



# Principios básicos del compostaje de pulpa de café

## Guía informativa

Elaborado por  
Diplom.Ing- Gerold Hafner, Dr-Ing. Martin Reiser (Expertos Internacionales)  
Ms.Sc. Macarena San Martín Ruiz (Experta Nacional)

Número de contrato: 81216340  
Número de reporte: Manual 1  
Fecha de entrega: 06/07/2018

**Proyecto de Apoyo a la NAMA**  
**Café Bajo en Emisiones Costa Rica**

**Socios ejecutantes:**



**Publicado por:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Oficinas registradas  
Bonn y Eschborn

**Contacto:**

CENTRO CAMBIO CLIMÁTICO  
Boulevard Dent, Esquina Calle Ronda  
San Pedro, Costa Rica  
T + 506 2528-5420  
E [namacafe@giz.de](mailto:namacafe@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)

I [www.namacafe.org](http://www.namacafe.org)



**Autor/es:**

Ms. Sc. Macarena San Martin Ruiz, Dr-Ing. Martin Reiser, Diplom-Ing. Gerold Hafner

TTI GmbH - Technologie Transfer Initiative an der Universität Stuttgart, TGU Resources, en Cooperación con el „Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft“ (ISWA) de la Universidad de Stuttgart, Bandtäle 2, 70569 Stuttgart



**Supervisado por:**

Alexia Quirós, Sandra Spies, GIZ

**Por encargo de la**

NAMA Facility del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear y el Departamento de Negocio, Energía & Estrategia Industrial del Reino Unido

**La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.**

Stuttgart, Alemania, 2018

## Objetivo

El manual está diseñado con el objetivo de dar información general acerca del proceso de compostaje de materia orgánica.

La guía describe los conocimientos más actualizados en este tipo de tratamientos, empleando procesos aeróbicos y anaeróbicos con un enfoque especial en contaminantes del aire generados por compuestos olorosos, gases tóxicos, polvo y microorganismos en el aire. Es importante señalar que esta guía muestra procedimientos generales y la aplicación de cada uno de ellos dependerá de las condiciones del material a tratar, así como el nivel de estabilidad deseado, condiciones físicas y climatológicas del área de tratamiento, entre otros.

La ubicación de la zona de compostaje es de suma importancia para prevenir los impactos de emisiones de gases invernadero, así como el control de olores y microorganismos en el aire.

## 1. Compostaje con proceso aeróbico

### 1.1. Principios

El compostaje aeróbico es un proceso que depende de la cantidad de aire que se suministra a los microorganismos para que sean capaces de romper los recursos de carbón disponibles y así producir dióxido de carbono y agua.

La primera fase de compostaje se caracteriza por el autocalentamiento de la materia orgánica y por su intensa descomposición. Esto se debe a la existencia de grandes fuentes de carbón degradable, las cuales resultan en una actividad microbiana intensa que libera calor y aumenta la temperatura de la materia orgánica. Por esta razón, microorganismos termófilos predominan en esta fase, mismos que trabajan en una temperatura óptima de 55°C.

Los parámetros clave para una rápida descomposición de substrato son suficiente

oxígeno y humedad por lo cual los siguientes puntos deben ser considerados.

- Temperaturas  $>70^{\circ}\text{C}$  reducen la diversidad microbiana, ponen fin a la descomposición debido a pérdida de agua o pueden cambiarla a un estado de autooxidación.
- El suministro inadecuado de aire conlleva a una incompleta degradación aeróbica, por lo tanto, a una acidificación del compostaje. Además, la falta de aire supone una liberación de metabolitos anaeróbicos que generan malos olores y lixiviado.

La segunda fase del compostaje se lleva a cabo bajo temperaturas mesofílicas (alrededor de  $30^{\circ}\text{C}$ ) y es llamada fase de maduración donde macromoléculas son degradadas por microorganismos especializados.

