

Residuos sólidos urbanos: riesgos laborales en plantas de compostaje (I)

Déchets ménagers: risques du travail dans les centres de compostage (I)
Municipal solid waste: occupational risks in compost plants (I)

Redactores:

Xavier Solans Lampurlanés
Licenciado en Ciencias Biológicas

Enrique Gadea Carrera
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Alfonso Mansilla Ordóñez
Licenciado en Ciencias Biológicas

DEPARTAMENTO DE PREVENCIÓN GRUPO CESPA
DIRECCIÓN GENERAL SERVICIOS FERROVIAL

Dentro de la colección de Notas Técnicas de Prevención sobre gestión y tratamiento de residuos, que se inició con la n° 675 "Riesgos laborales en empresas de gestión y tratamiento de residuos: clasificación y actividades", en esta Nota Técnica se identifican los riesgos laborales a los que pueden estar expuestos los trabajadores que desarrollan su actividad en una planta de compostaje de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM), asociándolos a las distintas operaciones que se realizan.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

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 y 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 y 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.

2. COMPOSTAJE DE RESIDUOS

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 consta de dos fases:

- *Fase termófila.* En esta etapa se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar. Al alcanzar una temperatura alrededor de 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.
- *Fase de maduración.* En esta etapa ya no se producen variaciones tan acusadas de temperatura como las 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.

La maduración puede considerarse como el complemento final del proceso de fermentación, disminuyendo la actividad metabólica con la cual cesa la demanda de oxígeno y permitiendo alcanzar el equilibrio biológico deseado del material.

Tan pronto como se ha apilado la materia orgánica o se ha introducido en un sistema cerrado, si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. El síntoma más claro del inicio de esta actividad es el incremento de la temperatura en toda la masa; la velocidad como se incrementa la temperatura depende del tipo de material a compostar y de los factores ambientales, pero en general se puede decir que como mínimo a los dos días de haberse hecho la pila la temperatura puede haber llegado a los 55°C.

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.

Los residuos tratados en estas plantas son:

- Restos vegetales (restos de poda)
- Residuos orgánicos de origen municipal (fracción orgánica de recogida municipal), comercial, industrial o agrícola.

Estos dos tipos de residuos, primero deben mezclarse completamente; se necesita esta mezcla para equilibrar la relación de nitrógeno y carbono, distribuir homogéneamente la humedad en la masa a compostar, asegurar la presencia de oxígeno y esponjar el conjunto.

Otros residuos que también se pueden tratar mediante este sistema son los lodos provenientes de plantas depuradoras de aguas residuales (EDAR), estiércol, etc.

3. SISTEMAS DE COMPOSTAJE

Los diferentes sistemas de compostaje pretenden, en todos los casos, conseguir una aireación óptima de los residuos y alcanzar temperaturas termófilas. Se puede considerar que un sistema es efectivo cuando, además de transformar los residuos, los ha sometido durante un tiempo suficiente a las condiciones consideradas letales para los microorganismos patógenos.

Los principales sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos:

- Sistemas abiertos: basados en el compostaje en 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) de diferentes formas y con diferentes sistemas de aireación.
- Sistemas cerrados: basados en la utilización de un reactor o digestor o compostaje acelerado.

Sistemas abiertos

Es el sistema más generalizado. Se basa en la realización de pilas con diferentes sistemas de aireación.

Compostaje en pilas dinámicas

Los materiales a compostar se apilan directamente sobre el suelo, sin comprimirlos excesivamente a fin de permitir que el aire quede retenido en su interior. El tamaño y la forma de la pila se diseñan para permitir la circulación del aire a lo largo de la pila, manteniendo las temperaturas en la gama apropiada. Es preferible que los montones sean alargados, ya que es la altura y no la longitud el parámetro que se convierte en crítico; si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro y además puede comprimirse por su propio peso, mientras que si son demasiado pequeñas

no se calentarán adecuadamente. El tamaño óptimo varía con el tipo de material y la temperatura ambiente.

