

Sostenibilidad en las granjas de vacuno de leche (11)

Compostaje de deyecciones

Introducción

En un nuevo capítulo de la serie que iniciamos hace ya 11 números sobre sostenibilidad en las granjas de ganado vacuno de leche, queremos abordar la técnica de compostaje, pues nos parece una forma interesante de gestionar las deyecciones de estas granjas de una manera más o menos simple, que puede suponer ingresos adicionales a la explotación, y que pudiera, en su caso, reducir la necesidad de superficie agrícola para verter estos residuos orgánicos, asunto que será objeto de posteriores trabajos.

Como veremos, el compostaje del estiércol (o de la fracción sólida del purín) no requiere de instalaciones sofisticadas y difíciles de manejar. Dados los volúmenes que pueden llegar a manejarse, re-

querirá de maquinaria adecuada y de superficie para disponer las pilas, pero no supone una técnica complicada de gestión de residuos.

El compostaje se puede considerar como una forma de aprovechamiento simple y de bajo costo, como también una tecnología ambiental para convertir estos residuos en un producto de alta calidad, logrando reducir el efecto contaminante y a la vez permitir su reutilización en la agricultura.

Principios y proceso de compostaje

Proceso de compostaje

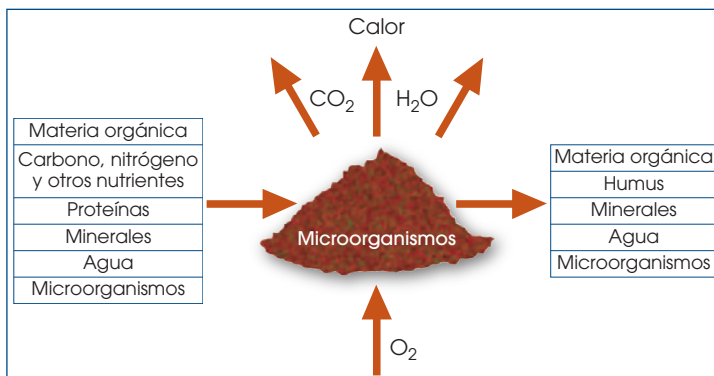
El proceso de compostaje se puede definir como la oxidación biológica de residuos orgánicos en condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación, realizado por microorganismos. Estos utilizan el carbono y nitrógeno disponibles en los residuos, liberando energía y produciendo, a través de una serie de reacciones bioquímicas, agua, dióxido de carbono, humus y sales minerales (Figura 1).

El producto final de este proceso se conoce como compost y puede ser utilizado como enmienda orgánica en el suelo, con el objeto de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas tales como: aireación; retención de humedad; estructura; supresión de patógenos; aporte de organismos (bacterias) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en alimento para las plantas; control de la temperatura edáfica; protección contra la erosión, y de este modo mejorar el rendimiento de los cultivos.

El compostaje ofrece las siguientes **ventajas**:

- Es un sistema de reciclaje, con una útil revaloración del residuo.
- Optimiza los recursos existentes en cada zona al aprovechar los residuos que se producen en ella.

Figura 1. Proceso de compostaje



Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo.
Dpto. Producción Agraria E.T.S.I. Agronómica, A. y de B.-U.P.M. - antonio.callejo@upm.es

- Reducción de volumen de los residuos.
- Ahorro económico en abonos químicos.
- Producto comercializable.
- Aumenta la vida en el suelo, ya que estimula su actividad biológica.
- Disminuye las necesidades de materia orgánica de los suelos y contribuye a su recuperación.

No obstante, también presenta algunos **inconvenientes**:

- Para realizarlo a nivel comercial se requiere de alta inversión inicial
- Disponibilidad de terreno
- Contaminación al medio ambiente (metales pesados, olores y otros), según material de origen compostaje.

Organismos asociados al proceso de compostaje

Durante las etapas del proceso de compostaje actúan diferentes tipos de microorganismos de acuerdo a las condiciones de temperatura, humedad, oxígeno y pH dentro de la pila.

Los organismos que participan en la transformación y degradación de los residuos en el proceso de compostaje son macroorganismos como gusanos, ácaros, lombrices, ciempiés, escarabajos, entre otros, además de los microorganismos, entre los que se encuentran bacteria, hongos y actinomicetes.

Los **macroorganismos** participan en la trituración de los distintos residuos y cumplen la función de romper y disgregar los materiales, ayudando así a que tengan una mayor superficie de contacto facilitando la acción de los microorganismos. Entre estos organismos se encuentran gusanos, lombrices, ácaros y arañas, ciempiés, escarabajos y otros.

