

Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos

M. A. Sánchez-Monedero^{1,2}, A. Roig¹, M. L. Cayuela¹, E. I. Stentiford²

Recibido: 6 de julio de 2005 – Aceptado: 17 de enero de 2006

RESUMEN

La gestión, o manejo, de los residuos orgánicos lleva asociado un riesgo biológico como consecuencia de la exposición no controlada a diversos tipos de microorganismos, susceptibles de causar algún tipo de infección, alergia o toxicidad. La emisión de bioaerosoles, o partículas aerotransportables de origen biológico, en plantas de tratamiento de residuos orgánicos representa uno de los potenciales riesgos para la salud tanto de los operarios de la planta como de los residentes en zonas próximas, y por tanto, debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar y planificar nuevas instalaciones. En este artículo se muestran los principales bioaerosoles generados durante el manejo de residuos orgánicos, sus riesgos para la salud y sus propiedades aerodinámicas, que son las que van a regir su comportamiento una vez que son emitidos al aire. Por último se presenta una serie de medidas generales y recomendaciones para reducir la emisión y dispersión de estos bioaerosoles tanto en plantas en funcionamiento como de nueva instalación.

Palabras clave: bioaerosol, *Aspergillus fumigatus*, gestión de residuos orgánicos, compostaje (composteo), riesgo biológico

Emission of bioaerosols associated to organic waste management

ABSTRACT

Organic waste management is associated with biological hazards as a consequence of the uncontrolled exposure to different micro-organisms that can be the source of some kind of infection, allergy or toxicity. The release of bioaerosols, or airborne micro-organisms, from organic waste treatment plants represents a potential health hazard for both site workers and local residents and, consequently, it should be considered during the design and installation of new sites. In this article, the bioaerosols generated at waste treatment plants are reviewed alongside their health risks and their aerodynamic behaviour, once they are airborne. Finally, a number of guidelines are proposed to reduce bioaerosol generation and dispersion from waste treatment plants already in operation, or for designing new ones.

Keywords: bioaerosol, *Aspergillus fumigatus*, organic waste management, composting, biohazard

¹ CEBAS-CSIC, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia (España) E-mail: monedero@cebas.csic.es

² School of Civil Engineering, The University of Leeds, LS2 9JT Leeds (UK)

1. INTRODUCCIÓN

La conservación del medioambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales son valores altamente considerados en los últimos años y la adecuada gestión de los residuos orgánicos es, por tanto, una herramienta fundamental para conseguirlo. Se está aumentando en los últimos años el número de plantas de reciclado y aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, mientras que se está limitando la cantidad de residuos que puede ser tratada en vertederos, evitando así las emisiones de metano asociadas a la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Sin embargo, la instalación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos suele originar la oposición de los habitantes de zonas cercanas. El principal motivo de rechazo ha sido tradicionalmente la emanación de olores, pero en los últimos años ha aumentado el interés por conocer el riesgo biológico que supone para la salud la exposición a los bioaerosoles, o partículas aerotransportables, generadas durante el manejo de los residuos. En numerosos países de la Unión Europea, los bioaerosoles se han convertido en uno de los factores a tener en cuenta para el diseño y puesta en marcha de las plantas de tratamiento de residuos orgánicos y, en el caso del Reino Unido, existe una legislación específica que limita sus emisiones en plantas de compostaje o composteo.

2. DEFINICIÓN DE BIOAEROSOL

Los bioaerosoles son partículas de tamaño microscópico suspendidas en el aire, bien de origen biológico o que puedan afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección. Los bioaerosoles pueden estar constituidos por virus, bacterias, esporas, polen y en general cualquier resto de microorganismos con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.5 y 100 μm (Cox y Wathes, 1995).

Las principales vías de exposición a estos microorganismos son por inhalación, ingestión y contacto con la piel, pero la inhalación es la que da lugar a los mayores problemas para la salud. Dentro del amplio intervalo de tamaños, los bioaerosoles de mayor importancia, desde un punto de vista sanitario, son los que tienen un tamaño inferior a 5 μm , ya que por su tamaño tan pequeño pueden ser inhalados y alcanzar fácilmente los alvéolos pulmonares, donde

pueden depositarse y causar infecciones o reacciones alérgicas (Stetzenbach, 2002).

3. COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO

La característica más relevante de los bioaerosoles es el comportamiento aerodinámico que presentan estas partículas cuando son emitidas al aire. Una vez que se encuentran en suspensión, su comportamiento aerodinámico va a estar gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y las condiciones medioambientales (corrientes de aire, humedad y temperatura).

Las partículas de mayor tamaño (con un diámetro aerodinámico superior a 10 μm) tienden rápidamente a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales, mientras que las partículas muy pequeñas (inferiores a 0.1 μm) 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 μm presentan un comportamiento intermedio ya que su movimiento está afectado en mayor o menor medida por ambos tipos de fuerzas.

La velocidad de sedimentación teórica de las partículas con tamaños entre 0.1 y 1 μm es aproximadamente de 0.01 cm s^{-1} (Figura 1), lo que supone que estas partículas necesitarían más de 5 horas antes de sedimentar en el suelo desde una altura de 2 metros. Estas condiciones ideales no se pueden extrapolar cuando las partículas se encuentran al aire libre expuestas a distintas condiciones ambientales, donde factores tales como turbulencias atmosféricas, temperatura y humedad, pueden aumentar la velocidad de sedimentación hasta 1 cm s^{-1} . Incluso en estos casos, los bioaerosoles podrían permanecer suspendidos en el aire durante varios minutos antes de ser depositados en el suelo o en cualquier otra superficie. Durante el tiempo que permanecen suspendidas en el aire, las partículas podrían ser transportadas por la acción del viento a distancias que pueden variar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.

Los factores ambientales, además de gobernar el comportamiento aerodinámico de los bioaerosoles, también determinan su estabilidad y viabilidad. Los microorganismos en suspensión están expuestos a distintos tipos de estrés ambiental que dan lugar a su inactivación. Los factores que más influencia tienen

en la viabilidad de los microorganismos son detallados a continuación (Mohr, 2002):

- Contenido de agua en los microorganismos
- Humedad relativa del aire
- Temperatura
- Oxígeno
- Otros factores característicos de ambientes al aire libre (presencia de iones, radiación solar, etc.)

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.

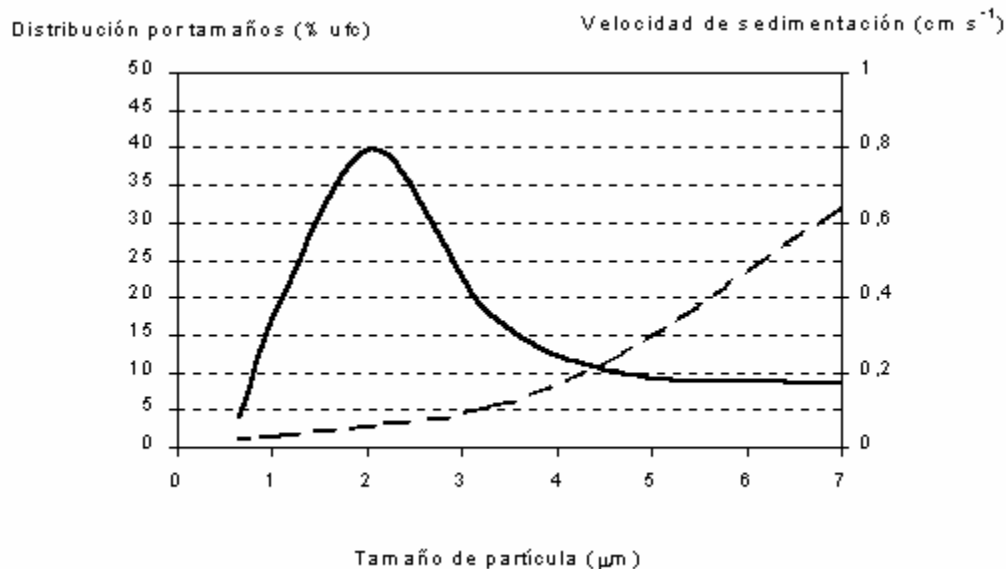


Figura 1. Distribución por tamaño de partícula de las esporas (o unidades formadoras de colonia) de *Aspergillus fumigatus* (—) obtenida por un muestreador Andersen de seis etapas y sus correspondientes velocidades de sedimentación (---). (Adaptado de Cox y Wathes, 1995; Sánchez-Monedero *et al.*, 2003)