Una vez constituida la pila, es necesario el volteo o mezclado de la misma. Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con la que se desea realizar el proceso. Para establecer esta frecuencia es preciso controlar la temperatura (una bajada en los primeros días puede indicar la necesidad de aireación) o si se desprenden malos olores (indicador de una descomposición anaeróbica).

Normalmente es habitual realizar un volteo cada 6-10 días. El volteo sirve para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el calor excesivo, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5-10°C, subiendo de nuevo en el caso que el proceso no haya terminado.

Una vez finalizada esta etapa, los residuos pasan a la fase de maduración.

Compostaje en pilas estáticas ventiladas

El material a compostar se coloca sobre un conjunto de tubos perforados o una solera porosa conectados a un sistema de extracción de aire a través de la pila.

Cuando la temperatura del material excede el óptimo, unos sensores que controlan el ventilador lo activan para que se inyecte el aire necesario para enfriar la pila, abasteciéndola a la vez de oxígeno.

El proceso suele durar entre 4-8 semanas y, al igual que en el caso anterior, posteriormente se pasan los residuos a la etapa de maduración.

Sistemas cerrados

Se basa en la utilización de un reactor o digestor en el que se mantienen las condiciones aeróbicas por los mismos métodos que en las pilas, es decir, con volteos continuos, con aireación forzada o los dos métodos a la vez. 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 del proceso, son más rápidos y requieren menos espacio para tratar el mismo volumen de residuos.

Las variables de proceso tales como contenido de humedad, composición de nutrientes, temperatura, pH, cantidad de gas, tiempo de retención, etc, pueden ser controladas, dirigidas y optimizadas. Esto conlleva a una degradación más rápida y completa con una mínima contaminación de los alrededores.

Sin embargo, normalmente el compost que se produce en el interior del reactor o digestor no alcanza un correcto estado de maduración, por lo que posteriormente se le somete también a un proceso de compostaje en pilas de poca duración que recibe el nombre de maduración.

Compostaje en tambor

El proceso de compostaje tiene lugar en un tambor de rotación lenta. Estos tambores pueden trabajar en continuo o por cargas y pueden ser de diferentes tamaños y formas.

Compostaje en túnel

El proceso tiene lugar en un túnel cerrado, generalmente fabricado en hormigón, con una vía de ventilación con-

trolada por impulsión o aspiración para el aporte de oxígeno. A diferencia del método anterior, aquí el residuo se mantiene estático.

Compostaje en contenedor

Similar al sistema anterior, pero en este caso el compostaje se realiza en contenedores de acero. A menudo es un proceso continuo, con carga del material a compostar en la parte superior y descarga por la inferior.

Compostaje en nave

El proceso de compostaje tiene lugar en una nave cerrada. La ventilación se realiza mediante una placa en la base y/o con ayuda de diferentes unidades rotativas (volteadoras). Las plantas modernas están totalmente automatizadas y equipadas con volteadoras, las cuales se mueven mediante grúas elevadoras y pueden alcanzar el compostaje total del área de la nave.

Calidad sanitaria del compost

Los diferentes sistemas de compostaje de residuos pretenden conseguir en todos los casos una aireación óptima y llegar a las temperaturas termófilas, a fin de conseguir eliminar los microorganismos patógenos durante el proceso, ya que muchos de los residuos a compostar pueden contenerlos, pero difieren en el grado en que consiguen sus objetivos.

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.

Sólo si la actividad de compostaje presenta zonas de anaerobiosis más o menos grandes y, por tanto, con temperaturas más bajas podrían aparecer problemas sanitarios en su aplicación.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Como ya se ha visto, se pueden distinguir dos tipos de sistemas de compostaje: abierto y cerrado, que se diferencian básicamente en la manera de realizar la fase termófila del proceso. Sin embargo, las operaciones que se realizan en los dos sistemas son similares. El esquema general del proceso se muestra en la figura 1.

