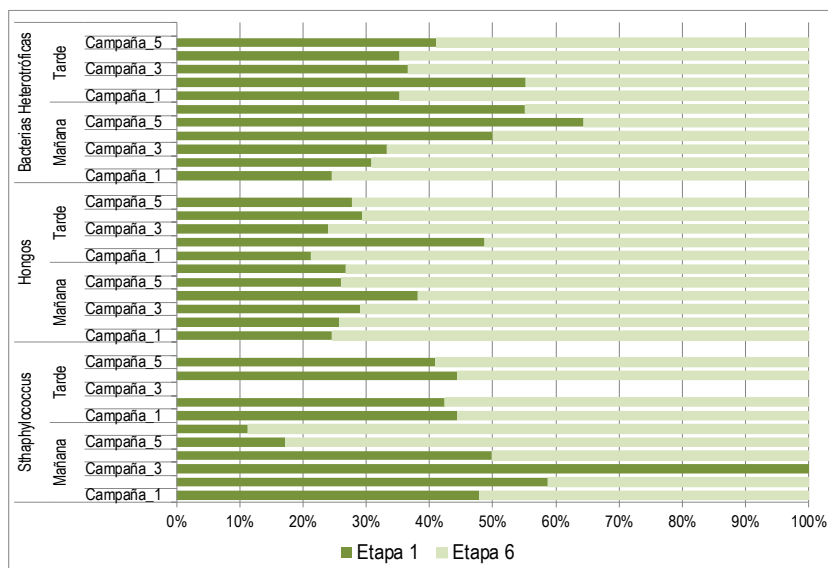


Figura 5.8 Distribución Porcentual del tamaño de la partícula por Jornada y Campaña

Géneros fungí asociados a los aerosoles biológicos

En la Tabla 5.5 se observa la concentración de géneros de hongos identificados y asociados a las diversas fuentes de emisión, es así como se puede inferir que el género *Aspergillus* sp. fue el género predominante (17714.959 UFC/m³ representando el 44.93%) siendo la especie de *Aspergillus* sp. más abundante el *Aspergillus terreus* (7526.502 UFC/m³ – 42.49%) y el *Aspergillus fumigatus* el menos predominante (1095.406 UFC/m³ – 6.18%); adicional a esto los géneros *Penicillium* sp. (9022.379 UFC/m³ – 22.88%) y *Geotrichum* sp. (7361.602 UFC/m³ – 18.67%) son los dos géneros más abundantes después del *Aspergillus* sp.;, en contraste los géneros de hongo menos frecuente en las diversas campañas de muestreo fueron *Oidium* sp. (11.78 UFC/m³ – 0.09%), el *Acremonium* sp. y el *Peyronellacea* sp. (23.56 UFC/m³ – 0.30%) y el *Choridium* sp. (35.34 UFC/m³ - 0.60%).

Tabla 5.5 Concentración (UFC/m³) de los Géneros de Hongos asociados a los aerosoles fungí en las diversas estaciones de monitoreo

Géneros*	Estación						Total
	Altos de Bahía Concha	Bastidas	Celda Activa	Celda Pasiva	Fundadores	Piscina de Lixiviado	
<i>Acremonium</i>	0,00	23,56	0,00	0,00	0,00	0,00	23,56
<i>Alternaria</i>	188,46	58,89	0,00	23,56	153,12	82,45	506,48
<i>Aspergillus</i>	2909,31	3439,34	3203,77	1849,23	3957,60	2355,71	17714,959
<i>Aspergillus Flavus</i>	353,36	318,02	671,38	647,82	541,81	376,91	2909,31
<i>Aspergillus fumigatus</i>	106,01	306,24	129,56	200,24	176,68	176,68	1095,406
<i>Aspergillus Niger</i>	1012,96	1024,73	1201,41	777,39	1401,65	765,61	6183,75
<i>Aspergillus Terreus</i>	1436,98	1790,34	1201,41	223,79	1837,46	1036,51	7526,502
<i>Blastomyces</i>	11,78	0,00	11,78	0,00	35,34	164,90	223,79
<i>Choridium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,34	35,34
<i>Curvularia</i>	365,14	412,25	306,24	23,56	176,68	117,79	1401,65
<i>Fusarium</i>	400,47	141,34	176,68	47,11	247,35	400,47	1413,43
<i>Geotrichum</i>	1908,13	1931,68	906,95	341,58	1248,53	1024,73	7361,602
<i>Gonatobotrys</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,89	58,89
<i>Hormicium</i>	376,91	188,46	0,00	0,00	0,00	0,00	565,37
<i>Mucor</i>	106,01	23,56	0,00	129,56	153,12	0,00	412,25
<i>Oidium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,78	11,78
<i>Penicillium</i>	1919,91	1813,90	1283,86	765,61	1378,09	1861,01	9022,379
<i>Peyronellacea</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,56	23,56
<i>Pullularia</i>	0,00	58,89	0,00	0,00	0,00	0,00	58,89
<i>Rhizopus</i>	11,78	141,34	0,00	0,00	0,00	212,01	365,14
<i>Sporobolomyces</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,34	35,34
<i>Streptomyces</i>	0,00	0,00	23,56	0,00	35,34	11,78	70,67
<i>Verticillium</i>	23,56	0,00	11,78	0,00	82,45	0,00	117,79

