

Compostaje de grasas y lodos generados en "PTAR"*

Ing. Gustavo Arévalo León * e Ing. Jairo A. Romero Rojas**

* Magíster en Ingeniería Ambiental.

** I.C., MEEE., Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, Profesor Escuela Colombiana de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

En busca de una disposición adecuada de los lodos generados por plantas de tratamiento de aguas residuales, las industrias nacionales se ven abocadas a la adopción de estrategias que implican altos niveles tecnológicos, lo cual se traduce en sobrecostos en el tratamiento de sus residuos líquidos. Una alternativa para el caso específico de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR, de la industria láctea, cuyos residuos líquidos son ricos en contenido de grasas y aceites, es el compostaje aerobio por pilas.

El compostaje es la degradación biológica controlada de materiales orgánicos, hasta formar un compuesto estable, de color oscuro, textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost. El proceso de compostaje busca tres objetivos fundamentales:

1. La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.

2. La destrucción de patógenos gracias a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso.

3. La reducción másica del material húmedo, a través de la remoción de agua y de sólidos totales volátiles.

Existen diferentes formas de realizar compostaje aerobio de lodos, las cuales van desde métodos muy artesanales, hasta procesos que involucran tecnología de punta y por lo tanto costosos. En general, todos los métodos de compostaje incluyen las siguientes operaciones básicas:

1. Mezclado del material llenante con lodo

2. Descomposición microbial del material orgánico (compostaje)

3. Clasificación o tamizado del material

4. Recirculación del material grueso

5. Curado del material fino

6. Almacenamiento y comercialización.

El compostaje requiere, para su funcionamiento óptimo, el control o seguimiento de algunas

condiciones que tienen incidencia directa sobre el proceso, tales como: temperatura, pH, aireación, contenido de humedad, relación carbono/nitrógeno, material llenante e inóculo.

Este trabajo presenta los resultados más importantes del estudio realizado para evaluar y optimizar la operación del proceso de compostaje aerobio en pilas, como método de tratamiento de los lodos con grasas generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea¹. El estudio incluyó los siguientes objetivos específicos:

1. Determinación del método de aireación más adecuado (natural o mecánico) para el proceso de compostaje aerobio por pilas.

2. Evaluación del llenante más apropiado para el proceso de compostaje, entre tamo de cebada, aserrín y viruta de madera

3. Evaluación de la influencia que tiene el tamaño de partícula del llenante utilizado, sobre el desarrollo del proceso.

4. Evaluación de la influencia de la altura de las pilas para un proceso óptimo de compostaje aerobio.

EL PROCESO

El compostaje o composteo ha sido una labor simple y tradicional practicada por agricultores y granjeros del mundo entero, durante cientos de años, para mejorar las propiedades del suelo. Materiales vegetales y estiércol de animales son colocados en pilas, en espacios abiertos o dentro de fosas, con el fin de permitir la fermentación a través de la acción microbial natural, hasta cuando el compuesto está listo para aplicarlo fácilmente al suelo.

El compostaje de excretas humanas mezcladas con otros residuos ve-

En procesos de aireación forzada se recomienda un flujo de aire promedio de 23 m³ /h por tonelada de lodo seco para una estabilización rápida de lodos.

* PTAR: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

getales y estiércol se practica en China desde hace más de 4.000 años y es considerado como un aspecto de importancia vital para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y del soporte de la población.

El primer proceso de compostaje patentado fue el de Giovanni Beccari, en Florencia, Italia. Hacia 1931, Jean Bordas modificó el proceso Beccari al introducir aire mecánicamente, para eliminar condiciones anaeróbicas. Otros procesos conocidos son el G.H. Earp – Thomas, patentado en Nueva Jersey en 1939; el proceso Frazer, patentado en 1949; el proceso Dano, desarrollado en Dinamarca; el Ralph W. Riker y otros de consecución mediante contratos llave en mano.

