

# TECNOLOGÍA DE BAJO COSTE PARA LA GESTION DE RESIDUOS URBANOS

## FUNDAMENTOS SOBRE COMPOSTAJE



# INDICE

INTRODUCCIÓN.....	pág. 3
CONDICIONES DE CONTROL.....	pág. 3
FASES DEL COMPOSTAJE.....	pág. 8
HIGIENIZACIÓN.....	pág. 10
CALIDAD.....	pág. 11
SISTEMAS DE COMPOSTAJE.....	pág. 12
MONTAJE.....	pág. 14
ESQUEMA.....	pág. 16

# FUNDAMENTOS SOBRE COMPOSTAJE

---

## INTRODUCCIÓN

El compostaje es un proceso biológico aerobio exotérmico, llevado a cabo por microorganismos que da lugar a una descomposición biológica y estabilización de un sustrato orgánico, obteniendo un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y que puede ser aplicado al suelo de forma beneficiosa.

El uso de esta tecnología puede ser un motivo de reciclaje y posterior reutilización de los residuos domésticos de las viviendas particulares, ya que una vez acabado el proceso de compostaje el material obtenido es un abono que cuenta con una gran cantidad de nutrientes para el terreno.

## CONDICIONES DE CONTROL

A la hora de empezar el proceso de compostaje hay varias condiciones que facilitan el control. Para un correcto desarrollo del proceso debemos conocer estas condiciones y saber utilizarlas a nuestro favor. A continuación se explican los parámetros que condicionan el proceso y cómo nos ayudan a controlar el mismo.

### HUMEDAD

Es importante mantener una humedad apropiada, ya que pequeñas variaciones de humedad pueden provocaban grandes cambios en la temperatura.

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, para que permita la circulación tanto del oxígeno, como la de otros gases producidos en la reacción.

La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%, si la humedad está por debajo del 30% se disminuye la actividad de los microorganismos, en cambio si está por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso. El exceso de humedad puede ser reducido con una mayor aireación. La humedad óptima depende del tipo de residuo.

<b>Material a compostar</b>	<b>Humedad (% en peso)</b>
<b>Teórico</b>	100
<b>Paja de cereal</b>	75-85
<b>Residuo forestal</b>	75-90
<b>Paja y restos de arroz</b>	75-85
<b>Residuo municipal</b>	55-65
<b>Deyecciones ganaderas</b>	55-65
<b>Fango digerido o fresco</b>	55-60
<b>Residuos urbanos y húmedos (RSU, FORM, césped...)</b>	50-55

## **TEMPERATURA**

A través de la temperatura podemos comprobar la eficiencia del proceso y controlar el grado de estabilización de ese preciso momento, ya que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica. Además como veremos posteriormente, las fases en las que se divide el proceso tienen rangos de temperaturas propios, con lo que midiendo la temperatura podemos comprobar la fase en la que nos encontramos del proceso de compostaje.

- Fase mesófila: menos de 45°C
- Fase termófila: más de 45°C
- Fase mesófila II: desciende nuevamente hasta los 45°C
- Fase de maduración: temperatura ambiente

A lo largo del proceso la temperatura aumenta y posteriormente vuelve a descender estabilizándose. Cuando comienza la actividad microbiana todo el material está a la misma temperatura, pero cuando se va descomponiendo la materia orgánica del residuo, se genera más calor.

Si el proceso se realiza a 53°C se consiguen eliminar la mayoría de los parásitos. Aunque si las temperaturas llegasen a ser demasiado altas podría inhibir el crecimiento de los propios microorganismos y no se llevaría a cabo el proceso.

Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura en el que su actividad es más alta y efectiva.

- Microorganismos mesófilos 15-40°C
- Microorganismos termófilos 40-70°C

## AIREACIÓN

La presencia de oxígeno en el proceso es fundamental, ya que los microorganismos que intervienen en él son aerobios. La necesidad de oxígeno varía durante el proceso, la mayor tasa de consumo se alcanza en la fase termófila. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, ni subir del 15%. Se debe mantener una adecuada aireación para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono a la atmósfera. Y evitando que el material se compacte o encharque.

El exceso de aireación provoca un descenso de la temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación. El enfriamiento de la masa y la alta desecación reducen la actividad metabólica de los microorganismos haciendo que el proceso de descomposición se detenga.