Los **microorganismos** responsables del proceso de compostaje degradan un amplio rango de compuestos desde proteínas y carbohidratos complejos a aminoácidos y azúcares simples, respectivamente. Su presencia y acción están condicionadas por las condiciones físicas y químicas de la pila. La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la proliferación y supervivencia de éstos.

Tipos de microorganismos

Bacterias. Son los microorganismos más pequeños y numerosos que participan en el proceso de compostaje. Las bacterias son las principales responsables de la descomposición y de la generación de calor en la pila.

De acuerdo con las temperaturas en las cuales actúan, se pueden clasificar en mesófilas y termófilas. Las bacterias mesófilas cumplen un rol importante durante la primera etapa de compostaje. Cuando las temperaturas superan los 40°C comienzan a predominar las bacterias termófilas, principalmente del género *Bacillus*.

Actinomicetes. Son microorganismos considerados bacterias filamentosas. En el proceso de compostaje son fundamentales en la degradación de compuestos orgánicos complejos como materiales leñosos, paja y serrín. Algunas especies de actinomicetes aparecen durante la etapa termófila y otras son más importantes durante la etapa de enfriamiento o maduración, cuando sólo quedan en la pila materiales más resistentes de degradar.

Hongos. Atacan el material más resistente de degradar como celulosas y ligninas. En el proceso de compostaje son importantes en la etapa de maduración, cuando las temperaturas son moderadas y la mayor cantidad de azúcares solubles ha sido degradada.

Biología del proceso de compostaje

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos; por lo tanto, los factores que afectan la actividad microbiana tendrán incidencia directa sobre la transformación y calidad del compost.

Los microorganismos para reproducirse y crecer deben degradar los residuos para formar energía y sintetizar nuevo material celular. La obtención de energía puede ser por medio de la respiración y la fermentación.

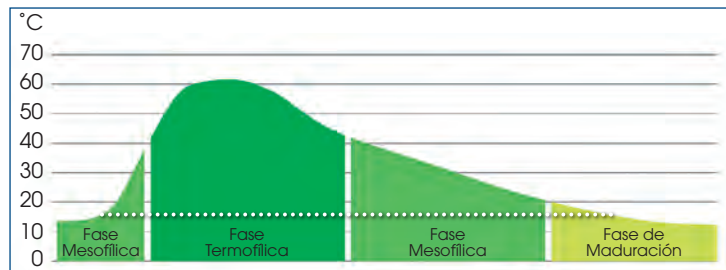
En el proceso de compostaje se llevan a cabo una serie de reacciones, las cuales además de liberar energía en forma de calor, forman una serie de compuestos orgánicos que a su vez son utilizados por los microorganismos hasta completar la degradación de los residuos.

Los microorganismos presentes en el compostaje producen una serie de enzimas extracelulares como proteasas, amilasa, lipasa y otras que digieren los materiales insolubles para transformarlos en solubles para ser utilizados finalmente por éstos como nutrientes para su crecimiento.

Etapas del proceso de compostaje

La transformación microbiana de la materia orgánica en el compostaje es un proceso exotérmico, es decir, genera calor. En el proceso de compostaje, la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo con este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en 4 etapas: mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración (Figura 2).

Figura 2. Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje



► Fase I o Mesófila. (10-40 °C)

Al comienzo del proceso de compostaje, los residuos se encuentran a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos presentes en los materiales orgánicos empiezan a desarrollarse utilizando hidratos de carbono y proteínas fácilmente asimilables; de esta forma los microorganismos crecen y se multiplican descomponiendo los materiales. Como consecuencia de la actividad de estos microorganismos la temperatura se eleva alcanzando 40 °C en pocos días.

La duración de esta etapa es variable y depende de diversos factores como oxígeno, humedad, relación carbono/nitrógeno y tipo de residuos utilizados.

► Fase II o Termófila. (40-75 °C)

La temperatura sigue subiendo hasta alcanzar valores cercanos a 60 a 70 °C y los microorganismos mesófilos son reemplazados por otros resistentes a estas temperaturas (termófilos). En un comienzo, bacterias y hongos termófilos empiezan a degradar la celulosa y parcialmente la lignina, con lo cual la temperatura aumenta. A partir de los 60 °C, los hongos termófilos cesan su actividad y aumentan los actinomicetes. Durante varios días se mantiene la

temperatura alta y disminuye la actividad biológica, se produce la pasteurización del medio, es decir, se destruyen las bacterias patógenas, parásitos presentes en los residuos y la inhibición de la germinación de semillas de malezas.