Sólo en el caso del compostaje en nave el proceso es automatizado prácticamente en su totalidad, con una mínima intervención de los trabajadores, que realizan tareas básicamente de verificación de su correcto funcionamiento.

Recepción y descarga de residuos

El camión con los residuos es pesado y pasa a la zona de descarga, que puede tratarse tanto de un foso como de una playa de descarga, donde se realiza la operación de descarga.

Separación manual de elementos voluminosos

En el caso que se reciban residuos procedentes de la recogida selectiva de residuos sólidos urbanos (fracción orgánica seleccionada en origen), tras la descarga, y mediante una pala cargadora, se extienden estos residuos y un operario se encarga de retirar de forma manual aquella fracción no orgánica más evidente o voluminosa.

Cuando los residuos consisten en restos vegetales (fracción vegetal), procedentes en su mayoría de restos de poda, tras su descarga, con ayuda de una pala cargadora, se introducen en una máquina trituradora.

Pretratamiento (fracción orgánica)

Esta operación tiene la finalidad de reducir el contenido en materiales impropios. La fracción orgánica de los residuos pasa a la zona de pretratamiento donde, mediante un sistema de cribas tipo trómel (criba de tambor giratorio), mesas densimétricas, etc. se realiza la separación

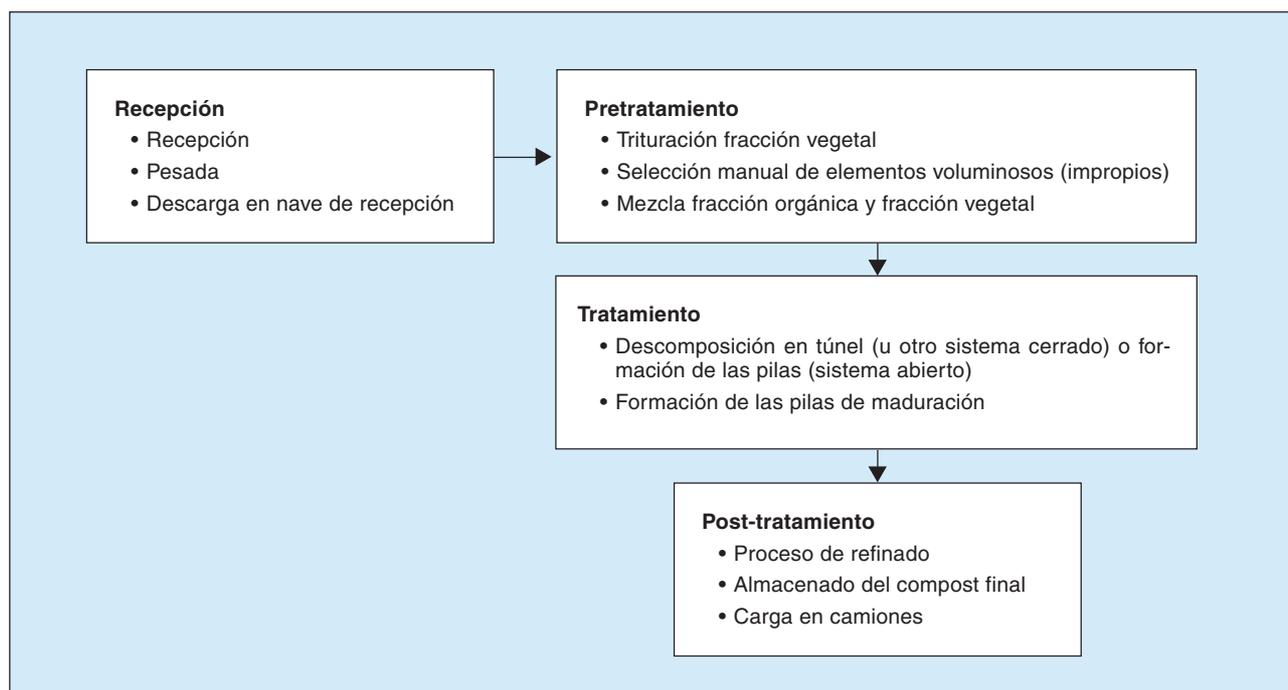


Figura 1. Esquema general de las operaciones realizadas en una planta de compostaje de residuos orgánicos