El compostaje se realiza en dos etapas metabólicas. La primera etapa o de síntesis, convierte la materia orgánica en biomasa celular. La se-

gunda etapa o de respiración endógena, obliga a los microorganismos a metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, es decir, al

agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, lo que conduce a la formación de compuestos inorgánicos simples y estables, considerados el producto final del composteo o compost.

Los microorganismos ejecutores del proceso pueden ser: bacterias, hongos y actinomices, capaces de metabolizar sustancias simples y complejas. Las bacterias son las responsables de la mayor degradación del material orgánico; inicialmente a temperaturas mesófilas, menores de 40 °C, cuando descomponen carbohidratos, azúcares y proteínas y, posteriormente, a temperaturas termofílicas, superiores a 40 °C, cuando descomponen proteínas, lípidos, grasas y celulosa. Ellas son, sin

duda, las responsables de las altas temperaturas alcanzadas en el proceso.

Los hongos están presentes en la fase mesófila y termófila; metabolizan celulosa y hemicelulosa, y se desarrollan más hacia la parte exterior de las pilas por su naturaleza aeróbica.

Los actinomices parecen ser responsables de la degradación de hemicelulosa, azúcares, almidones, ligninas, proteínas, ácidos orgánicos y polipéptidos.

Probablemente la temperatura es el factor ambiental más importante por su efecto sobre la viabilidad y el desarrollo de los microorganismos. Los microorganismos al consumir materia orgánica generan calor, la descomposición es más rápida cuando la temperatura del compost se encuentra entre 32 °C y 60 °C. Por encima de 60 °C se obtiene una eliminación óptima de patógenos, pero se inhibe fuertemente la actividad microbial responsable del proceso.

La temperatura alcanzada en un sistema de compostaje, así como el pH, son buenos indicadores del desarrollo del proceso como se visualiza en la figura 1². En la etapa mesófi-

El compostaje o composteo ha sido una labor simple y tradicional practicada por agricultores y granjeros del mundo entero, durante cientos de años, para mejorar las propiedades del suelo.