Por el contrario, una aireación insuficiente, impide la necesaria evaporación de agua, generando exceso de humedad y la sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición. Aparecen compuestos como el sulfuro de hidrógeno y metano que provocan acidez y malos olores.

Durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos.

## pH

El pH depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso, por lo que muchas veces se usa para estudiar la evolución del compostaje.

En la fase mesófila inicial, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. Eventualmente, esta bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaerobias, pues se formarán aún más cantidad de ácidos orgánicos. En la fase termófila, se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas, el pH sube. Y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad.

El pH es un factor muy importante ya que influye activamente sobre la acción microbiana, las bacterias y los hongos se desarrollan óptimamente a valores de pH diferentes. La mayor actividad bacteriana se produce a pH de 6,0 a 7,5, mientras que la mayor actividad de los hongos se produce a pH de 5,5 a 8,0. Así, aunque el compostaje puede desarrollarse dentro de un amplio rango de pH, se consideran como valores óptimos los comprendidos entre 5,5 y 8,0.

## ESPACIO DE AIRE LIBRE

El compostaje es un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para satisfacer las necesidades fisiológicas de los microorganismos. Pero la humedad debe ser la apropiada, ya que no puede ocupar los poros de la masa para que el oxígeno y otros gases del proceso puedan circular.

Denominada por sus siglas en inglés FAS (Free Air Space), se utiliza para comprobar las cantidades de agua y aire existentes en la masa en compostaje. Relaciona los contenidos de humedad (H), la densidad aparente (Da), la densidad real (Dr) y la porosidad (P), teniendo en cuenta la estructura física de los residuos.

$$\text{FAS} = P \left( 1 - \frac{H}{100} \right)$$

Donde la porosidad es:

$$P = 100 \left( 1 - \frac{D_a}{D_r} \right)$$

Con lo que finalmente tenemos:

$$\text{FAS} = 100 \left( 1 - \frac{D_a}{D_r} \right) \left( 1 - \frac{H}{100} \right)$$

En todas las expresiones FAS, P y H se expresan en % y Dr y Da en g/cm<sup>3</sup>.

Mientras que la humedad óptima depende de las características del material a compostar, pudiendo estar en un amplio rango de valores, el rango del FAS es menor, estableciéndose que el proceso de compostaje ocurría a una mayor rapidez cuando el valor está alrededor del 0,3, 30% (25-35%) independientemente de la naturaleza del residuo.

## **FASES DEL COMPOSTAJE**

### **FASE MESÓFILA**

La fase inicial del proceso empieza a temperatura ambiente hasta que varias familias de microorganismos mesófilos comienzan su actividad metabólica y la temperatura aumenta hasta los 40-45°C, el pH disminuye desde un valor neutro hasta 5,5-6,0 a causa de la formación de ácidos orgánicos.

La humedad debe estar entorno al 40-60% para distribuir los nutrientes por la masa para maximizar la actividad microbiana. También es importante la aireación, en las tres primeras fases, debe ser adecuada, con residuos densos y ricos en nitrógeno.

El color en esta etapa es fresco y el olor a frutas, verduras y hojas frescas. La fase dura entre dos y ocho días.

### **FASE TERMÓFILA O DE HIGIENIZACIÓN**

Al superarse los 45°C los microorganismos mesófilos mueren o permanecen en estado de dormancia, y son reemplazados por los microorganismos termófilos que degradan fuentes más complejas de carbono y actúan transformando el nitrógeno en amoníaco. El pH aumenta hasta 7,5 (que permanecerá casi constante hasta el final del proceso) y la temperatura hasta los 60-75°C. A estas altas temperaturas se destruyen los agentes patógenos, por ello también es conocida como fase de higienización.

El color del compost se pone más oscuro paulatinamente y el olor original se comienza a sustituir por olor a tierra. La duración de la fase puede durar desde unos días hasta meses, dependiendo del material de partida, las condiciones climáticas y de otros factores.

## FASE DE ENFRIAMIENTO O MESÓFILA II

En esta fase los nutrientes y la energía comienzan a escasear, por ello los microorganismos termófilos disminuyen su actividad. La temperatura vuelve a descender hasta los 40-45°C y reaparecen los microorganismos mesófilos que dominaran el proceso hasta que toda la energía sea utilizada. El pH desciende ligeramente, continúa la degradación de polímeros y aparecen algunos hongos visibles.