de aquellos elementos no orgánicos (fracción de rechazo). Esta fracción de rechazo es conducida a un compactador para su posterior envío a depósito controlado. En caso de recibir residuos no seleccionados previamente en origen, se realiza un proceso de selección a fin de separar plástico, cartón, vidrio, etc. y dejar únicamente la fracción orgánica. Este proceso de selección de residuos se comenta en la Nota Técnica de Prevención 710.

Mezclado fracción orgánica y fracción vegetal

Mediante una pala cargadora, se introduce, en las proporciones apropiadas, la fracción orgánica y la fracción vegetal en una mezcladora, a fin de conseguir una homogeneización del material a compostar.

Esta operación de mezclado también puede realizarse únicamente con ayuda de la pala cargadora.

Carga del túnel (sistema cerrado)

La pala cargadora introduce el material a compostar en un túnel de compostaje. En su interior, el residuo sufre la fase termófila del proceso.

El proceso de fermentación en el interior del túnel es controlado de forma automática mediante sondas que valoran la temperatura de la pila, la humedad y las concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono, amoníaco, temperatura y actividad del sistema de ventilación; en función de estas variables, se regula el caudal de aire que se hace pasar por el material a compostar y el riego dentro del túnel, de forma que el proceso de compostaje se desarrolla de forma controlada.

El aire extraído del túnel se trata, y se hace pasar finalmente por un biofiltro, formado por capas alternas de material orgánico ya compostado de diferentes granulometrías y por restos vegetales.

Esta primera fase del proceso suele durar 2 semanas. Finalizado el proceso, se abren las puertas del túnel y se conecta el sistema de ventilación previamente a la entrada al mismo.

Formación de las pilas (sistema abierto)

En este caso, el material a compostar se dispone en forma de pilas, donde se produce la primera fase de la fermentación o fase termófila (con incremento de la temperatura de la pila).

Las pilas se remueven mediante una volteadora a fin de oxigenarlas y favorecer que se realice la fermentación del residuo por parte de los microorganismos; por otro lado, se riegan para mantener la humedad. Esta fase se suele prolongar de forma variable hasta dos meses.

Transcurrido este tiempo, se realizan las pilas de maduración.

Descarga del túnel (sistema cerrado). Pilas de maduración.

Finalizado el proceso de fermentación en túnel, se retira el material con ayuda de una pala cargadora y se transporta a la zona de maduración, donde se deposita el residuo en forma de pilas (pilas de maduración).

En el caso de sistemas abiertos, el material apilado de la fase termófila se transporta a la zona de maduración mediante pala cargadora, donde se forman también las pilas de maduración.

Al igual que en la fase termófila del compostaje abierto,

estas pilas se remueven periódicamente mediante la volteadora (véase fig. 2).



Figura 2. Volteo de las pilas mediante volteadora

Refino del compost

Finalizado el proceso de maduración, el compost pasa al área de refino (véase fig. 3) donde se realiza la separación de impurezas que pudieran quedar (piedras, fragmentos de vidrio, trozos de plástico, etc.), restos de la fracción vegetal de mayor tamaño y se consigue la homogeneización del compost final, a fin de obtener un producto final con un aspecto fino y uniforme.

El compost se introduce en una tolva, con la pala cargadora, que alimenta la cinta transportadora que lo llevará hasta un equipo de cribado (mesas densimétricas, etc) donde se separan las distintas fracciones; la fracción de rechazo, formada por impurezas, se envía posteriormente a un depósito controlado y los restos vegetales más gruesos se vuelven a introducir al inicio del proceso de compostaje.