De la Figura 5.9 se puede observar la predominancia de género por campañas de muestreo. En la 1ª, 2ª y 4ª campaña los géneros más predominantes fueron el *Aspergillus sp.*, el *Geotrichum sp.* y el *Penicillium sp.* (54.16%, 15.78% y 7.25% para la 1ª); (49.40%, 22.75% y 15.27% para la 2ª) y (50.44%, 17.58% y 13.68% para la 4ª). Para la 3ª campaña encontramos que dentro de los géneros predominantes están el *Penicillium sp.* (41.99%), el *Geotrichum sp.* (28.10%) y el *Aspergillus sp.* (17.32%). De igual forma en la 5ª Campaña tenemos que el más abundante de los géneros fue el *Aspergillus sp.* (58.83%) seguidos por el *Penicillium sp.* y el *Geotrichum sp.* con un 22.26% y 11.08%, respectivamente. En cuanto a la 1ª campaña la distribución de los géneros parte desde el *Penicillium sp.* (32.52%), seguido del *Aspergillus sp.* (32.04%) y terminando con el *Geotrichum sp.* (23.79%).

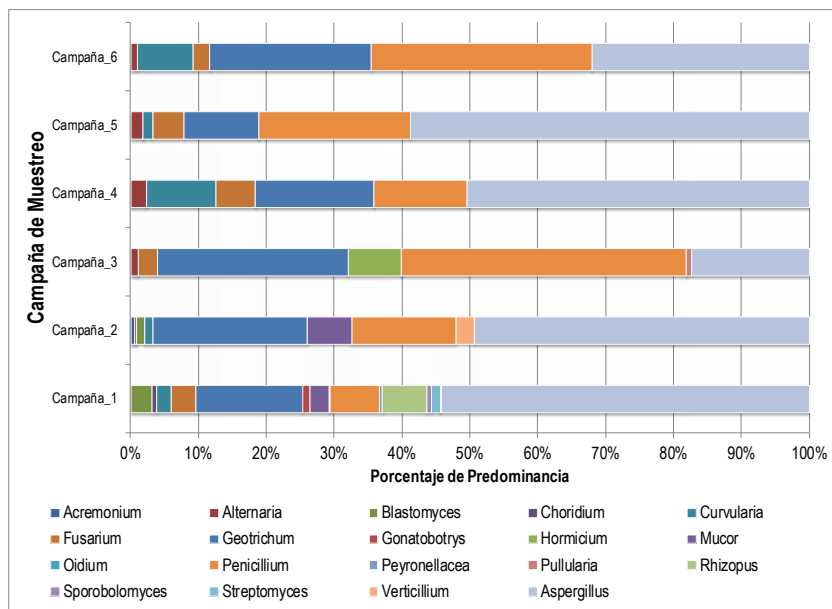


Figura 5.9 Distribución porcentual de los géneros de hongos asociados a las diversas campañas de muestreo

Distribución Espacio-Temporal

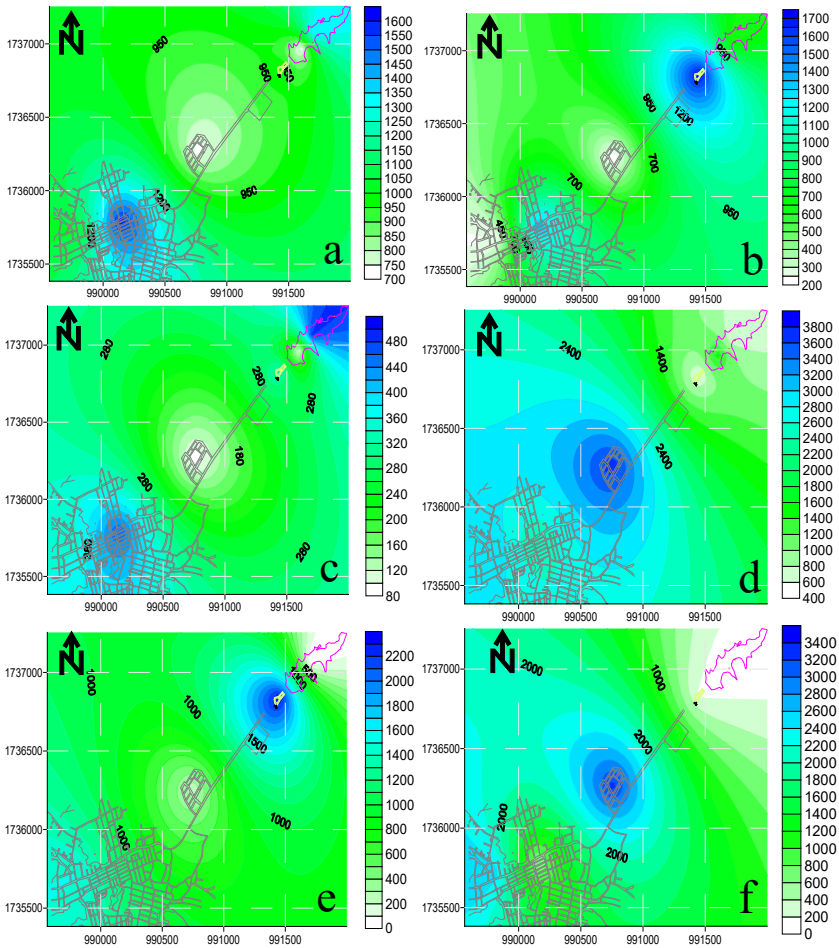


Figura 5.10 Distribución Espacio-Temporal de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5, **f.** Campaña 6.