En esta etapa se deben realizar frecuentes volteos con el objeto de aportar oxígeno, el que es rápidamente consumido por los microorganismos.

► Fase III o de enfriamiento

Cuando prácticamente la totalidad de la materia orgánica se ha transformado, la temperatura empieza a disminuir, ya que el calor que se genera en el interior de la pila es menor que el que se pierde. Como consecuencia de este descenso de temperatura bacterias y hongos mesófilos reinvasan el compost y degradan la celulosa y la lignina restantes.

Esta fase se reconoce cuando luego de dar vuelta la pila no existe un aumento de temperatura posterior.

► Fase IV o de maduración

Periodo que requiere de un tiempo (meses) a temperatura ambiente en la cual se producen reacciones de condensación y polimerización de humus. En esta etapa además se degradan algunos ácidos orgánicos producidos en la fase termófila, los cuales son fitotóxicos.

Factores que Influyen en el proceso de compostaje

El compostaje se basa en el proceso biológico realizados por los microorganismos; por esto se ve afectado por todos aquellos factores que influyen en el crecimiento y actividad de estos microorganismos. De este modo se pueden señalar que los principales factores que condicionan el proceso de compostaje son: tipo de sustrato (residuos), aireación o presencia de oxígeno, contenido de humedad, pH y relación carbono/nitrógeno. Estos factores condicionan y determinan el desarrollo del proceso y la obtención de un producto final de calidad.

- Sustrato

Los residuos utilizados para la fabricación de compost condicionan la calidad del producto a obtener luego del proceso de compostaje. Además, las características físicas del material influyen en el proceso ya que pueden afectar a la descomposición y la presencia de oxígeno de la pila. Las principales características que se deben considerar son:

Porosidad. Está relacionada con la aireación y el movimiento de éste en la pila de compost. Cuanto mayor sea la porosidad de la pila, mayor será la aireación.

Tamaño de partículas. La actividad de los microorganismos ocurre generalmente en la superficie de las partículas; por lo tanto, el tamaño de éstas debe ser menor a fin de aumentar la superficie y favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición. El tamaño ideal de partículas es de 2 a 5 cm.

Además, cuanto menor sea el tamaño de las partículas, la pila se tiende a compactar, lo que trae como consecuencia una menor aireación y, por ende, una menor actividad microbiana, retardando el proceso.

- Relación Carbono/Nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son los elementos más importantes requeridos para la descomposición microbiana ya que estos forman parte fundamental

de las proteínas, carbohidratos y lípidos que constituyen los microorganismos.

En forma práctica, la relación carbono/nitrógeno permite conocer la velocidad de descomposición y determinar el tiempo de compostaje, siempre y cuando las condiciones de humedad, aireación y temperatura sean las óptimas.

Para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación carbono/nitrógeno de 25-35 es la adecuada, pero ésta variará en función de las materias primas que conforman el compost.

Si la relación es mayor a 35 no existe suficiente nitrógeno para el crecimiento microbiano por lo cual disminuirá la actividad biológica y, por tanto, se retrasará el proceso. En cambio, si es menor a 30 el nitrógeno se encontrará en exceso, por lo que puede perderse como amoníaco (NH_3), lo que traerá como consecuencia olor desagradable.

Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones carbono/nitrógeno para obtener un sustrato equilibrado. En general los residuos animales como estiércoles, purines, residuos de mataderos, y los materiales verdes y húmedos como cortes de pasto, residuos de frutas y verduras poseen una baja relación carbono nitrógeno; en cambio, los materiales leñosos y secos como hojas secas, serrín, virutas de madera, papel y otros, tienen una alta relación C/N.

- Humedad

Los microorganismos necesitan agua como medio para transportar nutrientes y otros elementos, además de ser determinante en el intercambio gaseoso.

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance niveles cercanos al 40-60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volverá anaeróbico (sin oxígeno), es decir, se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas.

De forma manual, se puede testear la humedad de la pila al apretar un poco de compost. Si en la mano aparecen algunas gotas de agua la humedad es óptima; si, por el contrario, después de apretar el material este se disgrega en pequeñas partículas significa, que le falta humedad. No obstante, en un proceso a gran escala conviene disponer de instrumentos de medición suficientemente precisos e, incluso, de lectura a distancia mediante sensores.

- Aireación

El proceso de compostaje es un proceso aerobio, es decir, necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos; por lo tanto, la aireación es un factor importante en el proceso de compostaje ya que el oxígeno es esencial para el metabolismo y la respiración de los microorganismos que participan en él (Figura 3).