Figura 3. Nave de refino

Almacenamiento y carga del compost

El compost final obtenido se almacena hasta el momento de su venta o aplicación al terreno.

Operaciones de acabado

En función del destino final del producto, o atendiendo a los requerimientos del cliente, el compost se puede mezclar con arena, tierra, turba, etc. para conseguir el producto deseado. Esta mezcla se realiza mediante pala cargadora.

Operaciones de toma de muestras del compost

De forma periódica, y durante todo el proceso de compostaje, se toman muestras de los residuos a fin de controlar que el proceso se desarrolla correctamente y se analizan en el laboratorio de la propia instalación.

Los parámetros que se analizan son: humedad, pH, conductividad, materia orgánica, amoníaco, nitrógeno, carbono, macronutrientes y micronutrientes (potasio, fósforo, calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso) y metales pesados (zinc, cobre, plomo, níquel, cadmio).

Operaciones de desatascado de equipos

Puede suceder que, debido a la presencia de impurezas que entran en el proceso, los equipos de trabajo puedan

sufrir un atasco; en este caso son los mismos trabajadores los que se encargan de realizar el desatascado.

Operaciones de mantenimiento

Incluye, entre otros, la realización de los siguientes trabajos:

- Mantenimiento básico de los equipos de trabajo.
 - Comprobación y rellenado de niveles de aceite.
 - Tensado de correas y cintas.
 - Limpieza de rodillos de cintas.
 - Comprobación de los sistemas de seguridad de los equipos de trabajo.
- Mantenimiento básico de pala cargadora y volteadora.

| OPERACIÓN | RIESGOS | |
|---|---|---|
| DESCARGA DE RESIDUOS / CARGA DEL COMPOST | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de personas a distinto nivel. • Caída de objetos desprendidos. • Pisadas sobre objetos. • Proyección de fragmentos o partículas. • Atrapamiento por o entre objetos. | <ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos. • Exposición a sustancias nocivas o tóxicas. • Atropellos o golpes con vehículos. • Exposición a agentes biológicos. |
| SELECCIÓN MANUAL DE ELEMENTOS VOLUMINOSOS | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de personas al mismo nivel. • Caída de objetos en manipulación. • Pisadas sobre objetos. | <ul style="list-style-type: none"> • Golpes/cortes por objetos o herramientas. • Sobreesfuerzos. |
| TRITURACIÓN FRACCIÓN VEGETAL Y MEZCLADO DE LA FRACCIÓN VEGETAL Y LA FRACCIÓN ORGÁNICA | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de objetos desprendidos. • Proyección de fragmentos o partículas. | <ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento por o entre objetos. • Exposición a ruido. |
| AFINO | <ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento por o entre objetos. • Exposición a ruido. | <ul style="list-style-type: none"> • Exposición a agentes químicos: polvo. |
| ALMACENAMIENTO COMPOST | <ul style="list-style-type: none"> • Atropellos o golpes con vehículos. | |
| TOMA DE MUESTRAS | <ul style="list-style-type: none"> • Pisadas sobre objetos. • Golpes/cortes por objetos o herramientas. | <ul style="list-style-type: none"> • Exposición a sustancias nocivas o tóxicas. |
| PALA CARGADORA / VOLTEADORA | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de personas a distinto nivel. • Caída de objetos desprendidos. • Choques contra objetos inmóviles. • Proyección de fragmentos o partículas. • Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos. | <ul style="list-style-type: none"> • Exposición a sustancias nocivas o tóxicas. • Incendios. • Atropellos o golpes con vehículos. • Exposición a agentes biológicos. |
| MANTENIMIENTO, LIMPIEZA Y DESÁTASCADO DE EQUIPOS | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de personas a distinto nivel. • Caída de objetos en manipulación. • Caída de objetos desprendidos. • Pisadas sobre objetos. • Golpes/cortes por objetos o herramientas. • Proyección de fragmentos o partículas. | <ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento por o entre objetos. • Sobreesfuerzos. • Contactos eléctricos. • Exposición a sustancias nocivas o tóxicas. • Exposición a agentes químicos. • Exposición a agentes biológicos. |
| INESPECÍFICOS | <ul style="list-style-type: none"> • Caída de personas al mismo nivel. • Caída de objetos desprendidos. • Contactos eléctricos • Incendios. • Explosiones. | <ul style="list-style-type: none"> • Accidentes causados por seres vivos. • Atropellos o golpes con vehículos. • Exposición a agentes químicos. • Exposición a agentes biológicos. |

