

Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite

Environmental management of organic waste: State of the art of composting generation from solid waste of the grease and oil trap systems

Yuliana González-Jiménez¹, Josué Villalobos-Morales²

Fecha de recepción: 22 de diciembre de 2019
Fecha de aprobación: 28 de abril de 2020

González-Jiménez, Y; Villalobos-Morales, J. Manejo ambiental de residuos orgánicos: estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-2. Abril-Junio 2021. Pág 11-22.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4843>



- 1 Profesora en la Universidad Técnica Nacional. Costa Rica. Correo electrónico: yuliana.gonzalezjimenez@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-4956-3720>
- 2 Químico en Chémica S.A. Costa Rica. Correo electrónico: jvillalobos-p@hotmail.es
 <https://orcid.org/0000-0002-0225-6873>

Palabras clave

Residuos; residuos orgánicos; residuos de trampas de grasas; *Pseudomonas*; compostaje.

Resumen

La inadecuada disposición de residuos trae consigo una serie de impactos ambientales negativos tanto para los seres humanos como para la biota en general. Uno de los residuos municipales que representa la principal fuente de impactos y riesgos ambientales adversos en los vertederos tradicionales es la fracción orgánica biodegradable, especialmente los residuos de las trampas de grasas y aceites. Las técnicas para su disminución en vertederos comprenden desde generación de biodiesel hasta el compostaje. En el presente estudio se realiza una descripción del estado del arte de algunas metodologías utilizadas a nivel mundial para llevar a cabo el compostaje de los residuos de las trampas de grasas y aceites; esto con la intención de lograr minimizar los impactos ambientales generados por la inadecuada disposición de los mismos. Se determinó que, por las condiciones climatológicas habituales de nuestro país, es posible utilizar los procesos de compostaje en el tratamiento de los residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasas y aceites.

Keywords

Waste; organic waste; grease trap residue; *Pseudomonas*; composting.

Abstract

The wrong disposal of waste brings with it a series of negative environmental impacts for both humans and biota in general. One of the municipal waste that represents the main source of environmental impact and risk in traditional landfills is the biodegradable organic fraction, especially residues from grease and oil traps. The techniques for its decrease in landfills is establish from biodiesel generation to composting. The present study, is a description of the state of the art of some methodologies used worldwide to carry out the composting of the residues of grease and oil traps. It was determined that due to the usual weather conditions in our country, it is possible to use composting processes in the treatment of solid waste from grease and oil trap systems.

Introducción

El incremento social, económico, tecnológico y demográfico, ha generado una mayor demanda de productos a nivel mundial, dando como resultado un mayor consumo y consecuentemente una alta generación de residuos. Se define residuo como cualquier material residual de origen industrial y actividades humanas que no tienen valor residual [1].

La generación de residuos y la inadecuada disposición de los mismos, trae consigo una serie de impactos ambientales que repercuten en la calidad del aire, agua y suelo, aunado a esto se desarrollan afectaciones en la salud de la población, las cuales son provocadas por las emanaciones de gases que producen desde malos olores hasta incendios. Además, se proporciona un aporte significativo en la generación de lixiviados que eventualmente podrían contaminar los mantos acuíferos, provocando así la proliferación de fauna nociva [2].

Otros autores describen que al existir una gestión inadecuada de residuos, la acumulación incontrolada de los mismos puede generar graves problemas, ya que son foco de infección y contaminación, destacando impactos como la proliferación de insectos y roedores, el desarrollo

de vectores de enfermedades para el hombre y otros animales, la aparición de malos olores y gases tóxicos procedentes de la descomposición de la materia orgánica, la generación de impacto paisajístico negativo por la acumulación de espacios no apropiados, contaminación del suelo y de aguas superficiales y subterráneas por la producción de lixiviados con un alto índice de toxicidad y una alta contaminación atmosférica por la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, lo cual provoca gas metano (gas de efecto invernadero) [3].

La variabilidad tanto en los residuos como en el tiempo de degradación y los impactos generados por los mismos, deben ser considerados. Por ejemplo, aunque los materiales plásticos tienen un amplio uso, los desechos plásticos tienen un gran impacto en el medio ambiente porque en su mayoría no son biodegradables. Otro residuo importante es el papel, este material representa del 30 al 40% del total de desechos sólidos municipales. Por otra parte, los metales son materiales reciclables utilizados para obtener productos de alto valor, los cuales, al ser desechados de manera incorrecta pueden presentar problemas serios en el medio ambiente, bioacumulándose en ciertos organismos hasta llegar a ser ingeridos por los seres humanos. Otro material que puede reciclarse fácilmente es el vidrio, una ventaja para reciclar vidrio es la reducción en el consumo de energía en comparación con el uso de materia prima de sílice. Además, la composición de los desperdicios de comida y jardín es muy diversa, es por esto que su caracterización representa una limitante en la utilización de estos desechos y en la obtención de productos valiosos. Sin embargo, estos desechos tienen un alto potencial para ser reutilizados [1].