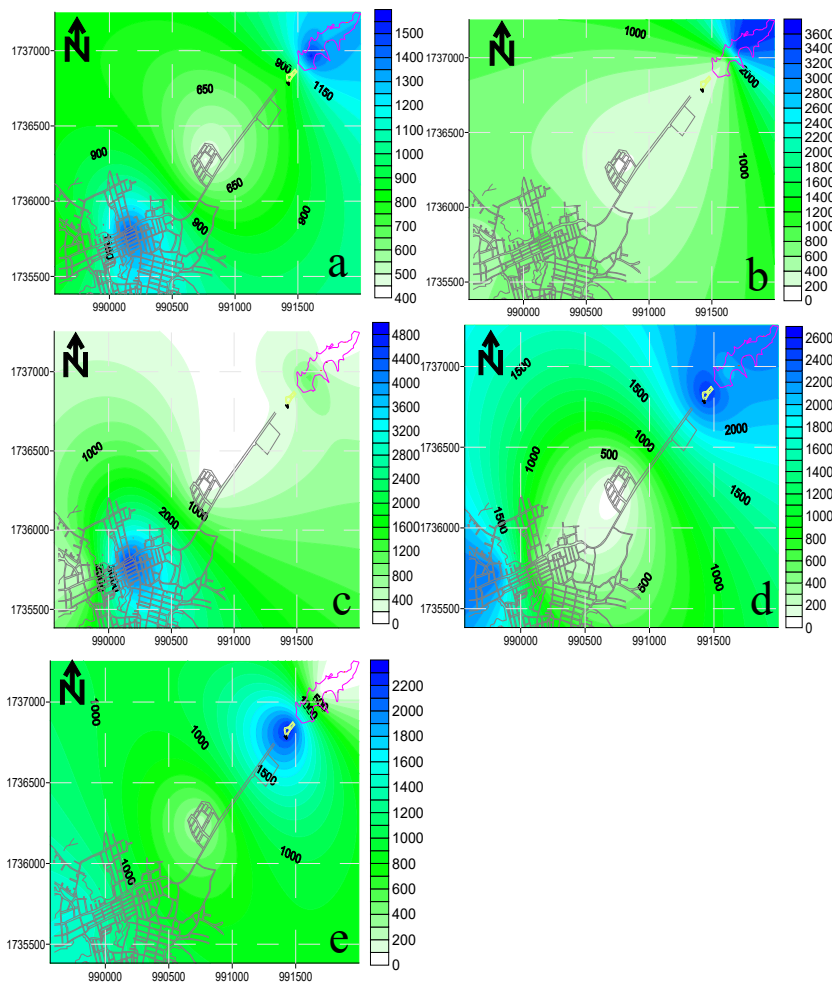


Figura 5.11 Distribución Espacio-Temporal de Aerobacterias emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5

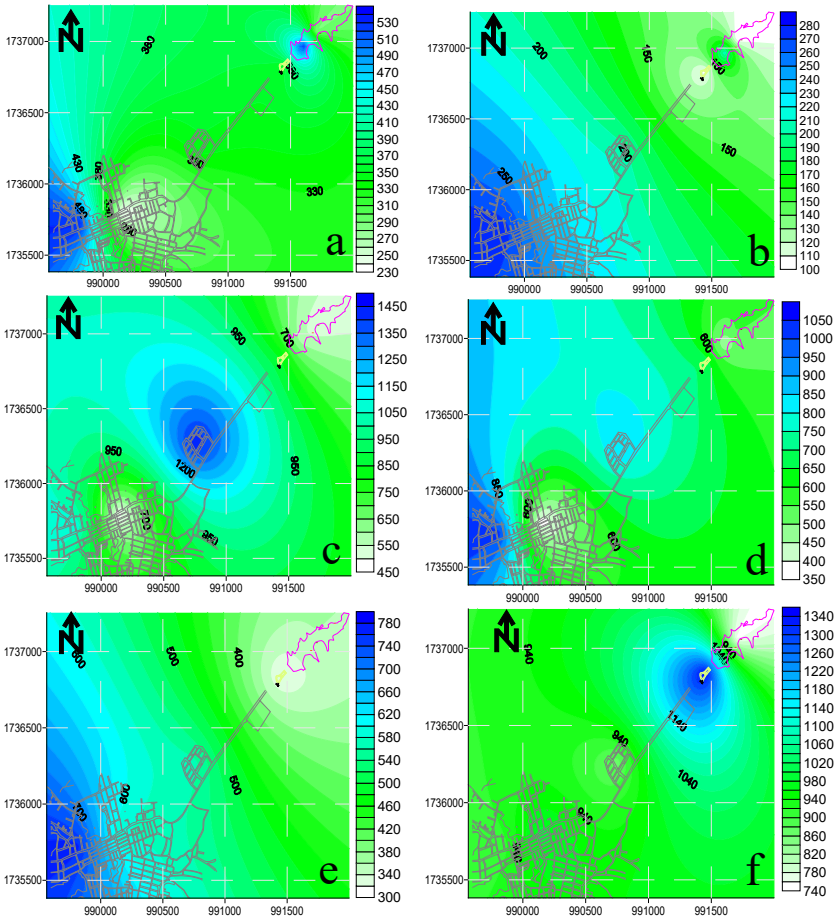


Figura 5.12 Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Fungí emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5, **f.** Campaña 6