### 1.2. Aspectos fisicoquímicos

La fase inicial de compostaje libera ácidos orgánicos aumentando el pH. Durante la fase de descomposición, el valor del pH se vuelve a incrementar debido a la fractura de los ácidos orgánicos y el efecto alcalino de las sales inorgánicas unidas a la materia orgánica. El producto final de compost debe tener un pH de neutro a ligeramente básico.

Por otra parte, para un adecuado intercambio de gases una fracción de volumen de material de alta porosidad debe ser de al menos 20% (V/V) de la mezcla de materia prima. Un residuo biológico que contiene material de alta porosidad normalmente cumplirá con los requisitos fisicoquímicos para el proceso de compostaje y no será requerida la adición de nutrientes, ajuste de pH o inóculos.

El tamaño de partícula ideal es de 5-30 cm. Cuando el tamaño de partícula es muy grande, se crean canales de aireación por lo que baja la temperatura y el proceso se desacelera, mientras que cuando son muy

pequeños, bloquean los poros con agua e impiden el paso de aire al sistema.

Por último, una adecuada proporción de carbono y nitrógeno (relación C:N) es deseada, ya que esta relación influye significativamente en la actividad microbiana. La relación ideal C:N es de 20:1. Con valores por debajo a 20:1 existe una carencia de carbono retrasando los procesos de degradación, además, al inicio de la descomposición también pueden aumentar la cantidad de nitrógeno y con ello la liberación de óxidos de nitrógeno, nitrógeno elemental o amoníaco. Una proporción mayor a 20:1 de igual manera puede retardar la mineralización. Una solución para lograr la relación ideal de carbono-nitrógeno, es la adición de materiales de entrada que aumenten el volumen de poro mejorando el intercambio de agua y aire.

### 1.3. Aspectos microbianos

En el proceso de descomposición de materia orgánica, una amplia gama de microorganismos está involucrada. Por esta razón, menores alteraciones ambientales pueden ser reguladas por dichos microorganismos, sin embargo, los siguientes criterios deben ser considerados:

A temperaturas elevadas, gran parte de los microorganismos están inactivados. Debido a la previa conversión de alto contenido orgánico, en la fase húmeda del material se concentran metabolitos de alta volatilidad. Éstos, son liberados por el alto índice de evaporación que ocurre al mismo tiempo.

Por otra parte, se desea un incremento en la temperatura de la fase de degradación intensiva ya que a temperaturas elevadas de 55°C a 60°C los agentes patógenos son eliminados y se logra una completa desinfección o higienización.

### 1.4. Condicionamiento

Para una descomposición microbiana uniforme el flujo de materia entrante se tritura

y posteriormente, se mezcla para lograr mayor homogeneidad.

## 1.5. Principales procesos durante el compostaje

### 1.5.1. Pilas triangulares

Se caracteriza por tener una mayor proporción superficie-volumen. Las medidas máximas para una pila triangular pequeña son anchas 3 m y altura 1.5 m con las cuales la convección natural es suficiente para el suministro de aire. A medida que la descomposición avanza, la función que tiene el rotar la hilera es principalmente para homogenizar los productos pobres y secos, con los húmedos y ricos en nutrientes. Si la rotación de material es muy frecuente, el proceso puede reducir la tasa de descomposición y mejorar la tendencia de secado.

### 1.5.2. Pilas trapezoidales y tabulares

En las pilas trapezoidales, debido a la desfavorable relación superficie-volumen el material debe ser altamente poroso para lograr el abastecimiento de oxígeno en las capas más profundas. No existe una delimitación específica entre pila trapezoidal y tabular, sin embargo, la relación superficie-volumen se reduce aún más.

### 1.5.3. Pilas tabulares aireadas.

Se emplean principalmente en plantas de capacidad de entre 10 000- 60 000 Mg/año. Dependiendo del tamaño de producción, el método de compost y el nivel de estabilidad deseado, las dimensiones de la pila son de: altura 2- 3.5 m, ancho de 20- 40 m y largo de 50 150 m. De igual manera, de acuerdo con el control empleado en el proceso, los tiempos necesarios para producir compost fresco y compost terminado abarcan desde 6 hasta 10 semanas respectivamente.