Los residuos urbanos, al tener una composición tan heterogénea, es necesario agrupar sus componentes en categorías inertes, fermentables y combustibles. Algunos ejemplos de residuos inertes son metales, vidrios, restos de reparaciones domésticas, suelo, escoria y cenizas. Por otra parte, los residuos fermentables se consideran como la fracción orgánica, la cual está compuesta por restos de comida, de jardinería, entre otros materiales fermentables. Finalmente, entre los residuos combustibles se pueden clasificar el papel, el cartón, los plásticos, las gomas, los cueros, los textiles y otros [3].

La fracción orgánica de residuos sólidos municipales, se conoce comúnmente como fracción orgánica biodegradable debido su origen y naturaleza. Estos se componen principalmente de residuos de alimentos, desechos de cocina (grasas y aceites) y sobras de residencias, restaurantes, cafeterías, comedores de fábricas y mercados. Dicha fracción se caracteriza por contener una alta humedad y una alta biodegradabilidad, por lo que se dice que la fracción orgánica biodegradable es la principal fuente de impactos y riesgos ambientales adversos en los vertederos tradicionales (olores, incendios, COV, contaminación del agua subterránea por lixiviados, cambios climáticos globales, etc.) [4].

Actualmente, ha surgido un gran interés en la producción, gestión y tratamiento de los residuos, así como en el aprovechamiento de fuentes de energías alternas mediante el desarrollo de nuevas tecnologías, o de la utilización de residuos generados en múltiples procesos productivos [5], [6]. Por lo cual se ha innovado en el tema de utilización de grasas y aceites (FOG) provenientes de los residuos de trampas de grasas generados en los restaurantes de comida, hogares y plantas de tratamiento de aguas residuales [5].

Los residuos de las trampas de grasas se derivan del pretratamiento de aguas residuales de restaurantes, cadenas de comida rápida y procesadores de alimentos. Se extraen las grasas de las trampas interceptoras de grasa con un contenido de sólidos entre 5 y 6% [7] (GTC). Las grasas y aceites, son subproductos generados en los procesos de cocción, contemplando tanto grasas animales como aceites vegetales. Las fuentes más comunes de dichos residuos son grasas de carne, manteca de cerdo, salsas, sebo, aceite de cocina, mantequilla, margarina,

aderezos, comida frita, productos horneados, quesos, entre otros. Estas grasas y aceites suelen estar presentes en estado sólido y en estado líquido viscoso, dependiendo del grado de saturación de las cadenas de carbono [5].

El tratamiento adecuado de las FOG provenientes de restaurantes y casas de habitación, aportan una serie de beneficios ambientales, ya que la descarga de dichos contaminantes en el sistema de alcantarillado genera procesos de acumulación y obstrucción de tuberías. Esto debido a los ácidos grasos libres (AGL) formados en el proceso de freír las grasas y aceites, donde estos materiales sufren un proceso de saponificación en presencia de los tensoactivos presentes en los jabones de cocina, los cuales al entrar a los sistemas de alcantarillado pueden sufrir procesos reversibles, formando nuevamente los AGL y obstruyendo el sistema de alcantarillado, incurriendo en la generación de problemas ambientales al tener que remediarlos [5], [8].

Otros problemas ambientales tales como el aumento de la materia orgánica y la eutrofización, generan la pérdida de la diversidad de estos ecosistemas, los cuales surgen con el vertimiento de estos residuos a fuentes de agua potable lo cual agrava la situación aún más [9].

A partir de estos factores, se enfatiza en la importancia de llevar a cabo el tratamiento de las grasas y aceites para la obtención de productos o como fuente de energía, ya que estos generalmente son tratados como desechos [10].

Este tipo de residuo se puede clasificar según su fuente de generación, en el caso de las grasas y aceites se dividen en dos tipos: aceites de cocina usada identificados típicamente como UCO por sus siglas en inglés y residuos de trampas de grasa (GTW), en donde principal diferencia es la composición de ácido graso libre, si este es menor al 15% se le cataloga como UCO y si este es mayor se identifica como GTW [10].

Tratamiento de residuos de grasas y aceites

A nivel nacional las grasas y aceites que son empleadas durante el proceso de fritura de alimentos en los servicios de alimentación al público, deberán tener un contenido menor o igual al 25% de compuestos polares totales (CPT), y aquellos que no cumplan con el límite CPT establecido, deben disponerse e incluirse en un programa de manejo integral de residuos conforme a lo estipulado en la Ley para la Gestión Integral de Residuos Ley N° 8839-S [11]. Es por esto que se muestra la importancia de generar nuevos ámbitos de conocimiento sobre la disposición y metodologías de tratamiento de los residuos de las trampas de grasas y aceites.