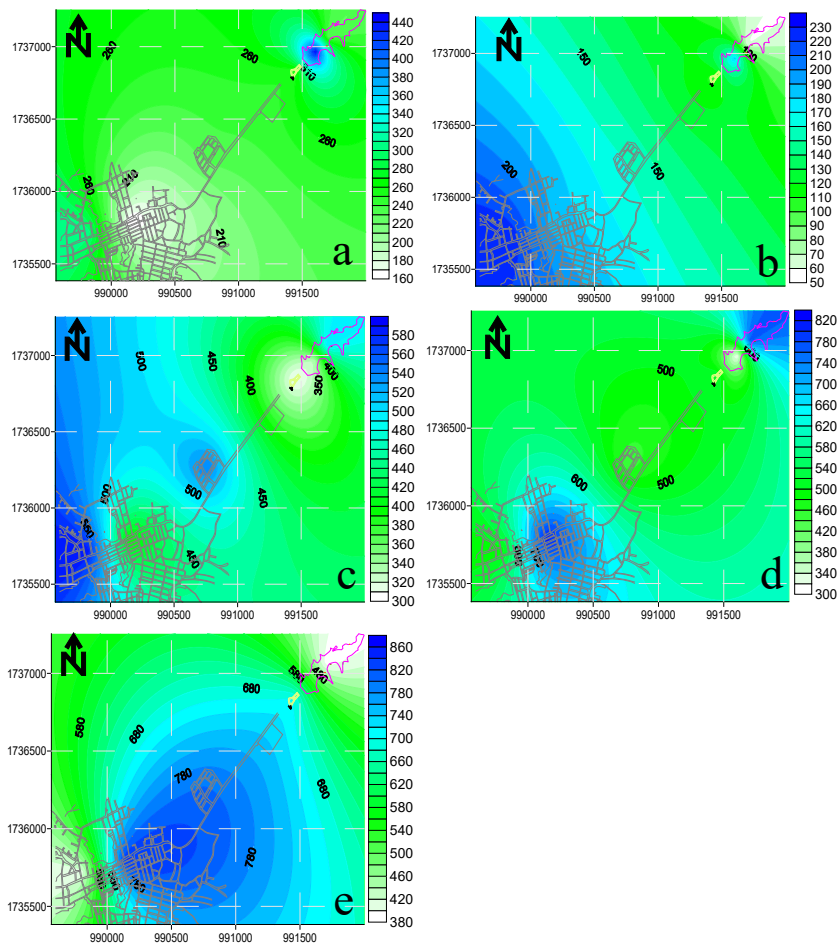


Figura 5.13 Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Fungí emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5, **f.** Campaña 6.

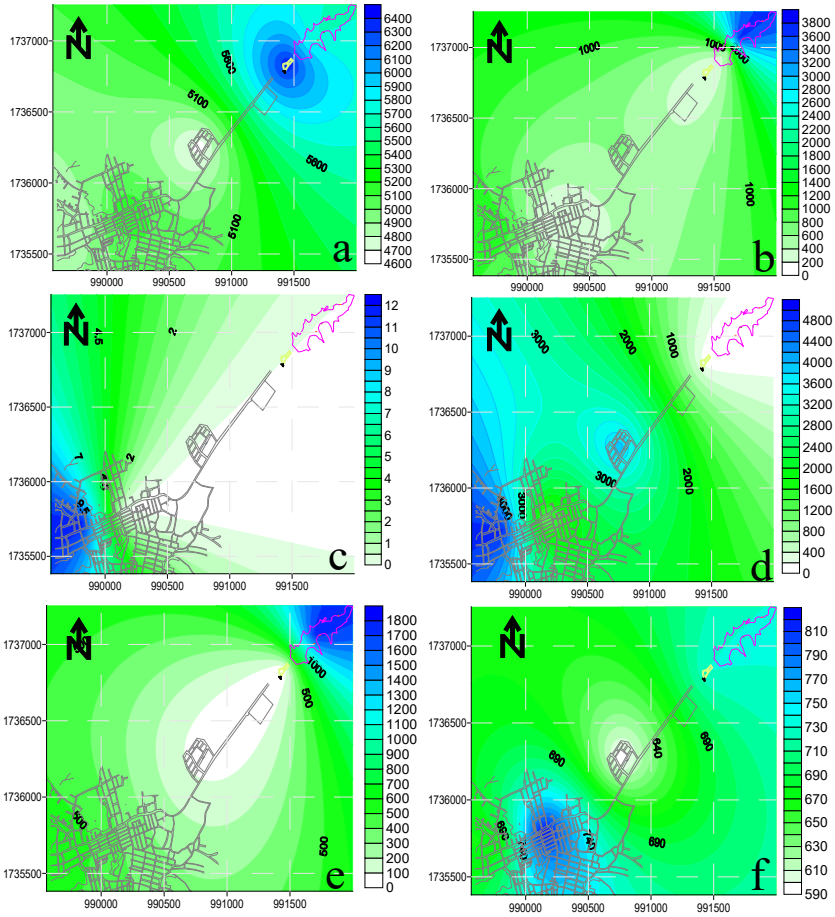


Figura 5.14 Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Staphylococcus emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Mañana
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5, **f.** Campaña 6.