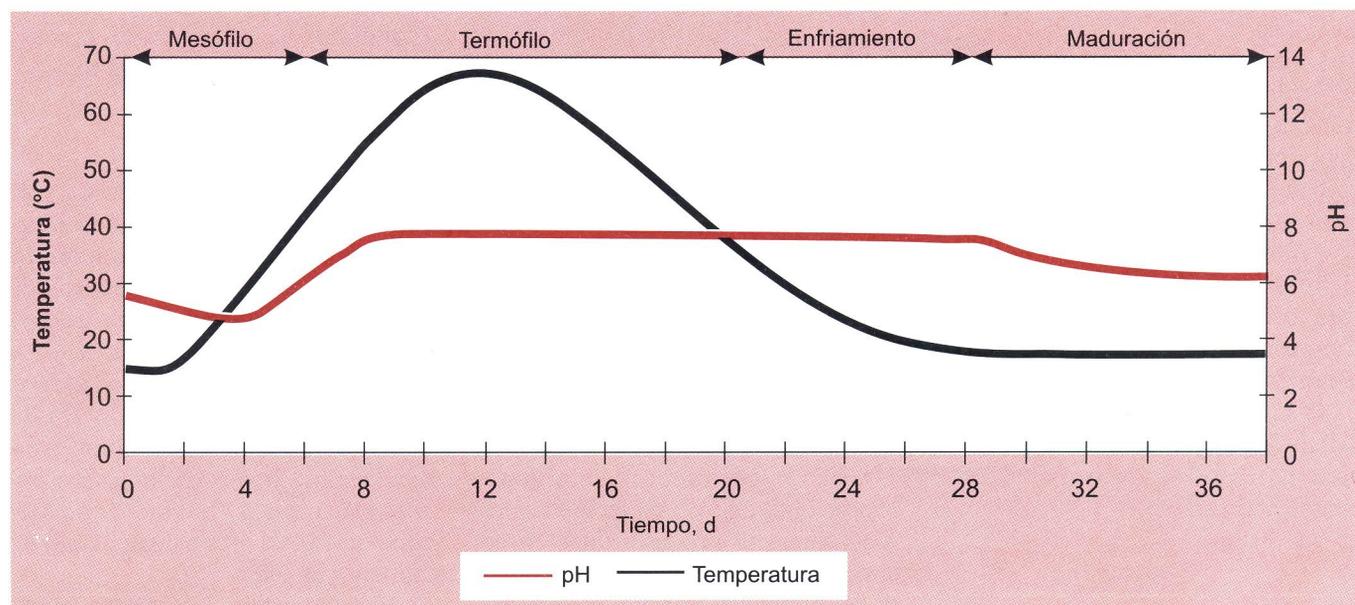


Figura 1. Variación de la temperatura y el pH en el proceso de compostaje.



Figura 2. Equipo para volteo de pilas.

como viruta o aserrín de madera, que facilitan el proceso al ajustar la relación C/N y la humedad. El tamaño de partículas es, también, factor de importancia; en general se recomiendan partículas con tamaños entre 0,3 y 2,7 cm.

La adición de simiente o inóculo acorta la fase de aclimatación y el período de compostaje; en la práctica, la mayoría de los lodos orgánicos poseen suficiente simiente

microbial. La duración del proceso es una variable incierta, pero se reconoce que puede durar, en pilas estáticas, entre seis a doce semanas; en celdas, entre dos a seis meses y, en sistemas con aireación mecánica, 45 días sin incluir la etapa de maduración.

METODOLOGÍA

En la primera etapa del estudio se determinó el material llenante más apropiado para llevar a cabo el compostaje aerobio por pilas, para la degradación de las grasas y aceites contenidos en el sobrenadante obtenido de un sistema de flotación por aire disuelto, FAD, de la planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. Se utilizó tamo de cebada, viruta y aserrín de madera.

En la segunda etapa se ensayaron dos métodos de aireación para el compostaje aerobio. El primero de ellos aireación mecánica, mediante un ventilador centrífugo de 4 HP con aletas radiales y un sistema de tubería en PVC de 4" colocado en la base de dos pilas, en forma de espina de pescado. Este sistema de aireación suministraba aire al material a razón de 63,4 m³/h-ton de material a compostar durante los primeros siete días de proceso y, posteriormente, a razón de 38 m³/h-ton de material a compostar. El suministro de aire fue intermitente, para evitar un exceso de oxigenación. Se utilizaron tiempos de aireación de 20 minutos con períodos de reposo de 40 minutos (véase figura 2). El segundo método de aireación utilizado fue el de volteo del material con la ayuda de un cargador frontal tipo Bobcat, y un tractor agrícola (véase figura 3).

la, la temperatura oscila entre 20 °C y 40 °C y el pH es menor de 6,0; en la etapa termófila, la temperatura es superior a 32 °C y alcanza valores de 70 °C; a su vez, el pH puede ser superior a 7,0. En la tercera etapa o etapa de enfriamiento, la temperatura desciende alrededor de los 20 °C, el pH se acerca a 7,0 y pueden predominar los actinomicetes. En la última etapa, o fase de maduración, la temperatura se estabiliza alrededor de 20 °C y el pH alrededor de 7,0 con actividad microbiana lenta hasta el agotamiento del sustrato biodegradable.

Para el compostaje aeróbico, la aireación es un factor clave. Una aireación adecuada mantiene la aerobiosidad; controla olores, temperatura, remoción de humedad; permite una tasa alta de degradación y la obtención de un compost seco y estabilizado. En general, en procesos de aireación forzada se recomienda un flujo de aire promedio de 23 m³ /h por tonelada de lodo seco para una estabilización rápida de lodos; sin embargo, la literatura no es concluyente sobre la tasa óptima de aireación.

La humedad afecta el proceso de compostaje. En general, se recomiendan humedades de 50% a 60% para soportar una actividad biológica apropiada. Valores de humedad inferiores al 50% retardan la descomposición; valores de humedad superiores a 60% producen lixiviados, deterioran la calidad del compost tamizado y aumentan la cantidad másica de material a manejar. Para una buena actividad microbiana de composteo, se recomienda una relación nutricional de carbono a nitrógeno, C/N, generalmente entre 25 y 35.