Los residuos de grasas y aceites obtenidos, poseen varias formas de tratamiento tales como disposición en rellenos sanitarios o vertederos, procesos de digestión anaeróbica y generación de biodiesel [12]oil, and grease (FOG. Actualmente, la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios, es la técnica más empleada a nivel global, sin embargo, está siendo regulada por muchos países, fomentando el empleo de nuevas formas de tratamientos, los cuales generan formas más limpias de su uso [12]oil, and grease (FOG.

Según Rojas [13], en el tratamiento de los FOG, el compostaje es una aplicación adecuada, este proceso se basa en la descomposición biológica de los compuestos orgánicos que deben estar bajo condiciones aeróbicas controladas.

En definición, el compostaje consiste en un tratamiento aeróbico biológico en donde organismos mesofílicos y termofílicos transforman la materia orgánica en dióxido de carbono, agua, amoníaco y compost, el cual puede inferir en resultados positivos al medio ambiente debido a la eliminación amigable de este tipo de residuos, sin embargo, si el proceso no se

monitorea de manera adecuada genera la inhibición del crecimiento de la diversidad, además los lixiviados pueden contener la formación de sustancias tóxicas que generan problemas en el medio ambiente [14].

Se ha demostrado que el compostaje es un proceso de tratamiento muy exitoso para aceites minerales, como por ejemplo los hidrocarburos. Asimismo, para el proceso de compostaje, es posible utilizar residuos de procesos de extracción de aceite como el aceite de oliva. Sin embargo, el compostaje de residuos de alimentos ricos en aceites y grasas no es una práctica común [15].

En la producción de compostaje se deben considerar y controlar cuatro variables importantes como lo son la humedad, la temperatura, el pH y el tamaño de partículas (asociado con la oxigenación) [13]. El cuadro 1 resume las características de dichas variables.

Cuadro 1. Variables determinantes en la producción de compost.

Parámetro	Valor	Observación
Humedad (%)	60-80	Condiciones aeróbicas óptimas para los microorganismos
	< 60	Descomposición anaeróbica
	> 80	
Temperatura (°C)	40-70	Mayor rendimiento del compostaje
pH	Debe ser relativamente ácido o básico	Si el cambio de pH es muy drástico, se podría llevar a cabo el proceso de fermentación
Tamaño de partícula	Son ideales las de menor tamaño	El tamaño de las partículas determina la velocidad de descomposición de los materiales la cual aumenta conforme se presentan mayor cantidad de partículas de menor tamaño.

Fuente: Elaboración propia a partir de Rojas [13].

Los objetivos del compostaje pueden ser la reducción y la estabilización del volumen de la masa orgánica biodegradable, además de la eliminación de sustancias fitotóxicas, semillas de herbáceas colonizadoras, entre otros. El compostaje es también un método para la descontaminación de suelos [16].

Metodologías aplicadas para el compostaje a partir de los residuos de grasas y aceites

En el tratamiento de grasas y aceites provenientes de aguas residuales se han investigado métodos biológicos para procesos de compostaje, en donde se han llevado a cabo estudios de la actividad lipolítica de 3 cepas para la eliminación de aceites en aguas residuales; obteniéndose diferentes porcentajes de eficiencia según la cepa utilizada. La cepa *Flavobacterium* obtuvo un 30% de eficiencia, la *Acinetobacter* un 47% y la *Pseudomonas* un 95%. Ya que la cepa *Pseudomonas* obtuvo un mayor porcentaje de eficiencia, se realizaron

pruebas de enriquecimientos de nitrógeno. La implementación de compostaje a partir de este tipo de matrices requiere el enriquecimiento de nitrógeno para su óptimo funcionamiento, para ello se emplearon 7 tipos diferentes de nutrientes tales como: peptona, extracto de levadura, fosfato de amonio, sulfato de amonio, urea, nitrato de amonio y carbonato de amonio. Obteniendo el rendimiento máximo de eliminación al emplear el nitrato de amonio, mientras que, con carbonato de amonio se obtuvo un rendimiento mínimo de eliminación [17].

Es importante resaltar que el uso de nutrientes que generan o contienen amoniaco, provocan cambios de pH ácidos en el medio, los cuales pueden dificultar y reducir la actividad lipolítica. Con dicho estudio se logró determinar que la temperatura óptima de funcionamiento de las *Pseudomonas* varía entre los 25°C a 30°C (figura 1). A nivel general se obtuvieron resultados de eliminación del 96% de los residuos de aceite a tratar [17].