El hecho de que estas partículas puedan permanecer en suspensión, sean viables y fácilmente transportables por el viento, las convierte en uno de los principales problemas en las plantas de tratamiento de residuos orgánicos. El riesgo biológico asociado a la inhalación de estos bioaerosoles puede afectar tanto a los trabajadores de la planta, que están en contacto directo con los focos donde se generan, como a los habitantes de las zonas colindantes.

4. MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Existen distintas metodologías para la captación e identificación de los bioaerosoles que han sido propuestas a nivel nacional en distintos países, o usados por empresas consultoras y equipos de investigación (Jensen, 1998; NIOSH, 1998; Gilbert y Ward, 1999; EPA 2003). Estos métodos están basados en distintos sistemas para la captación de bioaerosoles y la selección de distintos grupos de

microorganismos, pero no existe una metodología estandarizada aceptada a nivel internacional que permita el estudio de los bioaerosoles de forma unificada y, por tanto, la comparación de los resultados.

La Asociación de Compostaje del Reino Unido (UK Composting Association) publicó en 1999 un protocolo estandarizado para el muestreo de bioaerosoles en plantas de compostaje (Gilbert y Ward, 1999). El uso de este método está muy extendido en todo el Reino Unido y sirve como referencia para distintos grupos de investigación europeos. Esta metodología utiliza *Aspergillus fumigatus* y un recuento total de bacterias mesófilas como indicadores de la contaminación microbiológica de las plantas de compostaje. Los niveles de *Aspergillus fumigatus* son buenos indicadores de las operaciones donde se manejan residuos orgánicos, en primer lugar porque la cantidad presente en los residuos es muy alta y, además, niveles muy bajos de

este hongo son indicadores evidentes de la existencia de algún tipo de operación en la que se están manejando residuos o restos vegetales, con lo que la posibilidad de interferencias es baja.

El método está basado en la captación por impacto de los bioaerosoles mediante un muestreador del tipo Andersen, de dos o seis etapas, provisto de placas Petri que contienen los medios de cultivo adecuados para los dos indicadores seleccionados: agar nutritivo para el recuento total de bacterias y un agar a base de extracto de malta para el recuento de *Aspergillus fumigatus*. Además de los indicadores microbiológicos, el protocolo también contempla la toma de datos meteorológicos que permitan evaluar tanto la generación como la dispersión de los bioaerosoles.

Los muestreos consisten en la identificación de los principales focos de emisión de bioaerosoles y de los posibles receptores en una zona de 200 m alrededor de la planta de compostaje. Se toman varias muestras que permitan comparar los niveles generados junto a los focos emisores con los niveles habituales de la planta cuando no se encuentra en funcionamiento, o con zonas que no estén afectadas por la planta (blancos). Además se toman muestras a distancias de hasta 200 m para comprobar que existe una correcta dispersión de los bioaerosoles para disminuir su concentración hasta niveles que no supongan un impacto negativo en zonas vecinas.

5. BIOAEROSOLES GENERADOS DURANTE EL CICLO DE VIDA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

Tanto los residuos orgánicos, que están colonizados por una abundante y variada flora microbiana, parte de la cual es patógena para el hombre, como los sistemas de tratamiento de residuos, que generalmente están diseñados para favorecer el crecimiento microbiano, son claros focos emisores de microorganismos. Por tanto su manejo, y en especial las operaciones que impliquen agitación o movimiento del material, van a originar la liberación de parte de estos microorganismos al aire, bien de forma individual, formando agregados, o adheridos a restos orgánicos de los residuos. Las principales actividades generadoras de bioaerosoles son el transporte y descarga de los residuos, su trituración, el volteo de las pilas de compostaje y, por último, el cribado del compost maduro.