Los lodos orgánicos, para convertirse en compost, requieren, además, un acondicionamiento o un llenante

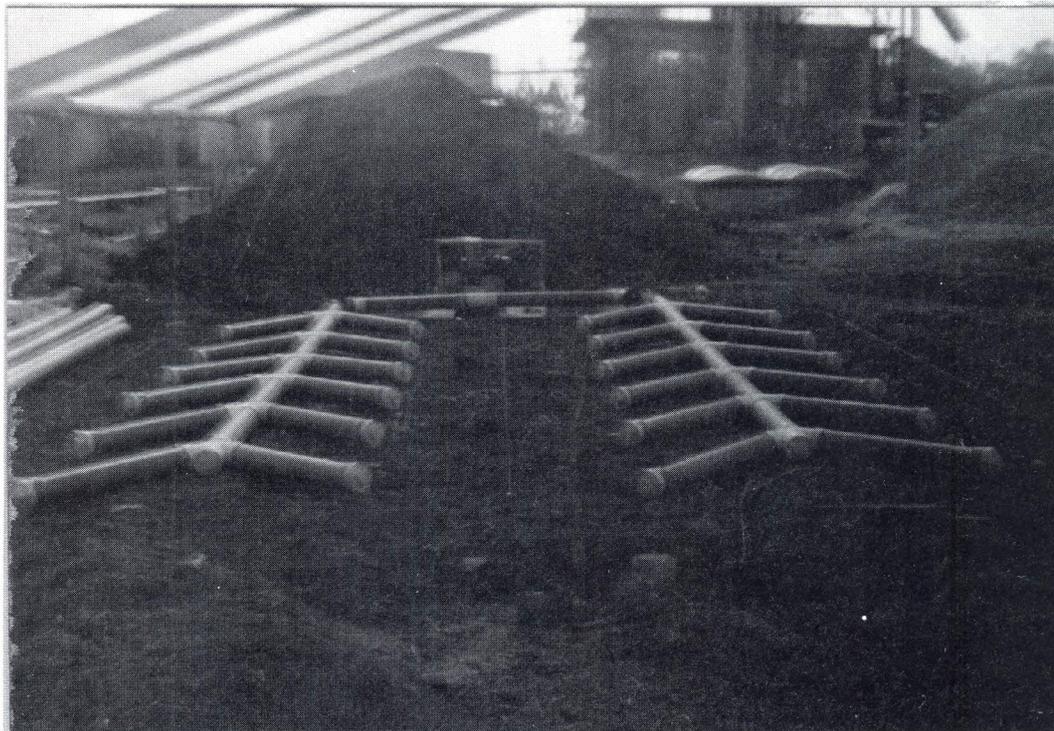


Figura 3. Sistema para aireación forzada.

En la tercera etapa se ensayaron los tres materiales llenantes utilizados inicialmente, para verificar los resultados obtenidos en la primera etapa. Para la determinación de la influencia de la altura de las pilas sobre el proceso, se ensayaron dos alturas diferentes: 0,8 m y 1,4 m; alturas adecuadas para trabajar con la maquinaria disponible. Se hicieron tres repeticiones por cada tratamiento ensayado.

El control del proceso se realizó mediante la determinación periódica de:

- Contenido de humedad (%)
- Contenido de grasas y aceites (%)
- Temperatura
- pH
- Contenido de sólidos totales volátiles (%)
- Relación carbono/nitrógeno

Aunque el grado de estabilización del compost suele determinarse de acuerdo con el perfil de pH y temperatura, en este caso se usó como factor fundamental de control el contenido de grasas y aceites al cabo del período de proceso y la correspondiente remoción de éstas; debido a que el objetivo principal de la utilización del compostaje aerobio por pilas para la disposición adecuada del sobrenadante producido por la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, es la eliminación de las grasas y aceites contenidos en dicho sobrenadante.