Las máquinas empleadas para voltear la pila pueden ser controladas de manera que la altura de la pila nueva corresponda a la pila primaria así, el volumen de reducción de la pila resultante en el proceso de compostaje es compensado. De esta manera, en un



tiempo de compostaje de 10 semanas, la pila reduce en 20% su superficie. La frecuencia de giro de la pila es de **1 vez por semana**.

#### 1.5.4. Canales descubiertos

Estos sistemas de compostaje se caracterizan por la división del canal en dos o más partes por paredes de concreto, las cuales pueden separar diferentes procesos de compost o lotes. Normalmente son operados de forma continua. En la parte delantera del canal, el compost pre-procesado se distribuye uniformemente en el área de alimentación. A medida que el material se voltea, la disminución de tamaño y homogenización toma lugar. En el siguiente ciclo de volteado, el material que se encuentra en el extremo es descargado y transferido al área de refinación, siempre y cuando la duración del compostaje sea suficientemente larga. El lixiviado queda atrapado en el drenaje de la base del canal.

#### 1.5.5. Membranas

Esta técnica consiste en materia prima de compostaje al aire libre cubierta por una membrana semi-permeable. Consta también de una capa de astilla de madera de 30 mm de espesor que la separa del lecho de grava. Este sistema no requiere de humidificación extra y está equipada normalmente de un sistema de vacío o de presión para inducir el aire. En caso de ser un sistema de vacío, posteriormente se debe de emplear limpieza biológica.

### 1.6. Tipos de aireaciones en la zona de compostaje

El propósito de la aireación es lograr una estabilidad de compostaje en un mínimo de tiempo. El sistema de compostaje puede incluir un equipo de presión o de vacío, o una combinación de ambos. Dependiendo de los objetivos del tratamiento, el aire empleado puede ser aire limpio o una combinación de aire fresco con recirculado.

La selección del tipo de aireación tiene influencia en los siguientes criterios del proceso de compostaje:

- a) Tecnología de compostaje, suministro de oxígeno, temperatura y balance de agua.
- b) Emisiones, lixiviado, condensado, aire de escape y flujo odorífero.
- c) Condiciones climáticas en la zona de compostaje (temperatura, humedad relativa, microorganismos en el aire y concentraciones de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>)
- d) Operación y mantenimiento.

#### 1.6.1. Aireación natural

El compostaje en pilas con ventilación natural es el diseño más simple en donde la materia prima puede ser apilada en forma triangular, trapezoidal o en hileras tabulares. La rotación de las pilas depende de la materia de compostaje y se debe de tomar en cuenta que, por cada rotación, se liberan emisiones. Además, cada pila debe estar equipada con un sistema de recolección de agua de lluvia y de lixiviado que se pudieran formar.

#### 1.6.2. Aireación forzada

Para lograr una estabilidad en el compost en un mínimo tiempo posible es necesario:

- a) Controlar el porcentaje de humedad del material de compostaje a lo largo del proceso de descomposición. En la fase inicial de compostaje, para lograr un nivel óptimo de descomposición, se requiere de 50-55% m/m; mientras que en la parte final se requieren de 30- 40%.
- b) Un sistema de monitoreo de O<sub>2</sub> es necesario para evitar la concentración mínima de 13-15% (V/V)
- c) Para lograr un suministro suficiente de O<sub>2</sub> para mantener las condiciones anaeróbicas se requiere el suministro de aproximadamente 2-6 m<sup>3</sup>/h de aire por Mg de material de compostaje húmedo, dependiendo de la composición y del proceso de descomposición.
- d) A fin de alcanzar una temperatura deseada, la aireación se debe controlar en función de la temperatura.