La aireación tiene un doble objetivo:

- aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos,
- permitir al máximo la evacuación de CO_2 producido.

La concentración de oxígeno debe mantenerse en niveles mayores al 5% para una adecuada actividad de los microorganismos. Por esta razón es

Figura 3. Movimiento del aire en una pila de compost

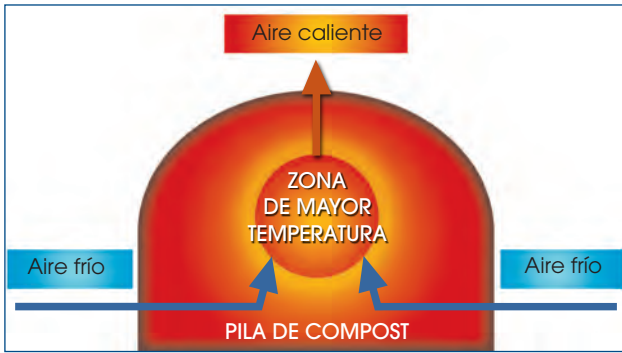
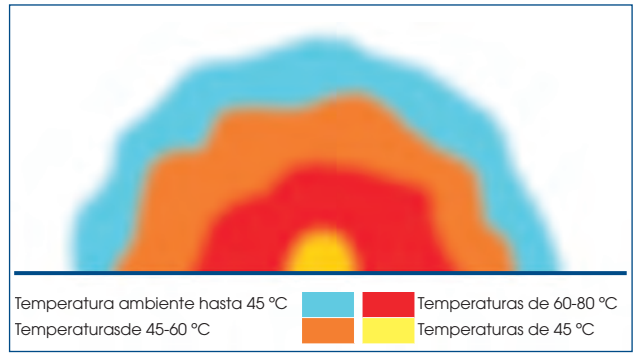


Figura 4. Distribución de temperatura en pila de compost



común realizar algún manejo para mejorar la aireación de la pila como el volteo.

El volteo tiene como objetivo no sólo aportar oxígeno a la mezcla y permitir la evacuación de dióxido de carbono, sino que, además, permite mezclar los materiales y disgregarlos para evitar la compactación.

- Temperatura

La temperatura en el proceso de compostaje refleja la actividad biológica de los microorganismos (Figura 4). Las temperaturas alcanzadas durante el proceso están relacionadas con el tamaño de la pila, su contenido de agua y la relación carbono/nitrógeno de la mezcla. Es así como a menor relación carbono/nitrógeno se alcanzan mayores temperaturas.

Es importante controlar la temperatura durante todo el proceso de compostaje ya que así como las altas temperaturas permiten eliminar patógenos, parásitos y semillas de malezas, también pueden eliminar a los microorganismos que realizan el proceso junto con aumentar el riesgo de incendios en la pila.

- El pH

El pH influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos; éstos tienen diferentes requerimientos de pH, aunque el rango ideal se encuentra entre 6.5 y 8.0.

El pH varía durante el proceso de compostaje: al principio tiende a disminuir debido a la producción de ácidos orgánicos en la etapa mesófila y luego aumenta en la fase termófila. Finalmente el

pH disminuye y se estabiliza en la etapa de maduración.

En la Figura 5 se resume la evolución de los parámetros anteriores a lo largo del proceso de compostaje.

Y en la Figura 6 se representan gráficamente las distintas fases del proceso, la preponderancia de uno u otro microorganismo en cada una de ellas, así como la evolución del pH y de la temperatura.

Materiales y mezclas utilizadas para compostaje

Para la elaboración de compost se puede emplear cualquier tipo de material orgánico siempre y cuando no se encuentre contaminado. Obviamente, en una granja de vacuno de leche, el sustrato principal serán las deyecciones del ganado, bien en forma de estiércol, más o menos pajoso, o bien la fracción sólida del purín, para lo que se precisará maquinaria adecuada para proceder a esta separación sólido-líquido.

Si embargo, probablemente sea necesario añadir otros materiales orgánicos para conseguir la adecuada relación C/N y humedad, aunque ésta se puede conseguir añadiendo agua a la pila de compostaje. Algunos de estos materiales son:

- Residuos de cultivos. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc. son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.
- Restos de poda. Es necesario triturarlos antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.