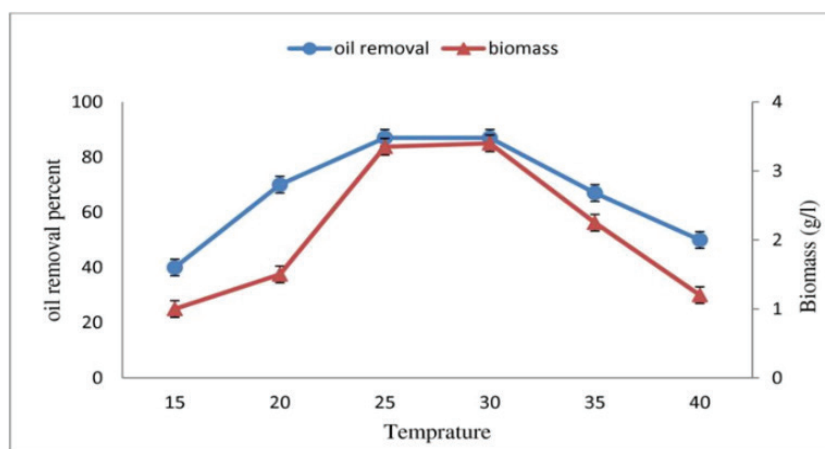


Figura 1. Efecto de la temperatura en la producción de biomasa a partir de *Pseudomonas* [17].

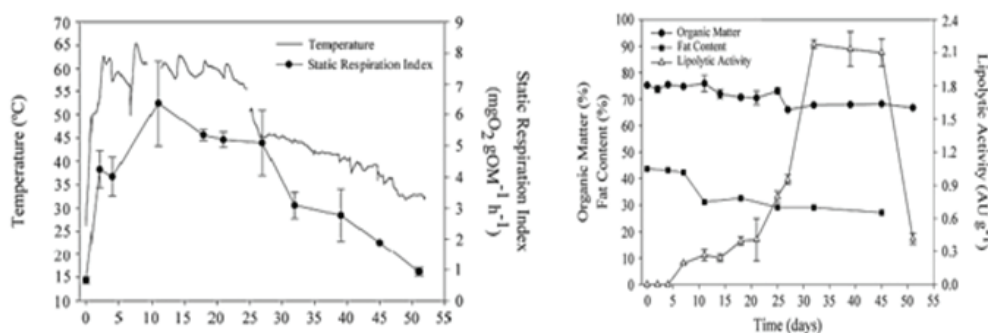


Figura 2. Resultados de compostaje para experimento estática: La temperatura y el índice de respiración estática (lado izquierdo la de figura) y el contenido de materia orgánica, contenido de grasa y la actividad lipolítica (lado derecho de la figura), durante el proceso de investigación [18].

Además, en otro estudio, se llevó a cabo un proceso de investigación en donde se evaluó el desempeño de procesos de compostaje estáticos. Para ello se utilizó una matriz a base de grasa de animal recolectada de un matadero, astillas de madera y lodo de aguas residuales anaeróbicas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Granollers, España. Con el fin de mantener las condiciones óptimas en la matriz, se adicionaba agua de manera manual

con el fin de mantener una humedad constante y además se monitoreó el nivel de oxígeno para asegurarse que el mismo siempre sea mayor al 10% y garantizar la supervivencia de las bacterias [18].

Como se observa en la figura 2, la temperatura y el índice de respiración estática (SRI), se lograron en el momento en el que se alcanzaron las temperaturas termófilas (en el segundo día del proceso), las condiciones se mantuvieron durante los primeros 25 días. Posterior a ello, se observó una fase de enfriamiento y una etapa de maduración mesófila. En el día 30, la temperatura y el SRI disminuyeron considerablemente, lo que indica una reducción de la actividad biológica. Con lo que respecta al contenido de grasa, la materia orgánica y la actividad lipolítica, la reducción más significativa se observó en los primeros 11 días del proceso en donde posterior a ello sólo se produjo una ligera reducción, sin embargo, se registraron actividades hasta el día 25 debido a que se obtuvieron altas temperaturas y altos valores de SRI durante el desarrollo del estudio. Para evaluar la eficiencia de este método de compostaje, se realizó en paralelo un proceso de compostaje dinámico obteniendo un 92.6% de reducción de la grasa presente, y en proceso estático se obtuvo un 56.5% para este parámetro, además, se obtuvieron mayores problemas de lixiviación al momento de adicionar agua a la matriz, por lo que se concluye que este tipo de proceso genera un menor rendimiento y por lo tanto no es factible aplicarlo a una escala mayor [18].