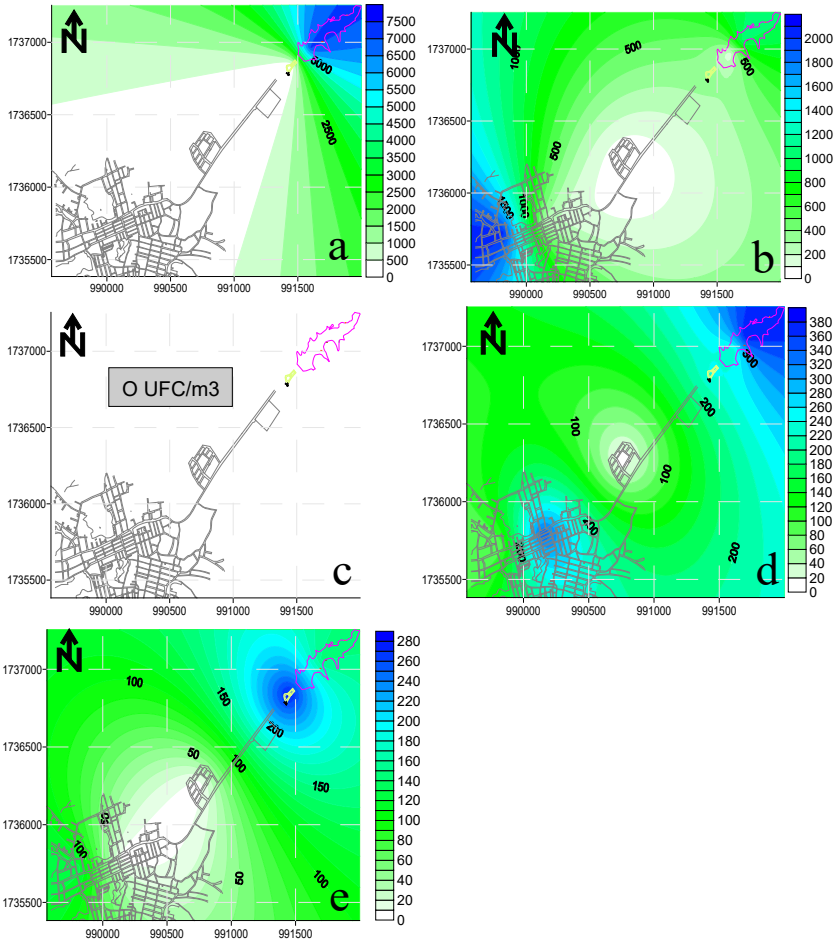


Figura 5.15 Distribución Espacio-Temporal de Aerosoles Staphylococcus emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana en la jornada de la Tarde
a. Campaña 1, **b.** Campaña 2, **c.** Campaña 3, **d.** Campaña 4, **e.** Campaña 5.

Conclusiones

Caracterización de los microorganismos presentes

Los microorganismos colectados e identificados en el área de estudio (hongos)¹ son muy similares comparados con otros reportados en investigaciones con objetivo semejante (Huang et al, 2002; Rodríguez et al, 2005; Flores et al, 2007), en donde se ha encontrado que el género más predominante es el *Aspergillus sp* con 45.50%; este microorganismo hace parte importante en los procesos de descomposición de residuos domésticos. *Aspergillus sp* se definen como hongos termófilicos que crecen a temperaturas máximas o superiores a 50 °C y a una temperatura mínima de 20 °C (Conney & Emerson, 1964). De las especies de hongos asociadas a las emisiones del Relleno Sanitario Palangana se tiene que el *Aspergillus terrus* es la especie más predominante en un 41,80%, seguido por el *Aspergillus niger* con un 35.87%, *Aspergillus flavus* con 16.28% y en menor porcentaje *Aspergillus fugimatus* con 6.08%.

Esta última especie de *Aspergillus sp* es uno de los más estudiados debido a que es un hongo oportunista y patógeno, y la concentración obtenida con respecto a las demás especies es congruente con las emisiones de *A. fugimatus* en rellenos sanitarios (Tolvanen et al., 1998; Sánchez-Monedero & Stentiford, 2003).

También se observa que el *Geotrichum sp* y el *Penicillium sp* son géneros de hongos predominantes en los aerosoles biológicos del área de estudio, reportándose en 18.60% y 23.25% respectivamente, en las muestras colectadas; de esta manera se corrobora lo demostrado en estudios similares con relación a estos géneros de hongos, como organismos típicos de los procesos de tratamiento de residuos sólidos (Kiviranta et al., 1999).

1. Sólo se pudo desarrollar la identificación de los géneros de hongos debido al alto costo y complejidad de identificación de bacterias en los ambientes aéreos.