Figura 5. Evolución de los diferentes parámetros a lo largo del proceso de compostaje (FAO, 2012)

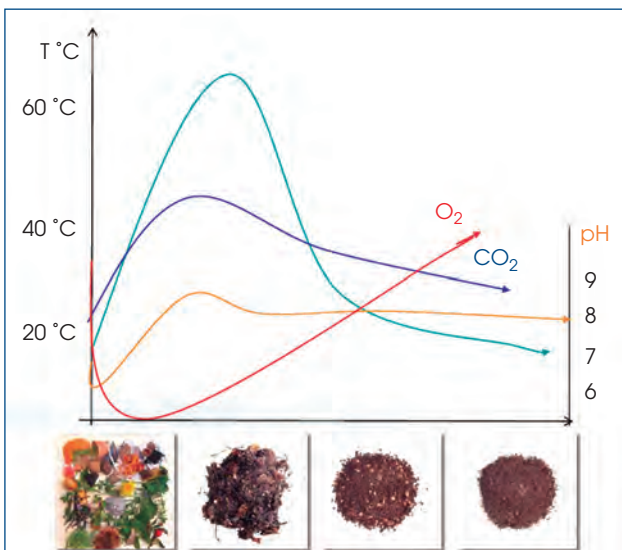
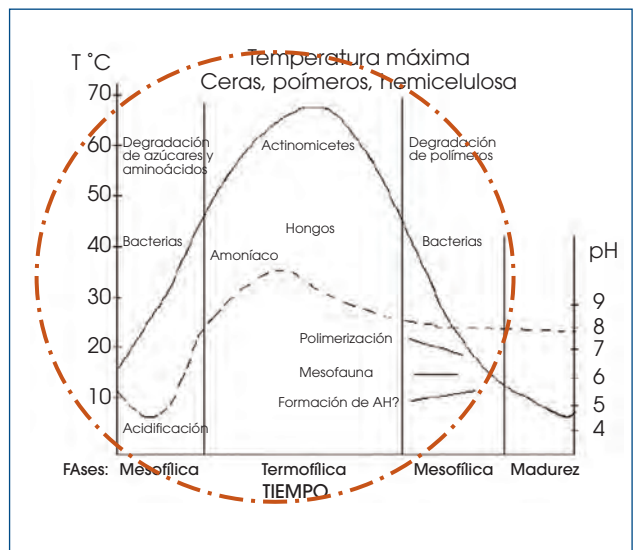


Figura 6. Etapas del proceso de compostaje y desarrollo. Microbiano (FAO, 2012)



Compostaje de deyecciones

- Cortes de pastos, malezas u otros.
- Residuos sólidos urbanos. Corresponden al material orgánico de los residuos urbanos como restos de comidas, residuos de casa y otros.
- Residuos de explotaciones madereras. Se puede emplear serrín, virutas de madera y otros, presentan una alta relación C/N.
- Residuos de agroindustrias. Se utilizan principalmente residuos como orujo de uva, residuos de mataderos y otros.
- Plantas marinas. Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de plantas marinas que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, y oligoelementos.
- Minerales. Se pueden emplear algunos fertilizantes como urea para bajar la relación C/N, roca fosfórica para incorporar fósforo y otros compuestos.

Los diferentes materiales que se utilizan en el compostaje no reúnen por sí solos todas las características óptimas para un adecuado proceso. Por esta razón es de vital importancia realizar una mezcla de materiales en proporciones adecuadas a fin de obtener un sustrato con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de compostaje (Tablas 1 y 2).

Usualmente para elaborar las mezclas de materiales a compostar se utilizan distintos métodos, entre los que se destacan: la experiencia, el ensayo y error basado en apreciación visual de la mezcla y fórmulas diseñadas para calcular la proporción co-

rectas de materiales. Los dos primeros métodos son bastantes inexactos y pueden llevar a obtener un producto final de baja calidad.

Las fórmulas para calcular la proporción de los materiales a compostar tienen el objetivo de obtener una mezcla con características óptimas para asegurar un adecuado proceso de compostaje y obtener un producto final de calidad.

Algunos de estos materiales tienen también un papel estructurante, es decir, dotar de un nivel adecuado de porosidad a la masa a compostar para que el oxígeno pueda circular a través de esta masa. No obstante, conviene triturar estos materiales para que la porosidad no sea tampoco más elevada de lo aconsejable.