El siguiente estudio realizado en Vancouver, Canadá, evaluó la biodegradación de residuos ricos en lípidos (lodos de trampa de grasa), esto cuando se composta en condiciones aeróbicas y utilizando dos sustratos diferentes: residuos de jardín y desechos sintéticos de alimentos. En este estudio se utilizaron matraces Dewar de acero inoxidable con volúmenes de 6 L, además, para los dos sustratos (residuos de jardín y desperdicio de comida sintética) se utilizaron dos tipos de mezclas, primero el subgrupo denominado como YG1 (residuos de jardín con 5% de lodos de trampa de grasa) y YG2 (residuos de jardín con 10% de lodos de trampa de grasa), y segundo el subgrupo FG1 (desperdicio de comida sintética con 5% de lodos de trampa de grasa) y FG2 (desperdicio de comida sintética con 10% de lodos de trampa de grasa). Finalmente, se obtuvo como resultado que el tratamiento YG1 presentó un mejor rendimiento en cuanto a la biodegradación de los residuos ricos en lípidos, estimado mediante el perfil de temperatura, la tasa y grado de biodegradación de sólidos y lípidos, la reducción de la masa húmeda y el contenido de agua, lo anterior en comparación con el compostaje de residuos de jardín solo. En cuanto al sustrato desechos sintéticos de alimentos, el tratamiento FG2 parecía inhibir el proceso de compostaje [15].

Por otra parte, se realizó un estudio sobre la implementación de una nueva tecnología de compostaje para residuos con alto contenido de grasas provenientes de aguas residuales decantadas, recolectadas de las trampas de grasa de la carne, pescado, plantas procesadoras de aceite vegetal y restaurantes; los desechos atrapados en dichas trampas están compuestos básicamente de grasas y aceites. En este estudio, las grasas se biodegradaron usando una composición bacteriana compuesta por los microorganismos activos *Enterobacter aerogenes* (E13) (capaces de degradar grasas), *Arthrobacter sp.* (N3) (capaz de degradar compuestos alifáticos) y cultivos de *Bacillus coagulans* (S1) (capaz de degradar los límites de péptidos complejos). Las cepas bacterianas se cultivaron en erlenmeyer de 750 ml con 70 ml de caldo de nutrientes ("Oxoid") por separado a 30°C y 200 rpm. en un agitador rotativo durante 16 horas. Se prepararon tres mezclas de compostaje con relación C/N de 30/1, 40/1 y 60/1, el proceso se llevó a cabo en reactores de 20 L en las condiciones óptimas de compostaje (ver cuadro 2.). Al finalizar el estudio se encontró que la relación C/N adecuada en estos procesos es de aproximadamente 30/1 en condiciones ideales de compostaje [19].

Otra metodología utilizada para el compostaje de residuos de trampas de grasa, consistió en la producción de biofertilizante mediante los residuos de grasas y aceites, añadiendo estiércol en diferentes proporciones por un periodo de 30 días. Para esto, se realizó inicialmente la caracterización del lodo (pH, humedad, cenizas, materia orgánica, grasas y aceites), una vez obtenido los valores se procedió a remediar los lodos mediante la degradación del aceite agregando estiércol. Antes del proceso de mezclado, se midió el porcentaje de humedad del estiércol y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del lodo. Una vez definidos los parámetros se procedió a realizar el cálculo para la determinación del porcentaje de lodo y el porcentaje estiércol, considerando la cantidad de agua contenida en el estiércol y en el lodo; para un total de 500 gramos en masa de cada mezcla, se buscó que la relación de materia seca y agua fuera 1:1 [20].

Finalmente, como resultados del estudio, se obtuvo que solamente dos de las mezclas presentan resultados adecuado para el proceso de digestión, la primera contiene 30% estiércol y 70% lodo (E30 - L70), la segunda mezcla que mostró resultados favorables es la que contiene 40% estiércol y 60% lodo (E40 - L60). A partir de este momento, se realizaron pruebas de grasas y aceites sólo a estas relaciones de mezclas, en donde se obtuvo que la mezcla (E30 - L70) tiene una eficiencia de degradación de la grasa aproximada del 70%, y la mezcla (E40 - L60) tiene una eficiencia de degradación de grasas y aceites cercana al 92%. Los autores mencionan que, considerando los resultados se puede determinar que el proceso de remediación de los lodos es aceptable debido a que se consigue degradar más del 70% de aceite presente en los lodos [20].

También se han realizado investigaciones sobre el efecto de la adición de *Pseudomonas Putida* CP 1 a procesos de compostaje que contienen bacterias a *Bacillus* spp, para aumentar la degradación de grasas y aceites. Debido a que se logró observar que las bacterias solo pueden hidrolizar las grasas, pero no metabolizarlas, la adición de las *Pseudomonas* genera un proceso de metabolización y se obtienen mejores resultados en procesos de compostaje [21].

Para esta investigación se trabajó con dos tipos de sustratos, el primero contiene mantequilla con una composición basada en un 66% de ácidos grasos saturados y el segundo sustrato contiene aceite con una composición de 85% ácidos grasos insaturados, estudios anteriores han demostrado que entre más saturada sean los ácidos grasos más difícil de degradar [21].