La fase dura varias semanas, no debe confundirse con la etapa de maduración.

## FASE DE MADURACIÓN

En esta fase la actividad se limita a la formación de ácidos húmicos. La temperatura se estabiliza a valores cercanos a la temperatura ambiente y puede durar meses.



## HIGIENIZACIÓN

Los patógenos, ya sean de origen humano, animal o vegetal, se encuentran en muchos de los residuos orgánicos susceptibles de compostaje, pueden ser virus o bacterias. Otros agentes biológicos considerados peligrosos son los huevos o larvas de insectos y las semillas de malas hierbas.

Todos estos agentes pueden destruirse a causa de las altas temperaturas durante un determinado periodo de tiempo. En la fase termófila se da la higienización del material y se eliminan los patógenos y parásitos.

Microorganismos	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición (min)
<i>Salmonella typhi</i>	60/70	30/4
<i>Salmonella sp.</i>	55/60	60/15-20
<i>Shigella sp.</i>	55	60
<i>Escherichia coli</i>	55-60/70	15-60/5
<i>Entamoeba histolytica</i>	50	5
<i>Taenia saginata</i>	70-71	5
<i>Trichinella spiralis (larva)</i>	62	60
<i>Brucella abortus</i>	55/61	50/3
<i>Micrococcus pyogenes var. Aureus</i>	70	20
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54	10
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	66/67	15-20/20
<i>Mycobacterium diphtheria</i>	50	45
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	55/70	45/4
<i>Nacator americanus</i>	45/50	50/50
<i>Ascaris lumbricoides (huevos)</i>	50	60

En la fase de maduración el compost no debe contener compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente ni metales pesados, ya que no se destruyen ni descomponen, y pueden ser asimilados por las plantas y luego por los animales y el hombre.

La inocuidad biológica del compost certifica que éste no va a contaminar los alimentos que abona. La inocuidad biológica depende, aparte de la temperatura, de la humedad, de la aireación y del tamaño de la partícula.

Como ya hemos visto, en una pila con adecuada humedad, la actividad microbiana hace que la temperatura se incremente, siendo mayor en el interior que en el exterior. Al airear la pila, se homogeniza la temperatura y la humedad y se pueden eliminar patógenos.

## **CALIDAD**

El compost no tratado o tratado de manera inadecuada y utilizado como biofertilizante o nutriente del suelo, ya sea en la agricultura orgánica o no orgánica, puede dar lugar a la contaminación de los productos y/o de las fuentes de aguas, por lo que su aplicación descontrolada constituye un peligro para la salud pública y una amenaza para el medio ambiente por la exposición a microorganismos patógenos que esto representa.

Ha de cumplir una serie de requerimientos nutricionales y superar unos parámetros de calidad fijados en la legislación. Solo podrá ser considerado como producto fertilizante, el que cumpla con los siguientes requisitos:

- Que aporte nutrientes a las plantas de manera eficaz o mejore las propiedades del suelo.
- Que se disponga, para el producto, de métodos adecuados de toma de muestras, de análisis y de ensayo para poder comprobar sus riquezas y cualidades.
- Que en condiciones normales de uso, no produzca efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

## SISTEMAS DE COMPOSTAJE

Para obtener un producto final de calidad hacemos uso de los sistemas de compostaje que nos facilitan el control y la optimización de los parámetros del proceso de compostaje.

Gracias a estos sistemas también se consigue acortar el tiempo del proceso y disminuir los requisitos de espacios y energía.

Los sistemas se pueden agrupar en dos grandes grupos: abiertos y cerrados.

### SISTEMAS ABIERTOS

El proceso se lleva a cabo al aire libre, en pilas o montones que pueden ser estáticos o requerir volteos periódicos. A su vez, dentro de los sistemas abiertos distinguimos pilas dinámicas o estáticas.

#### Sistema de pilas dinámicas

Es el sistema más utilizado. Los materiales se disponen en grandes pilas, que se oxigenan con volteos mecánicos (palas excavadoras o volteadoras especializadas). La superficie de tratamiento y el volumen deben ser adecuados para garantizar la aireación de la pila y la conservación del calor.





### Sistema de pilas estáticas

Consisten en apilar los residuos orgánicos con el resto de materiales al aire libre. La ventilación se realiza mediante una red de tuberías por las cuales se hace pasar el aire hacia el interior de la pila.