En la mayoría de los casos se observa que las más altas concentraciones para los diecinueve (19) tipos de géneros fungi identificados, se encuentran asociados a la gestión de rellenos sanitarios, convirtiéndose éstos en la fuente; los géneros que no presentaron significativa relación con las actividades realizadas en los sistemas de disposición de residuos sólidos son *Acremonium*, *Hormicium*, *Gonatotryps*, *Curvularia* y *Pullularia*.

Para el caso de las bacterias se observa que la morfología identificada con mayor predominancia corresponde al bacilo, reportado en un 77.58% de las muestras colectadas, siendo el Gram negativo el identificado en la gran parte de las muestras, en un porcentaje de 54.20%; sin embargo, la diferencia obtenida entre los Gram no es significativa, esto se puede atribuir a que las muestras fueron tomadas en diversas jornadas, y se confirma en los estudios realizados por Rosas et al, 2005, quienes afirman que en la noche las Bacterias Gram positivas esporuladas presentan su concentración mínima (aproximadamente 17%) y las Gram negativas su máxima (22%); durante el día se invierte el proceso con 35% y 12%, respectivamente (Tong & Lighthart, 1997). Esto se relaciona con el hecho de que las bacterias Gram positivas son mucho más resistentes que las bacterias Gram negativas, ya que su pared celular es más gruesa (Pott, 1994).

Para el caso de los *Staphylococcus sp.* se reporta en el 31.74% del total del material colectado; a pesar de ello, la presencia de este tipo de agente microbiano ha sido poco estudiada en las áreas de influencia de rellenos sanitarios, siendo un agente causante de muchas de las afecciones dermatológicas, así como de muchos de los casos de infecciones respiratorias.

Cuantificación de los aportes de microorganismos emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana

En cuanto al aporte de los microorganismos emitidos desde el relleno sanitario hacia las comunidades, se puede concluir que las concentraciones en las comunidades se atribuye en menor medida a las emisiones generadas por el relleno sanitario (siendo la celda activa la estación

que presenta las mayores concentraciones); tomando como base el hecho de que sólo en la jornadas de la tarde se encuentra una relación fundamentada en el análisis estadístico de los datos.

Esto se puede justificar por las velocidades de los vientos en las distintas jornadas de muestreo. En las tardes las velocidades son mucho mayores comparadas con las de la jornada de la mañana, y sumándole a esto que el mayor número de partículas colectadas pertenecen a la etapa 6 del equipo impactador de cascada (partículas de tamaño que varían de 0.65-1.1 μm), se presenta una mayor dispersión de los microorganismos en la jornada de la tarde; ya que la mayor parte de la concentración se puede encontrar de forma suspendida por las fuerzas ejercidas por el viento

Pese a esto se observa que en algunos casos las concentraciones obtenidas en el blanco son mayores a las obtenidas en las estaciones del relleno, sin embargo la exposición a los bioaerosoles emitidos desde el relleno sanitario denotan una importancia en la salud pública de las comunidades por la posible presencia de microorganismos patógenos como el *Aspegillus fugimatus*, los cuales en menores concentraciones pueden causar afecciones a las personas expuestas.

Sin embargo, la distribución espacial con frecuencia demuestra altas concentraciones que son emitidas desde el relleno hacia las comunidades, más en la comunidad de Bastidas donde se observa un ligero aumento de las concentraciones; este comportamiento se puede atribuir a dos posibles causas, la primera de ellas es que esta comunidad cuenta con un alto tráfico vehicular así como una alta densidad poblacional, y la segunda es que entre las comunidades de Fundadores y Bastidas y el relleno sanitario existe una barrera orográfica (un cerro), que puede interferir en el ascenso de las partículas por acción de la orografía en la dirección de los vientos permitiendo una mayor trayectoria de las partículas hacia esta comunidad.

En cuanto a la distribución de los datos se observa que éstos presentan en su mayoría datos atípicos principalmente en la jornada de la mañana y para los *Staphylococcus*. Situación atribuible a los cambios variables

que presentan las velocidades de los vientos, al tamaño aerodinámico de las partículas y las condiciones orográficas de la zona de estudio, ya que como se puede observar en el área del relleno sanitario las estaciones en su mayoría presentan una homogeneidad en los datos obtenidos. Los datos obtenidos en la estación de control o blanco demostraron que cumplía con los requisitos mínimos para ser establecida estación de control, debido a que se observa poca dispersión en los datos colectados y por ende presentan baja variabilidad de la población.

Distribución Espacio-temporal de los microorganismos presentes

La distribución espacio-temporal obtenida para las concentraciones de bacterias heterotróficas son congruentes con las reportadas en la literatura, ya que se encuentran distribuidas según su Gram en las relaciones estimadas (Tong & Lighthart, 1997).

Para el caso de los hongos se puede decir que el comportamiento temporal de las concentraciones no es más ajustado a lo reportado por la literatura, debido a que las mayores concentraciones se esperaban en la jornada de la tarde, esto se fundamenta en el hecho de que los hongos presentan una mayor dispersión bajo condiciones de temperaturas altas en comparación con las bacterias.

Por último para el caso de los *Staphylococcus* no es muy clara la variación temporal que estos microorganismos presentan, esto es atribuible al hecho que muchas de las especies de *Staphylococcus* se generan por la actividad humana tal como es el caso del *Staphylococcus epidermidis*

En cuanto a la distribución espacial de los microorganismos se observa una mayor concentración en el área del relleno y disminuyen hacia las comunidades, sin embargo para el caso de los *Staphylococcus* se observa que no existe una clara identificación sobre el foco de generación de estos microorganismos.