Este proceso se monitoreó por 14 días, en donde se realizaron 2 tipos de pruebas para cada sustrato uno sin la adicción de la cepa de *Pseudomonas* y otra con la adicción de la misma. Finalmente, se logró observar que en ambas pruebas se eliminó hasta el 94% del sustrato, sin embargo, la adición de las *Pseudomonas* logra reducir hasta en un 45% el tiempo de eliminación de las grasas y aceites, dejando reflejado la cooperación exitosa al introducir *Pseudomonas* en el tratamiento degradación de grasas en trampas de grasa [21].

En otro artículo, se investigó la actividad de la enzima lipasa inmovilizada derivada en tres tipos bacterias; para ver el efecto de degradación de FOG y el tratamiento de aguas residuales en trampas generadas en una cafetería, además de la evaluación la eficiencia del método continuo y discontinuo en este proceso, para esto se analizó el DBO_5 , el pH y los sólidos solubles antes y después del tratamiento. Los resultados demuestran que la *Pseudomonas aeruginosa* presentó la mayor actividad de la enzima lipasa en aguas residuales, seguida de la *Bacillus subtilis* y la *Staphylococcus epidermidis*, respectivamente. Sin embargo, la mayor eficacia del tratamiento para la disminución de DBO_5 se encontró en *B. subtilis*, seguido de *S. epidermidis* y *P. aeruginosa*, respectivamente. Con respecto a la evaluación de los métodos discontinuos y continuos, se indica que la actividad de la lipasa en el sistema de inmovilización en el método continuo fue mayor que el método discontinuo [22].

El siguiente estudio desarrollado en Costa Rica, específicamente en la Universidad Nacional, tuvo como objetivo evaluar los residuos de las trampas de grasa de los lodos provenientes de las sodas que funcionan en dicha universidad. Lo anterior mediante la técnica de compostaje enzimático para su posterior aprovechamiento como enmienda.

Cuadro 2. Resumen de metodologías para el compostaje a partir de trampas de grasas y aceites.

Estudio	Metodología	Variables críticas	Resultado principal
Azhdarpoor, Mortazavi y Moussavi [17]	Estudios de la actividad lipolítica de 3 cepas para la eliminación de aceites en aguas residuales	Nutrientes, pH, temperatura	Eliminación del 96% de residuos por el uso de <i>Pseudomonas</i>
Ruggieri, Artola, Gea y Sánchez [18]	Evaluación del desempeño de procesos de compostaje estáticos.	Humedad del sistema, nivel de oxígeno	El compostaje estático presenta una menor eficiencia de reducción de grasas y aceites
Lemus, Lau, Branion y V. Lo [15]	Evaluación de la biodegradación de residuos de jardín y desechos sintéticos de alimentos, ricos en lípidos en condiciones aeróbicas	Porcentaje de lodos en las trampas de grasa	El tratamiento de residuos de jardín con 5% de lodos de trampa de grasa presentó un mejor rendimiento
Stanaitiene, et al. [19]	Implementación de una nueva tecnología de compostaje para residuos con alto contenido de grasas	Relación carbono/nitrógeno, temperatura	La relación C/N adecuada es de aproximadamente 30/1 en condiciones ideales de compostaje
Alfonso, Carpinteyro, Vélez y Teón [20]	Producción de biofertilizante añadiendo estiércol	pH, humedad, cenizas, materia orgánica, DBO ₅ , grasas y aceites	Eficiencia de degradación: Mezcla (E30 - L70) 70% Mezcla (E40 - L60) 92%.
Tzirita, Papanikolaou, y Quilty [21]	Adición de <i>Pseudomonas Putida</i> CP 1 a procesos de compostaje que contienen bacterias a <i>Bacillus</i> spp	Producción de biomasa, actividad de lipasa	La adición de las <i>Pseudomonas</i> logra reducir el tiempo de eliminación de las grasas y aceites
Lauprasert, Chansirattana y Paengjan [22]	Utilización de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Staphylococcus epidermidis</i> , en la degradación de grasas y aceites	DBO ₅ , pH y sólidos solubles	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> presenta mayor actividad de la enzima lipasa La actividad de la lipasa fue mayor en el método continuo
Rojas [13]	Fabricación de compost utilizando el tratamiento enzimático y no enzimático	Tasa de generación, humedad, % de grasas, capacidad calorífica, metales pesados, la materia orgánica, el carbono y el nitrógeno	Es recomendable la utilización de ambos abonos (con y sin enzimas)

Fuente: Elaboración propia a partir de Azhdarpoor et al. [17], Ruggieri et al. [18], Lemus et al. [15], Stanaitiene et al. [19], Alfonso et al. [20], Tzirita, et al. [21], Lauprasert, et al. [22] y Rojas [13].