Existen excelentes revisiones de los bioaerosoles asociados al manejo de residuos orgánicos (Millner *et*

al, 1994; Poulsen *et al*, 1995; Swan *et al*, 2003). Estos bioaerosoles están formados principalmente por microorganismos, restos de microorganismos y restos orgánicos de los propios residuos orgánicos que son tratados en sus instalaciones. Los bioaerosoles pueden contener actinomicetos, bacterias, hongos, artrópodos o incluso compuestos de origen microbiano tales como endotoxinas, β -1,3-glucanos o micotoxinas.

Entre todos estos bioaerosoles, y en especial entre los que se generan en las plantas de composteo, el hongo *Aspergillus fumigatus* es el más estudiado y el que ha despertado un mayor interés tanto por su abundancia en las pilas de composteo como por sus posibles efectos negativos sobre la salud (Olver, 1994). *Aspergillus fumigatus* es un hongo saprofito muy común que puede sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones ambientales (temperatura, humedad, pH, concentración de oxígeno, tipo de sustrato, etc) pero encuentra en las pilas de composteo las condiciones idóneas para su crecimiento, que son, temperaturas entre 37 y 43 °C y sustratos muy ricos en carbono. Este hongo forma muy fácilmente esporas de un diámetro en torno a 2 μ m, pero en las condiciones reales de una planta de tratamiento de residuos, los tamaños de partícula están dentro de un intervalo más amplio como consecuencia de la formación de agregados o por la adhesión de las esporas a partículas de polvo o restos orgánicos. La distribución normal del tamaño de las partículas que contienen *Aspergillus fumigatus* abarca un amplio intervalo entre 0.5 y 7 μ m, con un valor medio en torno a los 2 μ m, que corresponde al tamaño de las esporas individuales, si bien más del 80 % de las partículas tienen un diámetro de partícula inferior a 3 μ m, que tienen una velocidad de sedimentación en torno a 0.1 cm s⁻¹ (Figura 1).

El pequeño tamaño de las esporas, y en general de las partículas que las contienen, les permite ser aerotransportadas por la acción del viento hasta distancias de varios kilómetros (Millner *et al.*, 1977, Recer *et al.*, 2001) y, en el caso de ser inhaladas, éstas puedan llegar directamente a los alvéolos pulmonares, donde pueden causar infecciones en individuos con un sistema inmunológico débil, o incluso alergias en personas sensibles. Millner *et al.* (1994) realizaron una revisión de los bioaerosoles generados en plantas de compostaje en la que, en base a la bibliografía publicada hasta la fecha, se identificaban las principales enfermedades causadas por *Aspergillus fumigatus*: aspergilosis invasora, aspergilosis broncopulmonar alérgica, alveolitis alérgica aguda, asma inducida por aspergilosis, sinusitis micótica alérgica y otros tipos de alergia.

Los niveles de *Aspergillus fumigatus* y bacterias mesófilas totales generados durante el manejo de los residuos orgánicos dependen principalmente del tipo de residuo orgánico y de la tecnología usada para su tratamiento. En primer lugar, la cantidad y diversidad de microorganismos que colonizan los residuos es distinta dependiendo de su origen. Millner *et al.*, (1977) encontraron las concentraciones más altas de *Aspergillus fumigatus* en los residuos verdes y en las astillas de madera, alcanzando valores entre 10^3 y 10^7 ufc g^{-1} , mientras que los lodos de depuración de aguas residuales solamente contenían entre 10^2 y 10^3 ufc g^{-1} . Además, el manejo de residuos sólidos urbanos suele generar una menor cantidad de *Aspergillus fumigatus* que otros residuos con mayor proporción de restos vegetales, mientras que la cantidad de bacterias mesófilas sí es similar o incluso superior a la de otros residuos tales como lodos de depuración o restos vegetales (Tolvanen *et al.*, 1998; Sánchez-Monedero y Stentiford, 2003).

Otro factor determinante de la cantidad de bioaerosoles generados y emitidos al aire es el tipo de tecnología usada para el tratamiento de los residuos. Los procesos que requieren actividades energéticas tales como el movimiento vigoroso del material, trituración, volteos o cribados, generan concentraciones de bioaerosoles en el aire del orden de 10^6 ufc m^{-3} , mientras que las concentraciones normales, en ausencia de actividad, pueden variar en torno a 10^3 ufc m^{-3} . La aireación forzada es otro factor que da lugar a la emisión de los bioaerosoles aunque su efecto no es tan marcado como el de las actividades más energéticas descritas anteriormente. La

concentración de bioaerosoles en el aire dependerá del tipo de instalación donde se generan. En las plantas que operan al aire libre, hay una buena dispersión favorecida por el viento, y en general por las condiciones meteorológicas, mientras que en el caso de recintos cerrados, puede existir un efecto de concentración por la falta de ventilación. Una vez que cesan las actividades energéticas, la concentración de los bioaerosoles disminuye como consecuencia de su dispersión natural en el aire, de su sedimentación en superficies o su eliminación mediante sistemas de extracción de aire.

En la Tabla 1 se muestran los intervalos de concentraciones característicos para *Aspergillus fumigatus* y bacterias mesófilas en distintos puntos de la cadena de tratamiento de los residuos orgánicos. Los valores más altos, para ambos tipos de microorganismos, fueron registrados en plantas de compostaje, tanto en instalaciones al aire libre o en recintos cerrados, donde se registraron valores máximos de hasta 290,000 ufc m^{-3} cerca de las pilas de compostaje que estaban siendo volteadas. Estas concentraciones son del orden de dos unidades logarítmicas mayores que en el resto de centros de tratamiento o actividades, como en el caso de centros de separación y reciclado de residuos sólidos urbanos, donde las concentraciones nunca superaron 3,000 ufc m^{-3} . Estos valores se encuentran dentro de los intervalos de concentración encontrados por distintos autores en otros centros similares de tratamiento de residuos orgánicos (Kiviranta *et al.*, 1999; Nielsen *et al.*, 1997; Poulsen *et al.*, 1995).

Tabla 1. Intervalos de concentraciones de bioaerosoles encontrados en distintos puntos dentro de la cadena de tratamiento de residuos orgánicos (ufc m^{-3}). (Adaptado de: Nielsen *et al.*, 1997; Millner *et al.*, 1994; Sánchez-Monedero y Stentiford, 2003; Sánchez-Monedero *et al.*, 2005).

Centro de tratamiento de residuos orgánicos	<i>Aspergillus fumigatus</i> (ufc m^{-3})	Recuento total bacterias mesófilas (ufc m^{-3})
Durante recogida de residuos	100 – 210.000	100 – 280.000
Planta de compostaje con sistemas cerrados		
- Sin actividad	100 – 1.000	250 – 5.900
- Con actividad normal	4.700 – 220.000	2.300 – 190.000
Planta de compostaje al aire libre		
- Sin actividad	100 – 300	200 – 4.900
- Con actividad normal	620 – 110.000	550 – 290.000
Centro de separación y reciclado		
- Sin actividad	<100	180 – 810
- Con actividad normal	350 – 2.530	420 – 2.060
Vertedero controlado (relleno sanitario)	100 – 180	1.330 – 2.070
Actividades agrícolas y ganaderas		
- Actividad normal	40 – 580.000	1.000 – 3.000.000

Las concentraciones de *Aspergillus fumigatus* en los vertederos controlados (reellenos sanitarios) son relativamente bajas comparadas con el resto de actividades, mientras que las concentraciones de bacterias mesófilas en el aire son similares a las encontradas en los centros de separación y reciclado. Jager y Eckrich, (1997) encontraron concentraciones de *Aspergillus fumigatus* en vertederos controlados del orden de 100,000 ufc m⁻³, mientras que Lavoie y Alie (1997) encontraron valores inferiores a 3.000 ufc m⁻³, lo que pone en manifiesto la importancia de factores tales como el tipo de residuo, las condiciones climáticas, variaciones de tipo estacional, etc., en la emisión de los microorganismos.

En la actualidad no existen límites legales que regulen la exposición a agentes biológicos en lugares de trabajo y por tanto es difícil establecer los riesgos que suponen para los trabajadores. La dificultad en establecer unos límites máximos de exposición es debida a diversos motivos tales como la complejidad de los componentes de los bioaerosoles (bacterias, hongos, restos de microorganismos, su viabilidad, sustancias excretadas por ellos, etc.), la falta de información sobre las dosis infectivas de muchos de los agentes biológicos y la distinta respuesta de los individuos a un mismo agente biológico (INSHT, 1996).

Tan sólo existen unas recomendaciones basadas en datos experimentales. Millner *et al.* (1994) y Swan *et al.* (2003) recopilaron la información publicada por distintos grupos de investigación, entre los que destacan los países escandinavos, donde se han realizado numerosos estudios (Malmros *et al.* 1992; Poulsen *et al.* 1995; Nielsen *et al.* 1997). Sigsgaard *et al.* (1990) propusieron un límite máximo de exposición para el número total de bacterias entre 5.000 y 10.000 ufc m⁻³ y las recomendaciones propuestas desde entonces han estado dentro de ese intervalo. Sin embargo, aun no ha sido propuesta ninguna recomendación para *Aspergillus fumigatus*. Únicamente, en el caso de las plantas de compostaje que tratan residuos vegetales al aire libre, la Agencia de Medioambiente del Reino Unido está elaborando una recomendación por la que todas las plantas de compostaje deberían asegurar que las concentraciones de *Aspergillus fumigatus* a las que esté expuesto un posible receptor en un área de 200 m alrededor de la planta no debe superar el límite de 1.000 ufc m⁻³ (Environmental Agency, 2001).

En cualquier caso, y a pesar de la falta de límites máximos legales, las concentraciones expuestas en la tabla 1 son lo suficientemente altas como para recomendar el uso de sistemas de protección

individual para las vías respiratorias a los operarios que trabajen en los centros de tratamiento de residuos orgánicos.

6. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE BIOAEROSOLES

De acuerdo con las normas básicas de prevención, la prioridad para reducir la emisión de los bioaerosoles debe estar centrada, en primer lugar, en la eliminación de los focos emisores o, al menos en la minimización de la generación de bioaerosoles. En los casos en que no sea posible su eliminación, los operarios deben ser alejados del foco emisor, mediante el aislamiento de los focos de emisión en recintos cerrados, equipados con sistemas de extracción de aire y proveer a los operarios con equipos de protección individual. Para conseguir este objetivo han sido propuestas unas recomendaciones sencilla basadas en un manejo adecuado de los residuos orgánicos, manteniendo una humedad adecuada de los residuos para evitar la generación de polvo, minimizando las operaciones mecánicas que impliquen el movimiento del material, manteniendo una limpieza adecuada de las instalaciones y mediante la instalación de sistemas de extracción de aire en puntos críticos (Tabla 2). La idoneidad de estas recomendaciones ya ha sido demostrada en casos reales como el expuesto por Epstein *et al.* (2001), que tras la adopción de estas sencillas medidas observaron una reducción significativa de la cantidad de polvo y bioaerosoles generados en una planta de compostaje de lodos de depuración.

Las medidas para reducir la generación y emisión de bioaerosoles son válidas tanto para recintos cerrados como para plantas al aire libre, pero el enfoque para abordar la dispersión y reducción de los bioaerosoles en las plantas de tratamiento de residuos orgánicos es distinto dependiendo de la tecnología usada para su tratamiento. Mientras que en instalaciones en recintos cerrados es posible extraer el aire para su posterior tratamiento, bien mediante biofiltros o bioscrubbers, en el caso de instalaciones al aire libre, la única estrategia para reducir su concentración es favorecer su difusión natural en los alrededores, para lo que juega un papel importante el diseño de la planta y su localización. En el caso de instalaciones al aire libre, las recomendaciones propuestas para disminuir la dispersión de los bioaerosoles deben estar basadas en aspectos tales como el diseño de la propia planta, la topografía del terreno y el entorno natural (Millner *et al.*, 1994).

En la Tabla 2 se muestra un resumen de las distintas

recomendaciones propuestas por diferentes grupos de investigación de distintos países, para disminuir tanto la generación como la dispersión en plantas de

tratamiento de residuos orgánicos, y en especial en plantas de compostaje.

Tabla 2: Principales factores que contribuyen a la generación y dispersión de bioaerosoles y recomendaciones propuestas para disminuir su impacto (Millner *et al.*, 1994; Environment Agency, 2001)

Principales factores	Recomendaciones para minimizar la emisión y dispersión de bioaerosoles
Localización de la planta	<ul style="list-style-type: none"> • Localización de la planta alejada de núcleos urbanos (posibles receptores) • Utilizar técnicas de construcción y paisajísticas para evitar la dispersión desde la planta a zonas vecinas habitadas • Asegurarse que los bioaerosoles generados en la planta no sean detectables a una distancia de 250 m • Usar modelos matemáticos que permitan estimar el impacto de las emisiones de la planta sobre potenciales receptores
Funcionamiento de la planta	<ul style="list-style-type: none"> • Humedecer tanto los residuos como las zonas de tratamiento • Limpieza regular de las zonas de tratamiento y carreteras de acceso con barredoras y aspiradoras industriales para evitar la formación de polvo • Las operaciones de volteo, triturado, y cribado deben ser evitados en días con viento • Estas operaciones deben realizarse cuando se prevea una dispersión y la dirección del viento minimice la dispersión hacia zonas habitadas • Realizar las actividades causantes de la emisión en recintos cerrados provistos de sistemas de extracción de aire y tratamiento del aire extraído • Instalación de campanas de extracción de aire y polvo donde se realicen actividades que impliquen movimiento enérgico del material • Proporcionar sistemas de ventilación adecuados en las zonas de trabajo de los operarios • Promover el uso de sistemas de protección individual para los operarios y en vehículos móviles • Muestreos regulares de bioaerosoles para establecer los niveles normales de exposición

6. CONCLUSIONES

El riesgo biológico asociado a la exposición a los bioaerosoles es un factor importante a la hora de diseñar e instalar nuevas plantas para el manejo de residuos orgánicos. El tamaño de partícula de los bioaerosoles les confiere unas propiedades aerodinámicas peculiares que, por un lado, les permite ser aerotransportados varios centenares de metros y, además, pueden ser inhalados y causar alergias e infecciones tanto a los operarios como a otros posibles receptores. Los indicadores utilizados habitualmente para evaluar el riesgo biológico son el *Aspergillus fumigatus* y un recuento total de bacterias mesófilas.

La generación de estos bioaerosoles se produce durante toda el ciclo de vida de los residuos orgánicos, desde su recogida y tratamiento hasta su

disposición final, siendo los puntos más críticos las plantas de composta donde los niveles de bioaerosoles generados pueden alcanzar hasta 10^6 ufc m^{-3} .

La aplicación de sencillas medidas para evitar su emisión y su dispersión durante el manejo de los residuos permiten reducir significativamente los niveles a los que los operarios están expuestos en los centros de tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Programa de Becas “Marie Curie” de la Unión Europea. Los autores son los únicos responsables de la información presentada y la Comisión Europea no se responsabiliza de los resultados expuestos o las opiniones expresadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cox, C.S., Wathes, C.M. (1995). “Bioaerosols Handbook”. Lewis Publishers. New York.

Environmental agency. (2001). “Technical guidance on composting operations”, Draft for external consultation, October 2001. Reino Unido. <http://www.environment-agency.gov.uk/commodata/acrobat/compostin.pdf>. (fecha de consulta: 16/06/2005)

EPA. (2003). "A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings". February 2003. US Environmental Protection Agency.

http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/base/images/2003_base_protocol.pdf. (fecha de consulta: 16/06/2005)

Epstein E., Wu N., Youngberg C., Croteau G. (2001). Controlling dust and bioaerosols at a biosolids composting facility. *BioCycle*, 42(4), 50-54.