RESULTADOS

Selección del material sellante

La reducción de las grasas y aceites para cada uno de los materiales, se muestra en la figura 4.

Al someter los datos a un análisis de regresión exponencial, se obtuvieron las ecuaciones 1, 2 y 3.

$$\text{Para el aserrín } y = 4,26 e^{-0,065x} \quad r^2 = 0,96 \quad (1)$$

$$\text{Para la viruta } y = 7,89 e^{-0,083x} \quad r^2 = 0,88 \quad (2)$$

$$\text{Para el tamo } y = 8,56 e^{-0,085x} \quad r^2 = 0,93 \quad (3)$$

Donde,

y = contenido de grasas y aceites para un tiempo x (%)

x = tiempo de proceso (días)

r^2 = coeficiente de regresión

En las tres pilas, con llenante diferente, se obtuvo un porcentaje de reducción de grasas y aceites superior a 95%. Los períodos para alcanzar dicha reducción fueron:

Aserrín en 57 días

Viruta en 64 días

Tamo en 42 días

La relación inicial de C/N, en los tres materiales ensayados, fue:

Aserrín 22,5

Viruta 20

Tamo 11

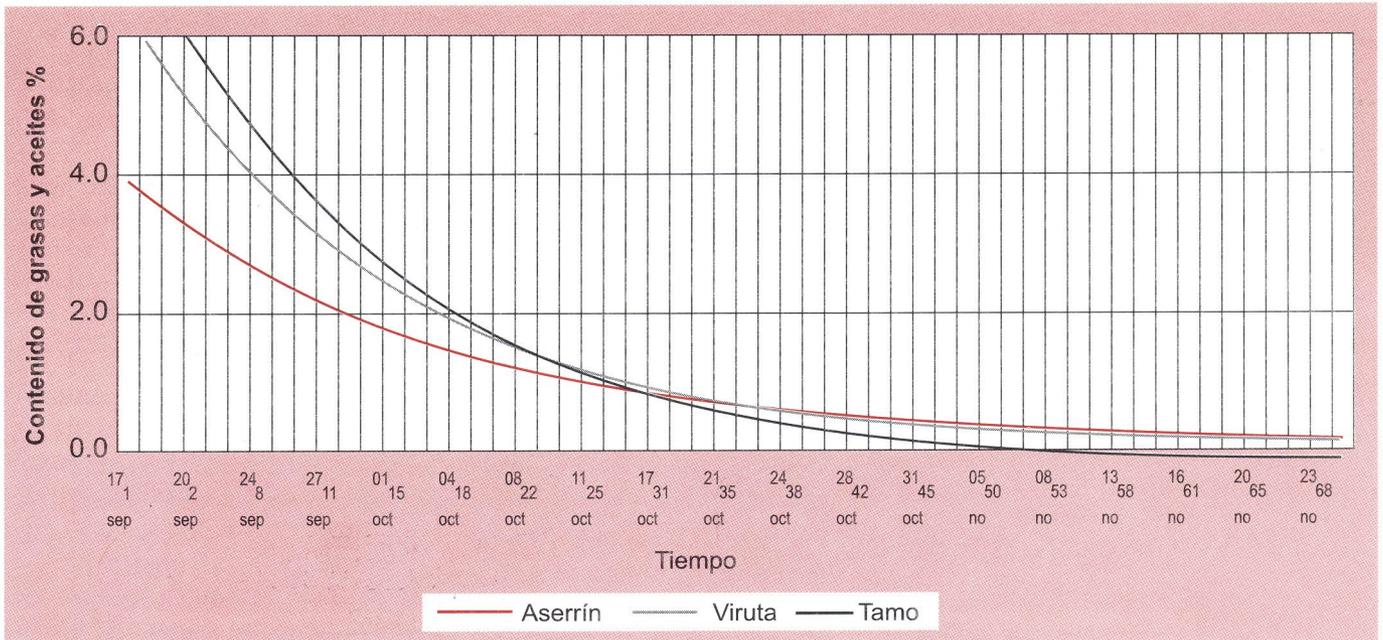


Figura 4. Contenido de grasas y aceites remanente durante el proceso de compostaje.