En la metodología se recolectaron lodos provenientes de las sodas durante un periodo de 7 meses, analizando posteriormente en dicha matriz la tasa de generación, la humedad, el porcentaje de grasas, la capacidad calorífica, el contenido de micronutrientes (Zn y Cu), el contenido de macronutrientes (P, K, Mn y Ca), los metales pesados (Pb, Cd, Hg y Ni), la materia orgánica, el carbono y el nitrógeno. Dichos lodos se compostaron utilizando el tratamiento de compostaje enzimático y sin enzimas [13].

En dicho estudio se evaluó el compostaje de los lodos por medio de composteras rotatorias, deshidratando los biosólidos en un lecho de secado por desnivel y aplicando un tratamiento con óxido de calcio, para ayudar a la estabilización, la reducción de la humedad y aumentar la superficie de exposición. Los residuos de las trampas de grasa se acumularon por 30 días y se deshidrataron por otros 30 días, esto con la finalidad de obtener una estructura semisólida del material y asegurar su utilización en las composteras. Posteriormente, se realizaron mezclas 80:20 lodo-sustrato, donde el sustrato estaba compuesto por pellets de aserrín seco. Se utilizaron enzimas degradadoras de grasa para el proceso de compostaje con el fin de comparar ambos biofertilizantes. Finalmente, se obtuvo como resultado una mayor reducción del porcentaje de grasas para la muestra de compost tratada con enzimas, sin embargo, el autor menciona que en ambos tratamientos (con enzimas y sin enzimas) se observa una disminución importante respecto al lodo crudo. Concluyendo que es recomendable la utilización de ambos abonos (con y sin enzimas) para su posterior aprovechamiento como enmienda orgánica [13].

Las distintas metodologías utilizadas en la producción de compostaje con la finalidad de minimizar los efectos de una inadecuada disposición de los residuos de trampas de grasas y aceites, se resumen en el cuadro 2.

Conclusiones

La implementación de los procesos de compostaje de grasas y aceites a nivel nacional, generaría procesos más cíclicos con respecto a estos residuos, y se implementarían formas más adecuadas para su disposición final a las que actualmente se efectúan a nivel nacional en la mayoría de los casos.

La actividad lipolítica de las *Pseudomonas*, presentó una gran eficiencia en el proceso de eliminación de grasas y aceites, dicha metodología se puede adecuar al país, ya que su temperatura óptima de funcionamiento (25°C-30°C) se ajusta a las condiciones climatológicas habituales en Costa Rica.

Los procesos estáticos de compostajes presentan menores rendimientos para la eliminación de las grasas y aceites, además de presentar mayores inconvenientes en el proceso de hidratación de la matriz de compostaje, debido a procesos de lixiviación.

Al agregar residuos de jardín en el compostaje de lodos de trampas de grasas, se aporta un mayor rendimiento para la degradación de los lípidos, además de proveer una alternativa adecuada para la disposición final de los desechos de residuos de jardín.

Se demostró que la relación adecuada de C/N en procesos de compostaje es aproximadamente 30/1, ya que con dicha relación las bacterias (*Enterobacter aerogenes*, *Arthrobacter sp.* y *Bacillus coagulans*) demostraron una mayor actividad al degradar las grasas y aceites.

Se puede mejorar la eficiencia de degradación de grasas y aceites en el compostaje si se adicionan proporciones 40% estiércol y 60% lodos de trampas de grasas, además de contribuir con la minimización de la contaminación generada por los residuos de excretas.

Agregar *Pseudomonas* en el proceso de degradación de grasas logra reducir hasta en un 45% el tiempo de eliminación de las grasas y aceites, es por esto que se recomienda su utilización para la producción de compostaje a partir de trampas de grasas y aceites.

El estudio desarrollado en las sodas de la Universidad Nacional, demuestra que la utilización de ambos abonos (con y sin enzimas), es una metodología recomendable, ya que en estos tratamientos se observó una disminución importante del porcentaje de grasas respecto al lodo crudo.

Al revisar un total de 8 artículos relacionados con el compostaje a partir de trampas de grasa, se recomienda la utilización de *Pseudomonas*, ya que además de presentar una gran disponibilidad, su utilización genera altos rendimientos en la disminución de los lípidos y una reducción importante en el tiempo de eliminación de las grasas y aceites.

