

Evaluación de lodos procedentes de la fosa séptica CPA - Hortofrutícola de El Zamorano para la producción de abono orgánico

Ivania Margarita Ochoa Barahona

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Evaluación de lodos procedentes de la fosa séptica CPA - Hortofrutícola de El Zamorano para la producción de abono orgánico

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Ivania Margarita Ochoa Barahona

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

Evaluación de lodos procedentes de la fosa séptica CPA - Hortofrutícola de El Zamorano para la producción de abono orgánico

Presentado por:

Ivania Margarita Ochoa Barahona

Aprobado:

Carlos Enrique Quiroz, M.Sc.
Asesor principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera de Desarrollo Socioeconómico
y Ambiente

Jeffery Pack, D.P.M.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Ochoa, I. 2009. Evaluación de los lodos procedentes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de El Zamorano para la elaboración de abono orgánico. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 47 p.

Existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales para evitar que estas aguas afecten negativamente a la salud pública o al ambiente. Uno de los sistemas de tratamiento *in situ* de aguas residuales es la fosa séptica que ayuda a eliminar el contenido de materia orgánica en el agua residual por medio de sedimentación y digestión anaeróbica. Estos sedimentos se denominan lodos, los cuales se caracterizan por un alto contenido de nutrientes y materia orgánica. El objetivo general del estudio fue caracterizar los lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola ubicada en la Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano) y evaluar su utilidad en la producción de abono orgánico. Se realizó un proceso de compostaje de 11 semanas entre lodos de la fosa séptica y material verde. En cuatro repeticiones se evaluaron parámetros físicos, químicos y biológicos del compost (tanto en su fase inicial como final) tales como temperatura, macronutrientes, relación C:N, materia orgánica, pH, metales pesados y contenido de patógenos. Se obtuvo un abono orgánico con un pH de 7.4, 16% de materia orgánica, 0.7% de nitrógeno, una relación C:N de 19:1, <0.04 mg/kg de aluminio y 3.75 unidades formadoras de colonia de coliformes fecales. Estos resultados se compararon con parámetros promedio conocidos de abonos orgánicos de residuos sólidos urbanos y normas de calidad dictados por organismos internacionales. Además, se determinó la rentabilidad del proyecto dentro de Zamorano mediante indicadores financieros con los siguientes valores: valor actual neto de \$1,529, tasa interna de retorno de 182%, relación beneficio/costo de 6.69 y periodo de recuperación de la inversión de 0.55 años.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, compostaje, reciclaje.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4. RESULTADOS	22
5. DISCUSIÓN.....	29
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES	33
8. LITERATURA CITADA.....	35
9. ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1. Población hondureña con fosa séptica.....	2
2. Tipo de organismos presentes en el compost.	7
3. Límites de contaminantes para la aplicación de lodo de depuradora en suelo.....	13
4. Disposición promedio de los insumos del compost en una cama experimental para realizar abono orgánico en Zamorano, 2009.	16
5. Balance de biomasa inicial para la obtención de la relación C:N promedio de las pilas experimentales de compost en Zamorano, 2009.....	18
6. Cantidad de insumos vs la cantidad de abono final por pila experimental en Zamorano, 2009.....	22
7. