

NTP 597: Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: riesgos higiénicos



Plantes de compostage pour le traitement de déchets: risques hygiéniques
Compost plants to wastes treatment: Hygienic risks

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes:	Desfasados:	Operativos: SI

Redactores:

Xavier Solans Lampurlanés
Licenciado en Ciencias Biológicas

Rosa M^a Alonso Espadalé
Licenciada en Ciencias Biológicas

Enrique Gadea Carrera
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

El constante incremento en la generación de residuos sólidos urbanos que experimenta la sociedad hace necesaria una correcta gestión de los mismos. El reciclado es un aspecto muy importante para minimizar el impacto ambiental ocasionado por los residuos y su destino final. El compostaje hace referencia al tratamiento de residuos basado en el reciclado de la materia orgánica mediante un proceso controlado de fermentación en condiciones aeróbicas.

Esta Nota Técnica de Prevención, además de presentar las características del compostaje, centra su objetivo en la evaluación de la exposición a agentes químicos y biológicos que pueden producirse en este proceso, comentando los efectos descritos sobre la salud en trabajadores que desarrollan su actividad en este tipo de instalaciones; finalmente se proponen una serie de medidas preventivas a fin de minimizar la exposición.

Introducción

Uno de los problemas que se plantea en las sociedades industrializadas es la cantidad de residuos que se generan anualmente, a los que se debe dar una salida, gestionándolos de la manera más económica, social y ambientalmente posible. Para esta gestión, y por lo que se refiere a los residuos sólidos, se ha establecido una jerarquía de prioridades ambientales que se centra en tres ejes fundamentales:

- Prevención: Reducción en origen/Reutilización
- Valorización: Reciclaje-compostaje/Recuperación energética
- Eliminación: Vertido controlado

La transformación de la fracción orgánica de los residuos a través de técnicas de compostaje constituye un adecuado procedimiento de valorización de estos residuos, evitando los riesgos de contaminación que pueden provocar otras alternativas como la incineración y los vertederos.

El producto final del compostaje es un material parecido al humus del suelo, denominado compost, fácil de almacenar y transportar, que tiene un interesante valor agronómico, principalmente por su contenido en materia orgánica y en elementos fertilizantes, que se utiliza en distintas actividades agrícolas: frutales, viñas, cítricos, olivos, cultivos hortícolas, floricultura y jardinería, entre otros. Además también se emplea para mejorar los suelos, ya que da cuerpo a las tierras ligeras, disgrega a las compactas, evita la formación de costras y airea las raíces, regulando la permeabilidad y el drenaje de los mismos. En consecuencia, más que un sistema de tratamiento de residuos, puede ser contemplado como un procedimiento de obtención de un material útil a partir de una materia prima calificada como residuo.

Todo ello hace que el compostaje se plantee en la actualidad como una de las mejores alternativas para la gestión de residuos de naturaleza orgánica, incluidos los residuos sólidos urbanos.

Sistemas de compostaje

Los diferentes sistemas de compostaje de residuos pretenden conseguir en todos los casos una aireación óptima y llegar a las temperaturas termófilas, pero difieren en el grado en que consiguen sus objetivos. Un aspecto que no hay que olvidar es la eliminación de los microorganismos patógenos durante el proceso, ya que muchos de los residuos a compostar pueden contenerlos, por lo que se considera un sistema efectivo aquél que además de transformar toda la materia, la ha sometido durante un tiempo suficiente a las condiciones consideradas como letales para los citados microorganismos.

Si el compostaje es aeróbico y se realiza correctamente, las temperaturas que se alcanzan, junto con la competencia por los nutrientes, el antagonismo microbiano y los antibióticos producidos por algunos microorganismos favorecen la eliminación de la mayor parte de microorganismos patógenos presentes durante el proceso.

Los sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos:

- A. **Sistemas abiertos.** Es el sistema más generalizado. Se basa en la realización de pilas (agrupamiento de residuos en montones que generalmente adoptan forma triangular, con una altura recomendada menor de 2,7 metros, y sin una limitación en cuanto a su longitud) con diferentes sistemas de aireación. Los materiales a compostar se han de apilar sin que se compriman excesivamente para permitir que el aire quede retenido. Los montones o pilas pueden ser aireados por volteo. La frecuencia de los volteos depende del tipo de materiales a compostar, de la humedad y de la rapidez con la que se desea que se realice el proceso; para establecer esta frecuencia es preciso controlar la temperatura de la pila o bien fijarse si se desprenden malos olores.
- B. **Sistemas cerrados.** Se basa en la utilización de un reactor o digestor. Los principales sistemas cerrados de compostaje son: en tambor, en túnel, en contenedor y en nave. Son sistemas que tienen unos costos de instalación superiores al de las pilas, pero presentan la ventaja de permitir un control total de las condiciones necesarias, son más rápidos y requieren menos espacio para tratar el mismo volumen de residuos. Normalmente el compost que se produce en el interior del reactor no alcanza un correcto estado de maduración, por lo que posteriormente se le somete a un proceso de compostaje en pilas de poca duración que recibe el nombre de maduración.

Descripción del proceso

El compostaje es un proceso biológico, aeróbico y termófilo (con incremento de la temperatura) de descomposición de residuos orgánicos en fase sólida y en condiciones controladas que consigue la transformación de un residuo orgánico en un producto estable en mayor o menor grado, aplicable a los suelos como abono; aunque en algunos casos se ha definido como un método para estabilizar residuos, en general es más correcto hablar de descomposición porque no siempre se puede asegurar que esta estabilización sea total.

Se trata de un proceso aeróbico porque, aunque se pueda realizar de forma anaerobia, la presencia de oxígeno es aconsejable para poder alcanzar temperaturas más altas, acelerar el proceso, eliminar olores y a la mayoría de agentes patógenos o parásitos molestos; proceso biológico ya que son los microorganismos los que realizan el trabajo; y finalmente, se trata de un proceso de descomposición de residuos orgánicos pues en su fase inicial se degradan toda una serie de compuestos, siendo este sustrato la base del alimento de los microorganismos.

El proceso propiamente de compostaje consta de dos fases:

1. Fase termófila. En esta etapa se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar. Hacia los 70° C cesa prácticamente la actividad microbiana. La aireación de este compost provoca el reinicio del proceso, con la aparición de microorganismos mesófilos, incremento de la temperatura y aparición de nuevo de microorganismos termófilos. Durante estos cambios de temperatura las poblaciones bacterianas se van sucediendo unas a otras. Este ciclo se mantiene hasta que, debido al agotamiento de nutrientes, la temperatura ya no alcanza estos valores.

A lo largo de todo el proceso van apareciendo las formas resistentes de los microorganismos cuando las condiciones de temperatura hacen inviable su actividad normal. Sin embargo, es interesante alcanzar estas temperaturas para conseguir la eliminación de microorganismos patógenos.

2. Fase de maduración. En esta etapa ya no se producen las variaciones tan acusadas de temperatura obtenidas en la fase anterior debido a la limitación de nutrientes, desarrollándose tanto organismos mesófilos como termófilos, con un descenso importante de la actividad microbiana.

Se observa como el compostaje es un proceso dinámico, debido a la actividad combinada de una amplia gama de poblaciones de bacterias y hongos, ligados a una sucesión de ambientes definidos por la temperatura, humedad, características de los residuos, etc. Cada población bacteriana tiene unas condiciones ambientales más adecuadas para su desarrollo así como unos tipos de materiales que puede descomponer más fácilmente; por esta razón, una población empieza a aparecer mientras que otras se encuentran en el momento más elevado de su desarrollo y otras empiezan a desaparecer. De esta forma se complementan las actividades de los diferentes grupos.

Conseguir un buen compost se reduce por lo tanto a proveer a los microorganismos de un buen entorno para que desarrollen su actividad. Para ello hay que prestar atención a una serie de parámetros para crear las condiciones óptimas de trabajo: temperatura, humedad, pH, oxígeno y balance de nutrientes.

Temperatura

Las variaciones de temperatura están tan relacionadas con el funcionamiento del proceso que su seguimiento puede ser una manera de controlar el mismo. Los microorganismos que toman parte en la descomposición de los residuos sólidos son fundamentalmente bacterias y hongos, que mantienen su actividad en un determinado intervalo de temperatura; de esta forma, se pueden distinguir

microorganismos mesófilos, que desarrollan su actividad entre 15 y 45°C, y termófilos, que desarrollan su actividad entre 45 y 70°C.

Tan pronto como se ha apilado la materia orgánica comienza la actividad microbiana, si las condiciones son las adecuadas. El síntoma más claro de esta actividad es el incremento de temperatura en toda la masa. La velocidad con que se incrementa la temperatura depende del tipo de material a compostar y de los factores ambientales, pero en general se considera que, como mínimo, a los dos días de haberse hecho la pila con los residuos la temperatura puede haber llegado a los 55°C. El grupo que resulta favorecido por una temperatura concreta descompondrá la materia orgánica del residuo a compostar, utilizándola como fuente de energía y desprendiendo como consecuencia calor.

Aunque en principio podría parecer interesante que la temperatura no superase los 40-60°C, óptimo biológico de los microorganismos termófilos, en la práctica se hace necesario que se alcancen temperaturas más elevadas y que éstas se mantengan a fin de eliminar parásitos y microorganismos patógenos.

Humedad

Teóricamente, una descomposición aeróbica puede realizarse entre unos valores de humedad del 30-70%, siempre que se pueda asegurar una buena aireación, que dependerá tanto del método empleado para ello como de la textura del residuo a compostar. En la práctica, se ha de evitar una humedad superior al 60% porque el agua desplazaría el aire del espacio entre las partículas del residuo y el proceso viraría hacia reacciones anaerobias. Por otra parte, si la humedad baja del 40%, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retrasa. Por ello un intervalo entre el 40-60% es el adecuado para la mayoría de residuos a compostar.

pH

El pH influye en el proceso de compostaje a causa de su acción sobre los microorganismos. En general, los hongos toleran un amplio margen de pH, que va desde 5 hasta 8, mientras que el margen para las bacterias es más estrecho, ya que oscila entre 6 y 7,5. El pH inicial del proceso dependerá del tipo de residuo o mezcla de residuos a compostar y, generalmente, a lo largo del proceso se manifiesta una progresiva alcalinización del medio.

Oxígeno

Con el fin de conseguir un buen y rápido compostaje, y a la vez evitar malos olores, es imprescindible asegurar la presencia de oxígeno, necesario para la evolución del proceso termófilo aeróbico. El oxígeno ha de ser suficiente para mantener la actividad microbiana y en ningún caso debe llegarse a condiciones anaerobias ya que, aparte de una caída en el rendimiento, se producirían malos olores. Para conseguir una buena distribución del oxígeno en toda la masa se hace necesaria la adición de un material de soporte (triturado de poda o madera) que proporcione estructura y porosidad al residuo a compostar o algún otro sistema de aireación.

Balance de nutrientes

El balance de nutrientes de un compost es importante para que funcione el proceso y para que se aprovechen y retengan al máximo los mismos. Se ha de conseguir un equilibrio entre los nutrientes, más que un determinado contenido.

Para el desarrollo y la reproducción de todos los organismos se necesita un soporte de elementos que componen su material celular o que entren en su actividad biológica, bien como fuente de energía o bien como constituyentes enzimáticos. La cantidad necesaria de elementos varía de unos a otros pero se ha de mantener una relación entre ellos. El mantenimiento de este balance es especialmente importante para el carbono y el nitrógeno, ya que generalmente los otros nutrientes están presentes en cantidades adecuadas en la mayoría de residuos.

La cantidad de carbono necesaria es considerablemente superior a la de nitrógeno, ya que los microorganismos lo utilizan como fuente de energía, con desprendimiento de dióxido de carbono, y porque está presente en el material celular en una cantidad muy superior a la del nitrógeno. Un exceso de nitrógeno resulta en un incremento del crecimiento bacteriano, y una aceleración de la descomposición de la materia orgánica; sin embargo, este exceso de actividad provoca un déficit en oxígeno por lo que el proceso se vuelve anaerobio. En cambio, la falta de nitrógeno resulta en un deficiente crecimiento del cultivo microbiano por lo que la velocidad de descomposición se ve disminuida.

Se considera que una relación carbono/nitrógeno de 25 - 35 es la adecuada, ya que los microorganismos consumen aproximadamente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno.

Efectos sobre la salud

Los efectos sobre la salud en trabajadores de plantas de compostaje se hallan relacionados mayoritariamente con su exposición a agentes biológicos en forma de aerosoles (bioaerosoles). Distintos estudios han observado la aparición en estos trabajadores del denominado síndrome tóxico del polvo orgánico que se ha asociado con la exposición permanente en este tipo de instalaciones a una gran variedad de bacterias, sobretodo gram negativo, hongos y endotoxinas que se pueden liberar al ambiente durante el proceso.

Este síndrome se caracteriza por la aparición en los trabajadores de dolor de cabeza, síntomas similares a los de una gripe (por ejemplo, fiebre) así como irritación de los ojos y del tracto respiratorio superior, fatiga, náuseas y diarrea. Estos síntomas pueden aparecer poco tiempo después de iniciar la jornada de trabajo y a menudo han desaparecido al día siguiente.

También se han producido incrementos significativos en la frecuencia de aparición de trastornos gastrointestinales (náuseas, vómitos o diarreas) entre trabajadores de plantas de compostaje. Asimismo, dos estudios muestran la aparición en un caso, de alveolitis alérgica

y aspergillosis invasiva por *Aspergillus fumigatus* y, en otro, de pneumonitis hipersensitiva.

En todos los casos, las mediciones ambientales efectuadas revelaron la presencia de elevadas concentraciones de esporas fúngicas, bacterias gram negativo y endotoxinas, indicando que ésta puede ser la causa de los síntomas pulmonares; por otro lado, es conocido que las endotoxinas producidas por las bacterias gram negativo pueden ocasionar fiebre y problemas respiratorios así como diarreas y trastornos gastrointestinales.

En cualquier caso, es importante señalar que los efectos sobre la salud parecen ser debidos a la naturaleza del propio proceso de compostaje y son independientes del tipo de residuos tratados.

Evaluación de la exposición a agentes químicos

El principal problema de las plantas de compostaje aeróbico son los olores provocados por la emisión al ambiente de compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta emisión se puede iniciar ya con la recepción de los residuos a la planta y sobre todo en las fases iniciales del proceso de compostaje. Además, en el caso de producirse condiciones anaerobias de los residuos a compostar, debido a una incompleta o insuficiente aireación, se producirán compuestos de azufre de olor intenso, mientras que una degradación aeróbica incompleta resultará en la emisión de alcoholes, cetonas, ésteres y ácidos orgánicos; por otro lado, un balance de nutrientes equivocado puede dar lugar a emisiones de COV y amoníaco, habiéndose medido concentraciones de 4,2 mg/m³ de éste último.

Por lo tanto, la principal vía de exposición en los trabajadores de este tipo de instalaciones a estos agentes químicos es la inhalatoria.

A pesar de conocer la posibilidad de emisión al ambiente de estos agentes químicos, no existe mucha información respecto a la determinación de COV en operaciones de compostaje. Distintos estudios han determinado, entre otros, diacetilo, tetracloroetileno y benzaldehído. Asimismo, se han identificado limoneno y α -pineno como los COV más importantes en cuanto su relación con los olores que se detectan en plantas de compostaje.

Por otro lado, en el caso de producirse condiciones anaerobias, por una mala oxigenación de los residuos a compostar, se ha detectado la aparición de cuatro compuestos de azufre: ácido sulfhídrico, metanotiol, sulfuro de dimetilo y disulfuro de dimetilo. Las mediciones ambientales llevadas a cabo han mostrado concentraciones superiores a 5 mg/m³ de metanotiol y 2,8 mg/m³ de ácido sulfhídrico durante las primeras dos semanas de almacenamiento de residuos orgánicos.

Otros compuestos orgánicos volátiles que también se han hallado en este tipo de instalaciones han sido: benceno, tolueno, clorobenceno, xileno, estireno, naftaleno, 1,1-dicloroetano, tricloroetileno, tetracloroetileno, cloruro de metileno, cloroformo, disulfuro de carbono y tetracloruro de carbono.

Las conclusiones de un estudio realizado en ocho instalaciones de compostaje de residuos sólidos orgánicos evaluando COV indican que:

- se produce una gran similitud de resultados, independientemente de las características operativas de cada planta
- la mayor parte de COV se concentra en los depósitos de material fresco, en las trituradoras y en la parte inicial del proceso de compostaje
- desde el punto de vista laboral, todas las concentraciones de COV determinadas permanecieron por debajo de los valores límite de exposición ocupacional utilizados como referencia.

Criterios de valoración

Una vez se han obtenido las concentraciones ambientales de los distintos contaminantes evaluados, la valoración se realiza por comparación con los criterios de referencia, que normalmente toman la forma de Valores Límite Ambientales (VLA). En España, la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo recomienda la aplicación de los límites de exposición indicados en una guía elaborada por el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) y denominada "Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España". Asimismo, el Real Decreto 374/2001 de 6 de Abril sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo cita explícitamente este documento como referencia a utilizar para evaluar los riesgos por exposición a agentes químicos.

Evaluación de la exposición a agentes biológicos

En relación a la exposición a agentes biológicos, el Real Decreto 664/97, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, en su artículo 4, punto 5 indica: si los resultados de la evaluación revelan que la actividad no implica la intención deliberada de manipular agentes biológicos o de utilizarlos en el trabajo pero puede provocar la exposición de los trabajadores a dichos agentes, como puede suceder durante el trabajo en unidades de eliminación de residuos, se aplicarán las disposiciones de los artículos 5 al 13 de este Real Decreto, salvo que los resultados de la evaluación lo hiciesen innecesario.

Entre la variedad de microorganismos aerobios mesófilos y termófilos que se han descrito en plantas de compostaje, se pueden diferenciar tres situaciones:

- Microorganismos presentes ya en el material a compostar; constituido principalmente por bacterias entéricas.
- Microorganismos que se desarrollan durante el proceso de compostaje; principalmente formado por bacterias, hongos y actinomicetos.
- Endotoxinas, producidas por bacterias gram negativo.

Se han detectado en plantas de compostaje elevadas concentraciones ambientales, en forma de bioaerosoles, de esporas fúngicas, bacterias gram negativo, actinomicetos termófilos y endotoxinas, por lo que la principal vía de exposición es la inhalatoria.

Los distintos estudios ambientales realizados muestran que las concentraciones de hongos halladas en distintas partes del proceso varían entre 10^5 y 10^7 ufc (unidades formadoras de colonias) por m^3 ; las concentraciones de bacterias gram negativo que se han determinado en la mayoría de estudios superan las 10^4 ufc/ m^3 ; en cuanto a actinomicetos termófilos, se han determinado concentraciones entre 10^5 y 10^8 ufc/ m^3 . Las concentraciones de endotoxinas en aire se hallan en la mayoría de estudios alrededor de 30-40 ng/ m^3 aunque en algún caso se han superado los 3000 ng/ m^3 .

Estas diferencias obtenidas en las concentraciones ambientales de los distintos microorganismos en los diferentes estudios realizados pueden ser debidas a diferencias en el tipo de planta de compostaje, pero no hay que descartar que se deban a variaciones en la estrategia de muestreo y en el método analítico empleado.

En la tabla 1 se muestran los principales microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos. Entre todos estos microorganismos, hay que destacar *Aspergillus fumigatus*, hongo patógeno oportunista, considerado como un importante factor de riesgo para la salud, asociado al desarrollo de asma, alveolitis y diversas infecciones, que se ha detectado en la totalidad de estudios realizados en plantas de compostaje en concentraciones superiores a 10^5 ufc/ m^3 .

Por este motivo, distintos trabajos sugieren la posibilidad de considerar la presencia y concentración de *Aspergillus fumigatus* como un indicador biológico de la presencia de otros microorganismos potencialmente patógenos en el ambiente.

TABLA 1
Principales microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos sólidos

Bacterias	Hongos	Actinomicetos
Acinetobacter	Acremonium	Actinomyces
Enterobacter	Alternaria	Nocardia
Escherichia coli	Aspergillus flavus	Thermoactinomyces
Klebsiella	Aspergillus fumigatus	Thermomonospora
Pseudomonas	Cladosporium	
Salmonella	Fusarium	
Serratia	Geotrichum	
Shigella	Mucor	
Staphylococcus	Penicillium	
Streptococcus	Rhizopus	
Yersinia	Stachybotrys	

En este sentido, la Guía Técnica del INSHT para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos, en su apéndice 3 (identificación y evaluación de agentes biológicos en los lugares de trabajo) propone que el procedimiento a seguir para la identificación de los microorganismos podría efectuarse utilizando el estudio de indicadores que, de forma gradual (de globales a individuales), pongan de manifiesto la exposición a agentes biológicos; en el caso de las plantas de compostaje, propone como posibles indicadores: a) globales: bacterias / hongos; b) de grupo: gram positivo, gram negativo, endotoxinas, bacterias formadoras de esporas y actinomicetos; c) individuales: *Aspergillus fumigatus*.

Criterios de valoración

A diferencia que para los agentes químicos, para los agentes biológicos ningún organismo ha establecido valores límite de exposición. Según la Comisión para los Bioaerosoles de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) un valor límite de exposición general para la concentración de bioaerosoles cultivables o contables no tiene una justificación científica.

En cualquier caso, el nivel máximo tolerable sería aquél a partir del cual se manifiestan los efectos tóxicos o alérgicos, o se produce una enfermedad. Sin embargo, no existen suficientes estudios que correlacionen niveles de exposición y efectos producidos. Además, en muchos casos, el riesgo para la salud no dependerá únicamente de las condiciones ambientales en que se desarrollan las operaciones, sino que también hay que tener en cuenta la susceptibilidad, predisposición o inmunización de las personas que desarrollan su actividad en ese ambiente; así por ejemplo, se ha observado como individuos con un historial de asma, alergias respiratorias crónicas o patologías pulmonares, son más susceptibles a respuestas alérgicas o infecciones por *Aspergillus fumigatus*.

Todo esto pone de manifiesto la dificultad a la hora de afrontar la evaluación de riesgos en el caso de la exposición a agentes biológicos.

No obstante se han sugerido distintos valores límite referidos a la concentración ambiental de bioaerosoles en el lugar de trabajo, y que pueden ser aplicables a plantas de compostaje, sin olvidar en ningún caso que se trata de valores tan sólo indicativos; de esta forma, para el polvo orgánico total el valor propuesto es de 3 mg/ m^3 , para bacterias totales y hongos es de 10^4 ufc/ m^3 y para bacterias gram negativo 10^3 ufc/ m^3 . En el caso de endotoxinas, se han sugerido valores límite entre 100 y 200 ng/ m^3 .

Otros valores recomendados han sido entre 10^3 y 5×10^3 ufc/ m^3 para bacterias totales; 10^3 ufc/ m^3 para bacterias gram negativo y $5-10 \times 10^3$ ufc/ m^3 para microorganismos totales. Finalmente otros trabajos sugieren concentraciones de 2×10^4 ufc/ m^3 tanto para bacterias gram negativo como para actinomicetos termófilos, y 10^5 ufc/ m^3 para microorganismos totales.

Prevención de la exposición

Las medidas preventivas a adoptar deberían intentar en primera instancia, evitar la dispersión de aerosoles y polvo orgánico al ambiente de trabajo. La dificultad de prevenir esta dispersión, debido a las características del proceso de compostaje, puede provocar la necesidad de adoptar medidas destinadas a la protección de los trabajadores.

Protección colectiva

- Reducción del polvo en el lugar de trabajo, por medio de una ventilación eficaz y sistemas de extracción localizada.
- Proveer a las cabinas de los vehículos empleados (volteadora, pala cargadora, etc) de ventilación a través de filtros que impidan la entrada de microorganismos al interior, así como un adecuado mantenimiento de los mismos.

Organización del trabajo

- Establecimiento de procedimientos de trabajo adecuados.
- Reducción, al mínimo posible, del número de trabajadores que estén o puedan estar expuestos.
- Medidas de protección colectiva o cuando no sea posible de protección individual.
- Vigilancia de la salud de los trabajadores.
- Vacunación de los trabajadores expuestos a agentes biológicos.

Medidas higiénicas

- No comer, beber o fumar en las zonas de trabajo.
- Evitar tocarse los ojos, nariz o boca con los dedos.
- Lavarse las manos antes de comer o fumar.
- Proveer a los trabajadores de ropa y calzado de trabajo adecuado y determinar, según las condiciones de trabajo que se recojan en la evaluación de riesgos, una periodicidad de cambio de estas prendas, que puede ser desde semanal hasta, en caso necesario, diario.
- Protección de la cabeza mediante gorro o similares para evitar la deposición y acúmulo de polvo.
- Disponer de zonas de aseo apropiadas y adecuadas para uso de los trabajadores, que incluyan productos para la limpieza ocular y antisépticos para la piel.
- Tiempo para el aseo personal incluido en la jornada laboral (diez minutos antes de la comida y otros diez minutos antes finalizar la jornada).
- Disponer de lugares para guardar la ropa de trabajo separados de la ropa u otras prendas personales.
- Disponer de lugares adecuados para guardar los equipos de protección y verificar que éstos se limpian y se mantienen correctamente.
- Prohibición expresa que los trabajadores se lleven la ropa y el calzado de trabajo a su domicilio.
- Al salir de la zona de trabajo, el trabajador deberá quitarse la ropa de trabajo y los equipos de protección personal que puedan estar contaminados por agentes biológicos y deberá guardarlos en lugares que no contengan otras prendas.

Protección individual

- Guantes impermeables en operaciones que impliquen la manipulación de residuos y operaciones de limpieza.
- Mascarillas autofiltrantes apropiadas contra bioaerosoles (preferentemente de tipo FFP3).
- Gafas ajustadas (tipo cazoleta).

Medidas de carácter general

- Información y formación. Asegurarse que los trabajadores conocen, mediante una información y formación adecuada y suficiente, los riesgos potenciales para su salud, las vías de entrada de los distintos agentes, las precauciones que deben tomar para prevenir esta exposición, las disposiciones en materia de higiene, y la utilización de ropa de trabajo y equipos de protección individual.

Bibliografía

1. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS 2002 Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, OH (2002).
2. BEFFA, T. et al. Mycological control and surveillance of biological waste and compost. *Medical Mycology*, 36, Suppl. I: 137-145 (1998).
3. BÜNGER, J. et al. Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among biowaste collectors and compost workers. *Occup. Environ. Med.* 57: 458-464 (2000).
4. CLARK, C. S., et al. Levéis of gram-negative bacteria, *Aspergillus fumigatus*, dust, and endotoxin at compost plants. *Appl. and Environ. Microb.*, 45 (5): 1501-1505 (1983).
5. DEPORTES, I. et al. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *The Sci. of the Total Environ.* 172: 197-222 (1995).
6. HASSEN, A. et al. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Biores. Technol.*, 80: 217-225 (2001).
7. HEIDA, H. et al. Occupational exposure and indoor air quality monitoring in a composting facility. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 56 (1): 39-43 (1995).
8. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos.
9. SANTA COLOMA, O. et al. Control de olores en plantas de compostaje. *Residuos*, 54: 72-76 (2000).

10. SMET, E. et al. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting biowaste. *Atmospheric Environment* 33: 1295-1303 (1999).
11. TOLVANEN, O. K. et al. Occupational hygiene in biowaste composting. *Waste Manage. Res.* 16 (6): 525-540 (1998).
12. REAL DECRETO 664/1997 de 12 de Mayo (M. de la Presidencia B.O.E. 24-5-1997). Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
13. REAL DECRETO 374/2001 de 6 de Abril (M. de la Presidencia B.O.E. 1-5-2001). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.