Establecimiento del comportamiento aerodinámico de las partículas

En relación al comportamiento aerodinámico de las partículas aerotransportables emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana del Distrito de Santa Marta se puede concluir que:

- Las partículas presentan un diámetro predominante inferior a $5 \mu\text{m}$, lo cual les permite permanecer en el aire por un periodo mayor, bajo condiciones atmosféricas estables, permitiendo ser dispersadas con facilidad por corrientes de viento de baja velocidad.
- La distribución de las partículas en el área de estudio no presenta un patrón uniforme de dispersión espacial, lo cual hace pensar que están gobernadas por la dinámica atmosférica local del área.
- Las partículas presentan una mayor dispersión en las horas de la tarde con respecto a la jornada de la mañana, lo cual hace pensar que las partículas tienen un comportamiento aerodinámico (en cuanto a la dispersión) mucho mayor en las horas de la tarde; esto se puede relacionar con el aumento de la velocidad del viento en estas horas del día, además a medida que la temperatura de la atmósfera, así como la humedad y vientos se estabilizan, con el aumento de las horas permiten que la estabilidad atmosférica logre un mayor equilibrio dinámico permitiendo establecer un mejor patrón de dispersión de las partículas.
- La influencia orográfica del área de estudio parece ser una fuerte variable que influye en el comportamiento aerodinámico de las partículas, por lo cual se consideraría necesario realizar un estudio complementario acerca de la dinámica atmosférica en esta zona, para así poder correlacionar las concentraciones obtenidas con la dispersión que se tiene en el área de estudio; permitiendo obtener en mayor medida cual es el comportamiento al que se encuentran sujetos los Bioaerosoles emitidos desde el Relleno Sanitario Palangana.

Referencias

- Alfaro-Moreno, E., Martínez I., García-Cuellar C., Bonner J., Murray C., Rosas I., Ponce de León S. & Osornio-Vargas A., (2002). Biologic effects induced in vitro by PM10 from three different zones of Mexico City. *Environmental Health Perspectives*, 110, (7), 715- 720.
- Banaszak, Barboriak, Fink, Scanlon, Schlueter, Sosman, Thiede . & Unger., (1974). Epidemiologic studies relating thermophilic fungi and hypersensitivity lung syndromes. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 110, 585-591.
- Beffa T., staib F., Lott Fisher J., Lyon P.F., Gumowski P., Marfenina O.E., Dunoyergeindre S., Georgen F., Roch-Susiki R., Gallaz L., & Latgé J.P. (1998). Mycological Control and Surveillance of biological Waste and Compost. *Medical Mycology*, 36 (suppl.I), 137- 145.
- Borja-Aburto, V., Loomis, D., Bangdiwala, S., Shy, C., & Rascon-Pacheco, R., (1995). Ozone, suspended particulates and daily mortality in Mexico City. *American Journal of Epidemiology*, 145, (3), 258-268.
- Bogner, J., Spokas, K., Burton, E., Sweeney, R., & Corona, V., (1995). Landfills as atmospheric methane sources and sinks, *Chemosphere*, 31, (9), 4119–4130.
- Clark, C.S., Bjornson, H.S., & Schwartz-Fulton, J., (1984). Biological health risks associated with the composting of wastewater treatment plant sludge. *Journal WPCF*, 56, 1269- 1276.
- Cooney, D.G., & Emerson, R., (1964). Thermophilic Fungi: An Account of their Biology, Activities, and Classification. W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- De la Rosa M.C., Mosso M.A., & Ullán C., (2002). El aire: Hábitat y Medio de Transmisión de Microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402.
- Driver, C.R., Valway, S.E., Morgan, W.M., Onorato, I.M., & Castro K.G., (1994). Transmission of Mycobacterium tuberculosis associated with air travel. *J. Am Med Assoc*, 272, (13), 1031-1035.
- Eklund, B., Anderson, E.P., Walker, B.L., & Burrows, D.B., (1998). Characterization of landfill gas composition at the Fresh Kills municipal solid-waste landfill. *Environmental Science and Technology*, 32, 2233–2237.
- Fannin, K.F., Vana, S.C. & Jakubowski W., (1985). Effect of an activated sludge stewarwater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Applied Environmental Microbiology*, 49, (5), 1191-1196
- Fischer, G., Muller, T., Schwalbe, R., Ostrowski, R. & Dott. W., (2000). Exposure to airborne fungi, MVOC and mycotoxins in biowaste-handling facilities. *Int. Hyg. Environ.Health*, 203, 97-104.
- Flores, F.J., Pardavé, L.M., & Valenzuela, C.C., (2007). Estudio aerobiológico de la zona aledaña al relleno sanitario “San Nicolás”, Municipio Aguas Caliente. *Investigación y Ciencia*, 15, 37, 13-18.
- García, F., (2002). Determinación del Material Viable emitido desde el Relleno Sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín. *Revista Ingeniería para el Nuevo Milenio*, 1, (1), 57-65.
- Ghio, A.J. & Roggli, V.L., (1995). Mycotoxins and interstitial lung disease. *Chest*, 108, 1185–1186.