Para conservar el rango óptimo de humedad, fue necesaria la adición de agua en diferentes días durante el proceso, debido a la pérdida excesiva de ésta.

En cuanto a sólidos totales volátiles, se obtuvo una remoción de:

- 33% con el aserrín
- 50% con la viruta
- 15% con el tamo de cebada.

Para los ensayos posteriores se adoptó un tiempo de proceso de 30 días, de acuerdo con el perfil de temperatura y pH en las tres pilas, ya que a partir de este tiempo de proceso no se obtiene una degradación adicional significativa de grasas y aceites.

SELECCIÓN DE MÉTODO DE AIREACIÓN

Para la selección del método óptimo de aireación se prepararon pilas con aserrín. Las curvas de degradación de grasas y aceites se muestran en la figura 5. Las ecuaciones resultantes son:

Pilas con aireación natural

$$\text{Pila No. 13} \quad y = 12,81 e^{-0,0259x} \quad r^2 = 0,91 \quad (4)$$

$$\text{Pila No. 14:} \quad y = 13,79 e^{-0,0178x} \quad r^2 = 0,78 \quad (5)$$

Pilas con aireación forzada

$$\text{Pila No. 15} \quad y = 15,49 e^{-0,0457x} \quad r^2 = 0,93 \quad (6)$$

$$\text{Pila No. 16:} \quad y = 15,86 e^{-0,0516x} \quad r^2 = 0,87 \quad (7)$$

Donde:

y = contenido de grasas y aceites para un tiempo x, en porcentaje

x = tiempo de proceso, expresado en días

r² = coeficiente de regresión

Tanto en la figura 5, como en las ecuaciones 4 a 7, se observa que la degradación de grasas y aceites es más alta para las pilas aireadas naturalmente por volteo. En las pilas sometidas a aireación forzada, por ventilación mecánica, durante todo el período de compostaje se percibió un olor no ofensivo y la temperatura se mantuvo homogénea por encima de 35 °C en toda la pila. En las dos pilas manejadas por aireación por volteo, se percibieron algunos olores molestos y la variación lógica de temperatura cada vez que se hacía el volteo. En estas pilas no se detectaron hongos ni levaduras, lo que puede explicarse por las altas temperaturas alcanzadas en el proceso, hasta 60 °C, las cuales inhibieron estos microorganismos.

En las pilas con ventilación mecánica la remoción de agua fue muy alta y causó compactación del material, lo cual obligó a deshacer las pilas para recuperar porosidad y a adicionar agua, casi todos los días, para evitar la inhibición del proceso por condiciones ambientales inadecuadas. Aunque se presume que la tasa de aireación usada en el ensayo es alta, por la fuerte compactación y reducción de humedad que se presentó, en ningún momento se observó enfriamiento del material. Es probable que la compactación observada del material se haya debido al tamaño de partículas del mismo y a la pérdida de humedad.