Para determinar los kg de un residuo A necesarios para mezclar con cada kg de residuo B para obtener una relación C/N determinada se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{((C \text{ en } 1 \text{ kg de B}) - (\text{relación C/N deseada}) \times (N \text{ en } 1 \text{ kg de B}))}{((N \text{ en } 1 \text{ kg de A}) \times (\text{relación C/N deseada}) - (C \text{ en } 1 \text{ kg de A}))}$$

donde:

- S = kg de residuo A
- C = contenido de carbono
- N = contenido de nitrógeno

Métodos de compostaje

Existen diversos métodos de compostaje que varían de acuerdo con las condiciones de aireación, periodo de volteo y calidad producto final. En general los métodos de compostaje pueden ser divididos en cuatro grupos:

- Compostaje pasivo o en pilas estáticas.
- Compostaje en pilas de volteo o en hileras.
- Compostaje en pilas estáticas con aireación (pasiva, forzada).
- Compostaje en Biodigestores.

La elección del método a utilizar va a depender de los requerimientos del productor, inversión, disponibilidad de terreno, entre otros.

Compostaje pasivo en pilas estáticas

Este sistema es el más antiguo y el más simple de todos. Consiste en apilar diversos residuos orgánicos, los cuales son descompuestos en forma lenta, sin realizar manejos para controlar humedad, aireación, temperatura, entre otros. La aireación ocurre de manera natural, a través del aire que fluye en forma pasiva a través de la pila. (Figura 7).

Bajo estas circunstancias el proceso de degradación es dominado por microorganismos anaeróbicos, lo cual produce baja temperatura, lenta descomposición y, en algunos casos, generación de malos olores, gases y líquidos no deseados.

En general, con este sistema no se obtiene un producto de alta calidad, porque en el proceso de

Tabla 1. Condiciones deseables durante el proceso de compostaje (Fraves y Hattemer, 2000)

Características	Rango razonable	Rango óptimo	Compost final
Carbono/Nitrógeno	20:1 - 40:1	25:1-30:1	10:1-15:1
Humedad (%)	40-65	50- 60	30-40
Concentración de O ₂ (%)	>5	Mucho mayor al 5	
pH	5,5-9,0	6,5-8,0	5,0-8,5
T° (°C)	45-66	55-60	
Tamaño partícula (mm)	Variable	<250	<16
Densidad (kg/m ³)	250-600	400	< 700
Materia orgánica (%)			>20
Porosidad		30-50%	

Tabla 2. Composición media y relación C/N de algunos materiales utilizados en el compostaje (O'Ryan y Riffo, 2007)

Material	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	C/N
Residuo de fruta	80	1,4	40
Huesos de aceituna	8-10	1,2-1,5	30-35
Residuos vegetales	-	2,5-4,0	11-13
Residuos de maíz	12	0,6-0,8	56-123
Residuos de tomate	62	4,5	11
Residuos de matadero	10-78	13-14	3,0-3,5
Residuos de pescado	76	10,6	3,6
Gallinaza	37	2,7	14
Estiércol de vacuno	81	2,4	19
Estiércol ovino	69	2,7	2,7
Estiércol de caballo	72	1,2	41
Purines	80	3,1	3,1
Maíz de ensilado	65-68	1,2-1,4	38-43
Heno	8-10	2,1	15-32
Paja de cereales	12	0,7	80
Residuos papel periódico	3-8	0,06-0,14	398-852
Serrín	39	0,24	442
Cortes de pastos	82	3,4	17
Hojas	38	0,9	54
Poda de árboles	70	3,1	235-496

Figura 7. Compostaje en pilas estáticas



Ejemplos para los cálculos de las proporciones, contenido de humedad y relación C/N de una mezcla para compostaje en pilas.

Caso N° 1. Cálculo de la proporción de cada uno de los ingredientes para obtener una humedad adecuada

Se quiere compostar gallinaza de pollo, que normalmente tiene un contenido de humedad del 70 %, una relación C/N de 10 y 6 % de nitrógeno, conviene mezclarlo con materiales que aporten carbono y aseguren una porosidad adecuada como el serrín, que tiene una humedad de 35 %, una relación C/N de 500 y 0,11 % de nitrógeno.

Primero, se debe calcular la proporción de cada uno de los ingredientes para obtener una humedad adecuada (no mayor a 60 %).

Para obtener una mezcla de humedad igual al 60 %, se debe mezclar 1 kg de gallinaza de pollo con S kg de serrín.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{((\text{kg agua en A}) + (\text{kg de agua en B}) + (\text{kg de agua en C}) + \dots)}{((\text{kg de A} + \text{kg de B} + \text{kg de C} + \dots))}$$

$$\text{Humedad} = \frac{60\% = (0,7 + (0,35 \times S))}{(1 + S)}$$

despejando,

$$S = 0,4 \text{ kg de serrín}$$

Si por cada kg de gallinaza de pollo se agrega 0,4 kg de serrín, la relación C/N sería:

$$C/N = \frac{(\text{kg de C en A} + \text{kg de C en B} + \text{kg de C en C} + \dots)}{(\text{kg de N en A} + \text{kg de N en B} + \text{kg de N en C} + \dots)}$$

donde:

$$\text{kg de C en A} = C/N \text{ de A} \times \text{peso de N en A}$$

$$\text{kg de N en A} = \text{kg de A} \times \left(1 - \frac{\% \text{ humedad}}{100}\right) \times \frac{(\% \text{ de N})}{100}$$