- Gravesen, S., (1979). Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy*, 34, 135-154.
- Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios, 2002 del Ministerio de Medio Ambiente
- Huang C.Y., Lee C.C., Li F.C., Ma Y.P. & Su H.J., (2002). The Seasonal Distribution of Bioaerosols in Municipal Landfill Sites: a 3-yr Study. *Atmospheric Environment*, 36, (27), 4385- 4395.
- Hughes, K. A. 2003. Aerial dispersal and survival of sewage derived faecal coliforms in Antarctica. En: *Atmospheric Environment*. Vol. 37, No. 22 (2003); p. 3147-3155.
- Ingeambiente Ltda. 2004. Plan de Manejo Ambiental Relleno Sanitario Palangana. pp.47
- Kiviranta, H., Tuomainen, A., & Liesivuori, J., (1999). Exposure to airborne microorganisms and volatile organic compounds in different types of waste handling. *Ann. Agric Environ. Med*, (6), 39-44.
- Lacey, J. & Crook B. (1988). Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens. *Am. Occup. Hyg*, 32, 515-533.
- Laine, M.M., Jorgensen, K.S., Kiviranta, H.S., Vartiainen, T.S., Jokela, J.K., Adibi, A.K. & Salkinaja-Solonen M.K., (1999). Bioaerosols and particles release during composting of contaminated sawmill soil. *Bioremediation Journal*, 3, (1), 47-58.
- Lewis D.L., Gattie D.K., Novak M.E., Sanchez S. & Pumphrey C., (2002). Interactions of Pathogens and Irritant Chemical in Land-Applied Sewage Sludges (Biosolids). *BMC Public Health*, 1, (2), 11-18.
- Lundholm, I.M., (1982). Comparison of methods for quantitative determinations of airborne bacteria and evaluation of total viable counts. *Applied Environmental Microbiology*, 44, (1), 179-183.
- Malmros P., Sigsgaard T.& Bach B., (1992). Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Management & Research*, 10, 227-234.
- Padilla, L.Y. (2004). *Presencia De Hongos Miceliales Termotolerantes Y Termofilicos En El Vertedero De Lajas, Puerto Rico, Prestando Especial Interés a Aspergillus fumigatus*. Tesis Universidad de Puerto Rico recinto universitario de Mayagüez., Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAESTRO EN CIENCIAS. Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
- Potts, M., (1994). Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiol Mol Biol Rev*, 58, (4), 755-805
- Rahkonen, P., Ettala, M., & Loikkanen, I., (1987). Working conditions and hygiene at sanitary landfills in Finland. *Annals of Occupational Hygiene*, 31, (4A), 505-513.
- Randall, C. W., & Ledbetter., (1996). Bacterial air pollution from activated sludge units. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 27, (6), 506-519.
- Rodríguez, G.S., Sauri, R.M., Peniche, A.I., Pacheco, A.J. & Ramírez, H.J., (2005). Aerotransportables Viables en el Área de Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería Revista Académica*, 9, (3); 19-29.
- Rosas, I., Calderón, C., Salinas, E., & Lacey J. (1996). Airborne microorganisms in a domestic waste transfer station. En: MUILENBERG, M. y BURGE H. (eds.) *Aerobiology: Proceedings E-American Aerobiology Association* (pp. 250 – 290). CRC, Lewis Publishers.
- Rosas, I., Salinas, E., Martínez, L., Eslava, C., & Cravioto, A., (2004). *Microbiología Ambiental*. Primera edición. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) 133 p.

- Samet, J.M., Zeger, S., Dimici, F., Curriero, F., Coursac, I., Dockery, D.W., Schwartz J. & Zanobetti, A. (2000). The national morbidity, mortality and air pollution study part II: Morbidity, mortality and air pollution in the United States. *HEI Research Report*, 94, Part II.
- Sánchez, M.A. & Stentiford, E.I., (2003). Production and release of airborne microorganisms at different keypoints in the waste management chain. En: "Proceedings of the 4th international conference of ORBIT Association on Biological Processing of Organics: Advances for a Sustainable Society". Eds. P. Pullammanappalli, A. McComb, L.F. Díaz and W. Bidlingmaier. p. 612-621.
- Schwartz J., Slater, D., Larson, T.V., Pierson, W.E. & Koenig J.Q., (1993). Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *American Review Respiratory Disease*, 147, 826-831
- Sigsgaard, T., Bach, B. & Malmros, P., (1990). Respiratory impairment among workers in a garbage-handling plant. *American Journal of Industrial Medicine*, 17, (1), 92-93.
- Stetzenbach, L.D., (2002). Introduction to aerobiology. En: HURST C.J. (Ed.) *Manual of Environmental Microbiology*, 2nd Edition. Washington: ASM Press, 801-813.
- Tolvanen, O.K., Hanninen, K.I., Veijanen, A. & Villberg, K., (1998). Occupational hygiene in biowaste composting. *Waste Management and Research*, 16, (6), 525-540.
- Tong & Lighthart, B., (1997). A study of the relationship between pigmented outdoor atmospheric bacteria and solar radiation. *Photochem Photobiology*, 65, 103-106.
- van den Ende J., Lynen L., & Elsen, P., (1998). A cluster of airport malaria in Belgium in 1995. *Acta Clin Belg.*, 53, (4), 259-63.