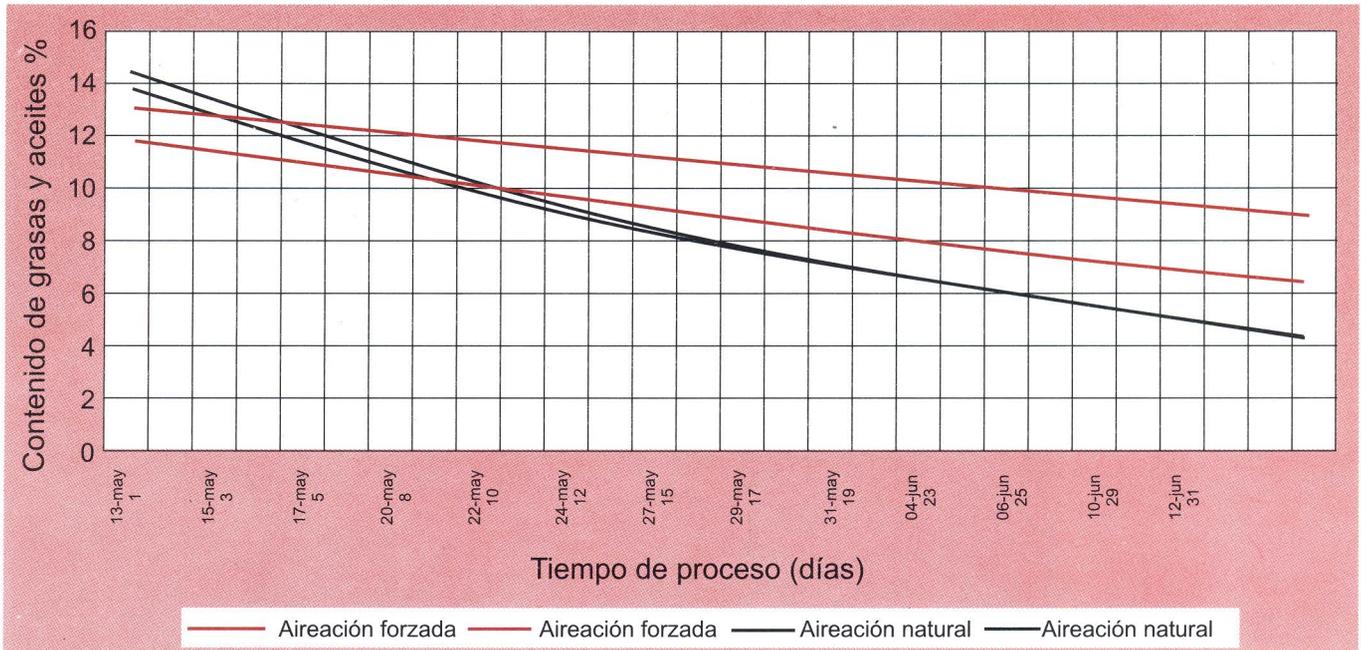


Figura 5. Reducción del contenido de grasas y aceites para los dos métodos de aireación ensayados.

Los contenidos finales de sólidos volátiles, en todas las pilas, fueron similares.

INFLUENCIA DE LA ALTURA DE LAS PILAS

Aserrín

Las características observadas en las pilas de aserrín de 0,8 m y 1,4 m de altura se resumen en las tablas 1 y 2.

La degradación de grasas y aceites, principal objetivo del compostaje propuesto, es mayor en las pilas de aserrín con altura de pila de 0,8 m, de 72% a 88%; en un período de proceso de 30 días, 25 de ellos en rango termófilo. Las pilas con una altura de 1,40 m, presentan una reducción en el contenido de grasas y aceites de 65% a 80%, en el mismo período.

Viruta

Los resultados, para las pilas de viruta de 0,8 m y 1,4 m de altura se incluyen en las tablas 3 y 4.

La reducción del contenido de grasas y aceites en las pilas de viruta, al

Tabla 1
Características del proceso de compostaje para pilas de aserrín de 0,8 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	23 días	27 días	26 días
Remoción de grasas y aceites	88%	72%	88%
Remoción de humedad	66%	73%	63%
Remoción de sólidos totales volátiles	10%	8%	5%

Tabla 2
Características del proceso de compostaje para pilas de aserrín de 1,4 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	24 días	26 días	24 días
Remoción de grasas y aceites	74%	65%	80%
Remoción de humedad	60%	56%	68%
Remoción de sólidos totales volátiles	13%	12%	12%

Tabla 3
Características del proceso de compostaje para pilas de viruta de 0,8 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	25 días	27 días	25 días
Remoción de grasas y aceites	77%	82%	85%
Remoción de humedad	78%	78%	67%
Remoción de sólidos totales volátiles	21%	20%	19%

igual que en las de aserrín, es mayor en las pilas con altura de 0,8 m; de 77% a 85%. El perfil de pH se comporta de acuerdo con lo esperado, variando en un rango de 6,0 a 8,3 unidades. Al igual que en el ensayo con aserrín, la reducción de sólidos totales volátiles es ligeramente mayor en las pilas de 1,4 m de altura, 24% en promedio, mientras que en las de 0,8 m de altura es de 20% en promedio.