Gilbert, E.J., Ward, C.W. (1999). "Standardised protocol for the sampling and enumeration of airborne micro-organisms at composting facilities". Ed: The Composting Association, Coventry, UK.

INSHT. (1996). "Contaminantes biológicos: criterios de valoración". Nota Técnica de Prevención NTP-409/1996. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT.). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España. http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_409.htm. (fecha de consulta: 16/06/2005)

Jager E., Eckrich C. (1997). Hygienic aspects of biowaste composting. *The Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 4, 99-105.

Jensen, P.A. (1998). Sampling and characterization of bioaerosols. En: "NIOSH Manual of Analytical Methods". National Institute for Occupational Safety and Health. US Department of Health and Human Services. p. 82-112. <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/chapter-j.pdf>. (fecha de consulta: 16/06/2005)

Kiviranta H., Tuomainen A., Reiman M., Laitinen S., Nevalainen A., Liesivuori J. (1999). Exposure to airborne microorganisms and volatile organic compounds in different types of waste handling. *The Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 6, 39-44.

Lavoie J., Alie R. (1997). Determining the characteristics to be considered from a worker health and safety standpoint in household waste sorting and composting plants. *The Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 4, 123-128.

Malmros P., Sigsgaard T., Bach B. (1992). Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Management and Research*, 10, 227-234.

Millner, P.D., Marsh, P.B., Snowden, R.B., Parr, J.F. (1977). Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology*. 34(6):765-772.

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.

Mohr, A.J. (2002) Fate and transport of microorganisms in air. En: "Manual of Environmental Microbiology", 2nd Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington, 827-838.

Nielsen E.M., Breum N.O., Nielsen B.H., Wurtz H., Poulsen O.M., Midtgaard U. (1997). Bioaerosol exposure in waste collection: a comparative study on the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Annals of Occupational Hygiene*, 41(3), 325-344.

NIOSH. (1998). "Bioaerosol sampling". Method 0800, NIOSH Manual of Analytical Methods. National Institute for Occupational Safety and Health. US Department of Health and Human Services. <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdfs/0800.pdf>. (fecha de consulta: 16/06/2005)

Olver Jr., W.M. (1994). The *Aspergillus Fumigatus* Problem. *Compost Science & Utilization*. 2(3):27-31.

Poulsen O.M., Breum N.O., Ebbelohj 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.

Recer, G.M., Browne, M.L., Horn, E.G., Hill, K.M., Boehler, W.F. (2001). Ambient air levels of *Aspergillus*

fumigatus and Thermophilic actinomycetes in a Residential Neighborhood near a Yard-waste Composting Facility. *Aerobiologia*. 17:99-108.

Sánchez-Monedero, M.A., Stentiford, E.I., Mondini C. (2003). Biofiltration at composting facilities: effectiveness for bioaerosol control. *Environmental Science & Technology*, 37(18), 4299-4303.

Sánchez-Monedero, M.A., Stentiford, E.I. (2003). Production and release of airborne micro-organisms 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, pp. 612-621.

Sánchez-Monedero, M.A., Stentiford E.I., Urpilainen, S.T. (2005). Bioaerosol generation at large-scale green waste composting plants. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 55 (5): 612-618.

Sigsgaard, T., Bach, B., and Malmros, P. (1990). Respiratory impairment among workers in a garbage-handling plant. *American Journal of Industrial Medicine*, 17:92-93.

Stetzenbach, L.D. (2002). Introduction to aerobiology. En: "Manual of Environmental Microbiology", 2nd Edition (Ed: C.J. Hurst). ASM Press, Washington, 801-813.

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. <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr130.pdf>. (fecha de consulta: 16/06/2005).

Tolvanen, O.K., Hanninen, K.I., Veijanen, A., Villberg, K. (1998). Occupational hygiene in biowaste composting. *Waste Management and Research*, 16(6):525-540.

Este documento se debe citar como:

M.A. Sánchez-Monedero, A. Roig, M.L. Cayuela y E.I. Stentiford. (2006). **Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos**. *Revista Ingeniería*, 10-1, pp. 39-47. ISSN: 1665-529X