#### 1.6.3. Aireación conducida por presión.

En este sistema, el aire es suministrado en la base de la pila y los sopladores operan bajo presión. La cantidad de agua de proceso disminuye debido a que la humedad es absorbida por el sistema de aireación. En el proceso, el aire es saturado con vapor de agua a fin de que no adsorba más humedad con lo que promueve una distribución de esta. En comparación del proceso de aireación en vacío, el perfil de temperatura se mantiene uniforme en la pila.

#### 1.6.4. Aireación inducida por vacío.

Aquí el aire es suministrado desde la superficie de la pila hasta la base. El aire procesado contiene una mayor concentración de olores y se recolecta a la salida de la base de la pila, la cual registra mayores temperaturas y humedad relativa. Este sistema requiere de una base adecuada para contrarrestar los problemas de obstrucción debido a las grandes cantidades de lixiviado formados y de materia prima que puede descargarse en el sistema de tuberías.

#### 1.7. Proceso de maduración

Debe llevarse a cabo en una superficie cubierta que contenga un sistema para recolección y control de agua de lluvia y lixiviados. Durante esta fase, el compost es volteado y se debe controlar la humedad. La duración depende del nivel de estabilidad que se requiera llegar, por ejemplo, para lograr un nivel de estabilidad 4, se requieren de 3 a 10 semanas. Se hace una distinción entre nivel de estabilidad 2 y 3 refiriéndose a un compost fresco, nivel 4 para un compost terminado y para un compost de medio crecimiento.

Además, en la tabla 1 se encuentra un extracto de las condiciones aceptables y óptimas para las técnicas de compost.

Tabla 1: Condiciones óptimas y aceptables en el proceso de compost

Condición	Rango aceptable	Condición óptima
Relación C/N	20:1 -40:1	25:1- 30:1
Humedad	40%-65 %	50%-60%
Oxígeno	>5%	>8%
pH	5.5- 9.0	6.5- 8.0
Temperatura (°C)	55°C- 75°C	65°C- 70 °C

## 2. Compostaje con proceso anaeróbico

A diferencia del proceso aeróbico, éste no libera calor, sin embargo, libera el segundo gas que más contribuye al efecto invernadero, el metano.

Los organismos anaeróbicos utilizan menos energía, lo cual se ve reflejado en su lenta reproducción. Para una óptima operación los siguientes criterios deben seguirse:

- Sistema estable, es decir, cambios no drásticos que puedan interferir con el equilibrio.
- La degradación se puede llevar a cabo en condiciones mesófilas y termófilas con un rango de 32-8°C y de 50-55°C.

En estos sistemas, el volumen de poro de aire es insignificante. Dependiendo el contenido de sólidos y de humedad, la digestión anaeróbica se divide en seca o húmeda. La materia prima opera con contenido de humedad de 65 a 80% (m/m) y la segunda por encima del 85% (m/m).

### 3. Recomendaciones prácticas para reducir al mínimo las emisiones en el tratamiento de broza de café con condiciones aeróbicas

A continuación, se darán a conocer ciertas recomendaciones a nivel de área de trabajo y de seguimiento para poder realizar un mejor manejo de broza.