Tabla 1. Principales riesgos laborales identificados en una planta de compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales (FORM).

- Reparación de pequeñas averías que puedan surgir.

Operaciones de limpieza

Los trabajos de limpieza que se pueden realizar en este tipo de plantas consisten en:

- Limpieza en las distintas estructuras de la planta.
- Limpieza manual de cintas transportadoras, túneles, cribas y equipos de trabajo.
- Limpieza manual o con agua a presión de los distintos equipos de trabajo e instalaciones que componen la planta.
- Limpieza de los aspersores de los túneles.
- Limpieza de los residuos sólidos de arquetas, etc.

Riesgos inespecíficos

Se incluyen en este punto aquellos riesgos que no se pueden asociar a un área u operación concreta, sino que pueden afectar al conjunto de la instalación de forma general. Por lo tanto, se entiende que estos riesgos pueden presentarse independientemente de la operación que se realice y pueden afectar tanto al conjunto de los trabajadores de la planta como a cualquier otra persona (conductores, subcontratas, visitas, etc.) que pueda acceder a la misma.

5. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Una vez conocidas las distintas operaciones que se realizan en una planta de compostaje de residuos sólidos urbanos, se deben identificar los riesgos a los que pueden estar expuestos los trabajadores en el desarrollo de estas operaciones (véase tabla 1).

Esta identificación de riesgos pretende ser general, de forma que pueden hallarse en cualquier tipo de planta de compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales; es evidente que atendiendo a las características propias de la planta y la forma cómo se realicen las distintas operaciones pueden variar los riesgos.

Por otro lado, no se hace referencia a los riesgos derivados de actividades no propias o específicas de la instalación de tratamiento de residuos, como por ejemplo: oficinas, operaciones concretas de mantenimiento como soldadura, etc., ni las operaciones en laboratorio; en este caso, los riesgos potenciales a considerar serían los típicos de estas operaciones.

La relación de riesgos considerados se ha realizado de acuerdo con los códigos de forma de accidente recogidos en la Orden de 16 de diciembre de 1987 por la que se establecen modelos para la notificación de accidentes de trabajo y que se describen en la guía "Evaluación de las Condiciones de Trabajo en la PYME" publicada por el INSHT.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) DOMINGO, J. L. Y SCHUHMACHER, M.
Exposición a contaminantes químicos y biológicos a través del compost elaborado con la fracción orgánica de RSU. Riesgos sobre la salud
Residuos, N° 57: 72-77 (2002)
- (2) GADEA, E., GUARDINO, X. Y SOLANS, X.
Prevención de riesgos laborales en la gestión de residuos. Clasificación y actividades
NTP 675 - Notas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2004)
- (3) MARTH, E., REINTHALER F., SCHAFFLER K. ET AL.
Occupational health risks to employees of waste treatment facilities
Ann Agric Environ Med, 4: 143-147. (1997)
- (4) POULSEN, O. M., BREUM, N., EBBEHOJ N. ET AL.
Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes
The Sci Total Environ. 168: 33-56 (1995)
- (5) TOLVANEN, O., NYKÄNEN, NIVUKOSKI, U. ET AL.
Occupational hygiene in Finnish drum composting plant
Waste Manag, 25: 427-433. (2005)