Tamo de cebada

Los resultados obtenidos, para las pilas de tamo de cebada de 0,8 m y 1,4 de altura, se muestran en las tablas 5 y 6.

La reducción de grasas y aceites para las pilas con una altura igual a 0,8 m, utilizando tamo de cebada como material llenante, fue de 66% a 92%, mientras que para el tratamiento con una altura de 1,4 m se obtuvieron valores de 60% a 95%. A pesar del aumento de temperatura, la población de bacterias aerobias mesófilas se mantuvo en títulos entre 10^5 y 10^8 ufc/g durante todo el período de proceso. Los actinomicos, capaces de tolerar un amplio rango de temperatura, aún por encima de los 60 °C, se observaron en títulos entre 10^3 y 10^5 ufc/g y se mantienen durante todo el proceso. En la población de levaduras se observaron títulos iniciales de 10^5 ufc/g; pero con el incremento de la temperatura, descendiendo drásticamente la población hasta niveles no detectados. Los hongos presentan un efecto similar a las levaduras, tanto los mesófilos como los termófilos, reduciendo su población al incrementarse la temperatura, para luego recuperarse, en algunos casos, hacia el final del período de compostaje.

CONCLUSIONES

Y RECOMENDACIONES

El proceso de compostaje aerobio, por pilas, es una excelente alternativa para el tratamiento y estabilización de grasas provenientes de un sistema

de flotación por aire disuelto, F.A.D.

El método de aireación más eficiente para el proceso de compostaje aerobio por pilas fue el de aireación natural por volteos.

El material llenante más apropiado, para compostaje del material removido en el proceso F.A.D. para la industria láctea, fue el tamo de cebada. Sin embargo, el alcance del trabajo realizado permite afirmar que la viruta y el aserrín de madera también son materiales adecuados como llenante.

El tamaño de partículas influye directamente sobre el proceso de compostaje; partículas finas limitan el intercambio gaseoso y por lo tanto no permiten una adecuada degradación de materia orgánica. La mezcla apropiada de todos los materiales de la pila, en el momento de armado, hace necesario observar gran cuidado y diligencia en tal propósito

Tabla 4

Características del proceso de compostaje para pilas de viruta de 1,4 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	24 días	27 días	25 días
Remoción de grasas y aceites	65%	77%	77%
Remoción de humedad	67%	68%	69%
Remoción de sólidos totales volátiles	29%	25%	19%

Tabla No 5

Características del compostaje para pilas de tamo de cebada de 0,8 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	25 días	24 días	26 días
Remoción de grasas y aceites	86%	84%	92%
Remoción de humedad	76%	82%	86%
Remoción de sólidos totales volátiles	17%	16%	20%

Tabla 6

Características del compostaje para pilas de tamo de cebada de 1,4 m de altura

Característica	1ª repetición	2ª repetición	3ª repetición
Duración del período termófilo	26 días	30 días	28 días
Remoción de grasas y aceites	60%	79%	95%
Remoción de humedad	69%	83%	86%
Remoción de sólidos totales volátiles	14%	10%	15%

La altura de pila es un factor de mucha importancia para el éxito del proceso de compostaje aerobio por pilas. En los ensayos realizados las pilas de 0,8 m presentaron mejores resultados que las de 1,4 m.

Los mejores resultados en cuanto a degradación de grasas y aceites y tiempo de proceso se obtienen con tamo de cebada. Sin embargo, como este material presenta una pérdida alta de humedad durante el proceso, es necesario ajustarla permanentemente.

REFERENCIAS

1. Arévalo León Gustavo, Compostaje de grasas y lodos generados en "PTAR", trabajo de grado para obtener el título de M. Sc. en ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, 2. Universidad Nacional de Colombia, 1998.
2. Tchobanoglus G. *et al.*, *Gestión integral de residuos sólidos*, McGraw-Hill, 1996.