- a) Es importante que se realice la correcta **rotulación** del área de tratamiento, y a su vez, que se indique los días y semanas de tratamiento. Esto facilita la ubicación y el tiempo de tratamiento que se ha realizado. Además, es importante anotar las fechas en las cuales se realiza movimiento mecánico a las pilas de tratamiento para poder tener un registro de continuidad y cantidad de veces que se realiza por día, semana (s) y/o meses.
- b) Realizar un control de los parámetros recomendados a seguir, es decir, control de pH, temperatura, humedad, etc. Esto con el fin de entender el comportamiento del tratamiento que se realiza para cerciorar que se está realizando de la manera correcta para reducir emisiones. En la práctica, el control del pH se realiza me mezcla de compost y agua. Un método sencillo para medirlo es por medio de papel indicador (ej. Macherey-Nagel). De esta manera, 100 g de material de compostaje son mezclados en 900 ml de agua. El resultado del pH debe estar en un rango de entre 6.5- 8.
- c) Tener un control de la ventilación es un parámetro importante que considerar, ya que esto evitaría que se generen zonas anaeróbicas no deseadas, produciendo metano, resultado de un manejo inadecuado de residuo. La mejor manera de asegurar que se tiene suficiente oxígeno dentro de la pila, es manteniendo la humedad y la cantidad de material de estructura de compost en el rango deseado. Las proporciones adecuadas de la pila se encuentran descritas en el apartado
- d) Una de las recomendaciones para manejar de manera óptima el tratamiento es por medio de una membrana de cobertura, por ejemplo cobertura GORE®. Es de gran utilidad ya que provee una aeración activa, incorporando un mejor suplemento de oxígeno y evita las zonas anaeróbicas dentro del montículo. Ésta posee una membrana de tres capas compuesta por dos tejidos de alta calidad resistentes a la radiación UV y una membrana semipermeable, impermeable y transpirable. De esta forma, la membrana protege de forma segura el cuerpo de degradación contra los impactos climáticos y la humectación del agua de lluvia. Además, desde el interior retiene olores, polvo, gérmenes y bacterias, teniendo la ventaja de ser permeable al aire y a la humedad, generando el clima necesario para que los microorganismos descompongan los residuos orgánicos en compost de alta calidad lo más rápido posible.
- e) Además, es importante realizar un control de la humedad del material, donde se recomienda que la cantidad idónea de agua al final del proceso sea entre un 25 % - 60 % (en masa), por lo cual, el control de la humedad es un aspecto primordial, para que el proceso no altere el producto final y el material no se seque o quede más húmedo del valor recomendado (consultar tabla 1). El control de la humedad del material se realiza pesando y secando el mismo a 105 °C en un horno. La pérdida del agua es la relación del contenido de agua. El contenido de agua podría ser el parámetro más importante durante el proceso de compostaje. Si el material es demasiado húmedo, la aireación no es suficiente y habrá zonas anaeróbicas con emisión de metano y sulfuro de hidrógeno.
- f) Si el material se va a secar, parece como si la degradación biológica llegara a su

- fin y se formara el compost terminado, pero en realidad los microorganismos simplemente dejaron de trabajar y el material no se convierte en algo útil. Se debe valorar tener el material cubierto o bajo techo una vez finalizado el proceso.
- g) Por otro lado, verificar la calidad del compost, para darle seguimiento al estadio del tratamiento, como también verificar la cantidad de concentración de amoníaco emitido, ya que, las altas concentraciones de amoníaco indican un problema con la relación C:N (Carbono : Nitrógeno). Esta relación es importante para tener una buena degradación aeróbica (consultar tabla 1). Este tipo de análisis no se deben de realizar de manera frecuente. El material debe ser enviado a un laboratorio certificado (ej. ICAFE).
  - h) Finalmente es esencial realizar más estudios donde se demuestre que el material es homogéneo para comprobar la factibilidad de que es posible realizar compostaje. De esta manera, se obtiene un compostaje de calidad con bajas emisiones, o bien, realizar estudios futuros para encontrar una viabilidad, quizás este producto se pueda emplear para otro tipo de uso, como, por ejemplo, comida de animales o combustible. Dichas condiciones están resumidas en la tabla 1.
  - i) No se recomienda el facilitar broza fresca a terceros sin conocer el tratamiento que le realizarán, por lo que dicha práctica no es permitida para el sector Beneficiador.
  - j) Debe documentarse al momento de las entregas del producto de composteo terminado, las condiciones de este y la forma de uso al productor para que se facilite su aplicación y aprovechamiento inmediato.
  - k) No se recomienda la aplicación de broza fresca en fincas, sin un control riguroso del producto del manejo del material,
- para evitar posibles hospederos de insectos que puedan convertirse en plagas que afecten a terceros.
- l) No se acepta como práctica almacenar broza sin su debido tratamiento, ya que por las características fisicoquímicas de la pulpa la misma no se degrada de forma natural sin movimiento, y la generación de lixiviados debe controlarse y tratarse de forma adecuada.