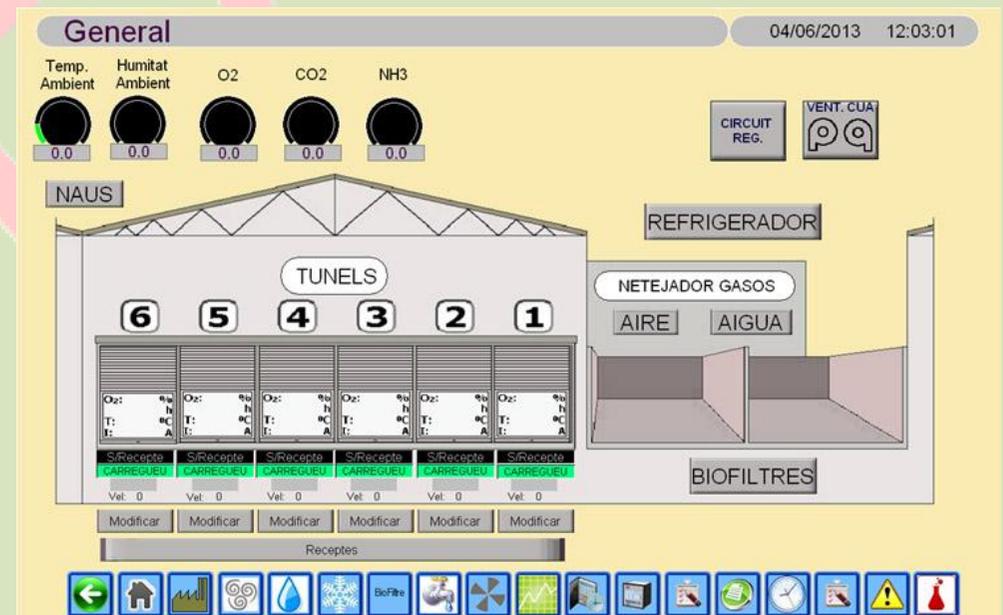
El mantenimiento de este sistema es mucho menor que en otro tipo de sistemas, requieren poca tecnología y una baja inversión económica.

La única desventaja del sistema es que al estar el material al aire libre, las condiciones meteorológicas del momento pueden dificultar el control de los factores y parámetros del proceso de compostaje.

### SISTEMAS CERRADOS

El sistema cerrado que más se usa es el compostaje en reactores. Se basa en una fermentación aerobia controlada dentro de un contenedor totalmente cerrado. Este contenedor cuenta con mecanismos de volteo, aireación, mezclado, etc.

Una de las ventajas de este método es la gran velocidad que proporciona al proceso de compostaje. Sin embargo, son sistemas con un elevado coste económico.



## SISTEMAS MIXTOS

Combinan la aireación por tuberías y el volteo. Este tipo de sistemas se construyen en túneles que constan de aireación forzada, mecanismos de volteo, mezcla, etc. Son sistemas rápidos que permiten trabajar sin interrupciones.



## **MONTAJE**

### **MATERIALES**

El primer paso a seguir es seleccionar del montón de basura los residuos biodegradables aptos para fabricar compost y apilarlos siguiendo unas pautas:

Sobre nuestro montón de residuos, añadimos una capa de entre 10-20 cm. de lignina machacada.

La segunda capa tiene la misma altura y está compuesta de hojas secas.

Por último, una capa de unos 10 cm. de tierra fértil.

### **AIREACIÓN**

Para asegurar la correcta aireación instalaremos un sistema de tuberías a lo largo de toda la pila, por estas tuberías se introduce el aire necesario. Para aprovechar los recursos y minimizar los gastos, las tuberías están fabricadas con cañas de bambú. Un material resistente y manejable.

### **LIXIVIADOS**

Los lixiviados corresponden al agua con tóxicos del medio, que además desprenden mal olor. Esta agua proviene del exceso de humedad del medio y es necesario llevarla hasta el exterior de la pila. Al igual que en el apartado de aireación, nos valemos de una caña de bambú que nos sirve como tubería. Para asegurar la salida completa, la colocamos con una pendiente que lleve hasta el estanque de lixiviados. En este estanque, posteriormente, los lixiviados son tratados para reducir su toxicidad.

# ESQUEMA