Referencias

- [1] J. E. Santibañez-Aguilar, J. M. Ponce-Ortega, J. Betzabe González-Campos, M. Serna-González, and M. M. El-Halwagi, "Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste", *Waste Manag.*, vol. 33, no. 12, pp. 2607–2622, 2013.
- [2] M. Ibararán, I. Islas, and E. Mayett, *Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales: estudio de caso*, ISSN 1405-2849, N° 67, Instituto Nacional de Ecología, 2009. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioutnsp/detail.action?docID=3182339>
- [3] J. Moreno, R. Moral, J. García, J. Pascual, and M. Bernal, *De residuo a recurso: El camino hacia la sostenibilidad*. Madrid: Mundi Prensa S.A, 2014, pp 20-24.
- [4] F. Giroto, L. Alibardi, and R. Cossu, "Food waste generation and industrial uses: A review", *Waste Manag.*, vol. 45, no. January 2016, pp. 32–41, 2015.
- [5] I. A. F. Husain, M. F. Alkhatib, M. S. Jami, M. E. S. Mirghani, Z. Bin Zainudin, and A. Hoda, "Problems, control, and treatment of fat, oil, and grease (FOG): A review", *J. Oleo Sci.*, vol. 63, no. 8, pp. 747–752, 2014.
- [6] D. Gibbons and T. P. Curran, "Assessing the efficacy of Dublin City Council 's Fat , Oil and Grease (FOG) Programme through the quantification of FOG waste recovered", no. April, 2015.
- [7] K. Wilkinson, D. Beardsell, E. Tee, V. Hood, G. Hepworth, and C. Hudson, "Effect of Maturation of Grease Trap Compost On Plant Growth", *Compost Sci. Util.*, vol. 17, no. 1, pp. 40–47, 2009.
- [8] M. S. F. Hussin, M. A. Shamsuddin, R. Jumaidin, A. A. Zakaria, and N. Jenal, "Portable grease trap for wastewater management system: A conceptual design approach", *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 18–24, 2018.
- [9] Z. Rodriguez-Mateus, B. Agualimpia, and G. Zafra, "Isolation and Molecular characterization of microorganisms with potential for the degradation of oil and grease from palm oil refinery wastes", *Chem. Eng. Trans.*, vol. 49, no. April, pp. 517–522, 2016.
- [10] T. Wallace, D. Gibbons, M. O'Dwyer, and T. P. Curran, "International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review", *J. Environ. Manage.*, vol. 187, pp. 424–435, 2017.
- [11] Poder Ejecutivo, *Reglamento para los Servicios de Alimentación al Público* No.37308-S. 2012. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=73436&nValor3=90132&strTipM=TC
- [12] X. He, F. L. de los Reyes, and J. J. Ducoste, "A critical review of fat, oil, and grease (FOG) in sewer collection systems: Challenges and control", *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, no. 13, pp. 1191–1217, 2017.
- [13] J. Rojas, "Evaluación de los residuos de las trampas de grasa de los lodos provenientes de las sodas de la Universidad Nacional mediante técnica de compostaje enzimático para su posterior aprovechamiento como enmienda orgánica", Tesis de Maestría, Universidad Nacional, Heredia, 2019.
- [14] D. K. Grgić, M. V. Domanovac, T. Domanovac, M. Šabić, M. Cvetnić, and V. O. Bulatović, "Influence of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* BSW and Clinoptilolite Addition on the Biowaste Composting Process," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 6, pp. 5399–5409, 2019.
- [15] G. R. Lemus, A. K. Lau, R. M. R. Branion, and K. V. Lo, "Bench-scale study of the biodegradation of grease trap sludge with yard trimmings or synthetic food waste via composting," *J. Environ. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 6, pp. 485–494, 2004.

- [16] H. Jördenin, and J. Winter, *Environmental Biotechnology: Concepts and Applications*, Alemania: Editorial WILEY-VCH Verlag GmbH., Co. KGaA, Weinheim, 2005, pp. 333-354.
- [17] A. Azhdarpoor, B. Mortazavi, and G. Moussavi, "Oily wastewaters treatment using *Pseudomonas* sp. isolated from the compost fertilizer," *J. Environ. Heal. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [18] L. Ruggieri, A. Artola, T. Gea, and A. Sánchez, "Biodegradation of animal fats in a co-composting process with wastewater sludge," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 62, no. 3, pp. 297–303, 2008.
- [19] J. Aikaite-Stanaitiene, S. Grigiskis, D. Levisauskas, V. Cipinyte, E. Baskys, and V. Kackyte, "Development of fatty waste composting technology using bacterial preparation with lipolytic activity," *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.*, vol. 18, no. 4, pp. 296–305, 2010.
- [20] J. Alfonso, M. Carpinteyro, A. Vélez and A. Teón, "Obtención de un biofertilizante a partir de lodos provenientes de trampas de grasa," vol. 4, no. 13, pp. 46–57, 2017.
- [21] M. Tzirita, S. Papanikolaou, and B. Quilty, "Enhanced fat degradation following the addition of a *Pseudomonas* species to a bioaugmentation product used in grease traps," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 77, pp. 174–188, 2019.
- [22] P. Lauprasert, J. Chansirattana, and J. Paengjan, "Effect of Selected Bacteria As Bioremediation on the Degradation of Fats Oils and Greases in Wastewater From Cafeteria Grease Traps," *Eur. J. Sustain. Dev.*, vol. 6, no. 2, pp. 181–186, 2017.