De acuerdo con lo anterior:

$$\text{kg de N en gallinaza de pollo} = 1 \times (1 - 0,7) \times 0,06 = 0,018$$

$$\text{kg de gallinaza de pollo} = 10 \times 0,018 = 0,18$$

$$\text{kg de serrín} = 1 \times (1 - 0,35) \times 0,0011 = 0,00072$$

$$\text{kg de C en serrín} = 500 \times 0,00072$$

$$C/N = \frac{0,18 + (0,4 \times 0,36)}{0,018 + (0,4 \times 0,00072)} = 17,7$$

Como la relación C/N es un poco baja para realizar el proceso de compostaje y puesto que la humedad de la mezcla es alta (60%), se tendría que incrementar la proporción de serrín para aumentar la relación C/N de la mezcla.

Caso N° 2. Cálculo de las proporciones de la mezcla para obtener una relación C/N adecuada

Se quiere compostar paja de trigo que tiene una humedad de 15 %, relación C/N de 128 y N de 0,3 %, con gallinaza de pollo que tiene una humedad de 70%, relación C/N de 10 y 6 % de nitrógeno.

Para calcular la cantidad de paja de trigo necesaria para que la mezcla tenga una relación C/N de 25 se debe:

Primero, calcular el contenido de materia seca, kg de C y de N de cada kg de paja de trigo.

$$MS = 1 - \frac{(\% H)}{100} = 0,85 \text{ kg}$$

$$\text{kg de N} = 0,85 \times 0,003 = 0,0026$$

$$\text{kg de C} = 0,0026 \times 128 = 0,33$$

Para obtener una relación C/N de 25, por cada kg de gallinaza de pollo se debe agregar:

$$C/N = 25 = \frac{(0,18 + (S \times 0,33))}{0,048 + (S \times 0,0026)}; S = 1 \text{ kg de paja de trigo}$$

El contenido de humedad de esta mezcla sería:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{0,7 + (1 \times 0,15)}{2} = 0,425 = 42,5\%$$

El contenido de humedad de esta mezcla es bajo para iniciar el proceso de compostaje, por lo que habría que añadir agua directamente a la mezcla.



compostaje no se mantienen en los rangos óptimos los diversos factores que influyen en él. Sin embargo, es un sistema simple y de bajo costo, ya que no requiere de mano de obra para su mantención ni de conocimientos técnicos para su realización.

Compostaje en pilas de volteo

Este método consiste en disponer el material en pilas alargadas ya sea al aire libre o en naves cubiertas. El tamaño de las pilas fluctúa entre 2 y 5 metros de ancho, por 1 o 3 metros de alto y largo variable; su forma puede ser triangular o trapezoidal. Ambos dependen de las condiciones climáticas imperantes, la maquinaria disponible para su elaboración y voltear las pilas, entre otros.

Las pilas deben ser volteadas de forma regular, ya sea manual o mecánicamente. Si se realiza en forma mecánica, se debe disponer de máquinas especialmente destinadas a este fin (volteadoras) o también se pueden usar cargadores frontales. (Figura 8).

La frecuencia del volteo debe ir disminuyendo durante el proceso, por ejemplo:

- Primer mes, voltear dos veces a la semana
- Segundo mes, voltear 1 vez a la semana
- Tercer mes, cada 15 días
- Posteriormente, 1 vez al mes

Con el volteo de las pilas se persiguen los siguientes efectos:

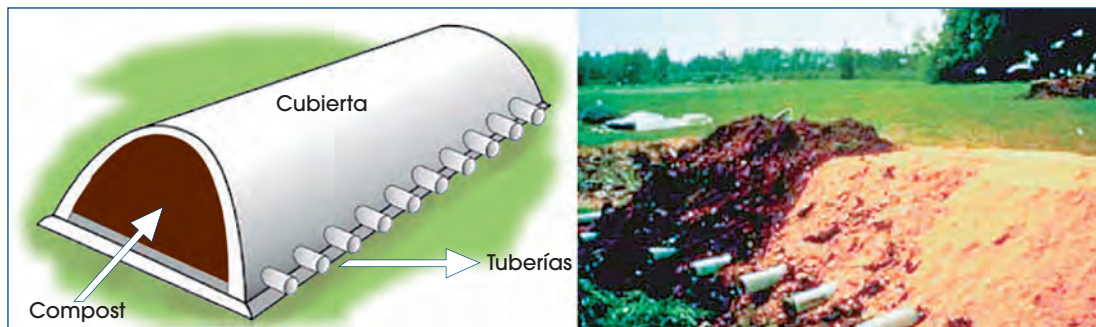
- Mezclado
- Evitar compactación
- Intercambio gaseoso
- Creación de nuevas superficies de ataque para los microorganismos, y
- Control de la temperatura, humedad y pH

Las pilas se deben proteger de exceso de humedad en zonas muy lluviosas o durante el invierno, para evitar condiciones de anaerobiosis o falta de oxígeno.

Figura 8. Pila de compostaje con volteo mecánico



Figura 9. Compostaje en pilas estáticas con aireación pasiva (Graves y Hattermer, 2000)



Compostaje en pilas estáticas aireadas

En este método los materiales a compostar se disponen en pilas al igual que en el sistema anterior, pero la aireación puede ser realizada de forma pasiva o forzada, por lo que se elimina la necesidad del volteo durante el proceso de compostaje.

Compostaje en pilas estáticas con aireación pasiva

Este método consiste en colocar el material a compostar en pilas y airearlo en forma pasiva, a través de una red de tuberías perforadas que se colocan en la parte inferior de la pila (Figura 9).

En este sistema, con el objeto de permitir el adecuado flujo de aire, se debe colocar una cubierta porosa compuesta de turba, paja de cereales, etc. Además, es de vital importancia realizar una adecuada mezcla inicial con el objeto de asegurar una adecuada porosidad y estructura a la pila.

Compostaje en pila estática con aireación forzada

Este método consiste en colocar el material a compostar en pilas sobre una red de tuberías de aireación donde se suministra aire frecuentemente con el propósito de proporcionar el medio aeróbico adecuado para el proceso de compostaje. (Figura 10). Este sistema requiere de un mayor inversión ya que se necesitan una serie de equipamiento como un compresor de aire, red de tuberías, válvulas y sistemas de control de presión de aire, temperatura y humedad.

Una de las ventajas consiste en la disminución del tiempo de compostaje debido al mayor control de los factores que inciden en él.

Compostaje en biodigestores

En este método, el proceso de compostaje se lleva a cabo en un contenedor cerrado en el cual se desarrolla un proceso aeróbico acelerado para generar compost. Puesto que estos contenedores son de volumen reducido con relación al volumen de deyecciones que se genera en una granja lechera, no nos parece que sea un método de utilidad.

Al terminar el proceso, se debe realizar un test

de respiración. Hay diferentes metodologías, pero el más visual, directo y simple es introducir 200 g de material compostado en una bolsa de plástico transparente y dejarlo por 24 horas. Si la bolsa se infla y si hay condensación significa que el proceso de compostaje no ha terminado y el compost no ha madurado.

Si se requiere mayor precisión, es preciso hacer análisis químicos de diversos parámetros (Tabla 3).

Tabla 3. Valores referenciales de un compost madura (FAO, 2012)

Parámetro	Valor referencial
pH	6,5-8,0
K	0,4-1,6
P2O5	0,1-1,6
N Total	0,4-3,5
C/N	10-30

Resumen

El compostaje es un proceso aeróbico que puede suponer una solución adecuada para gestionar las deyecciones ganaderas cuando no es posible, por una u otra causa, utilizarlas de la manera habitual, es decir, aplicándolas directamente al suelo agrícola. También permite aprovechar otros materiales orgánicos que, de otro modo, supondrían un residuo más caro de gestionar. Conocemos algún caso de granja lechera donde se composte el estiércol y, dada su proximidad a una zona urbana de determinadas características (chalets con jardín), su comercialización es fácil y próxima, suponiendo este compost un importante ingreso económico.

Referencias bibliográficas

- FAO, 2012. Taller de técnicas compostaje. Cambio climático y sostenibilidad. Paraguay
- Graves, R. y Hattermer, G. 2000. National Engineering Handbook: Composting.
- O’Ryan y Riffo. 2007. El compostaje y su utilización en agricultura. Universidad de Las Américas. Chile.
- Rink, R. et al. 1992. On-Farm Composting Handbook. Natural Resource Agriculture and Engineering Service.

Figura 10. Pila estática con aireación forzada (Graves y Hattermer, 2000)

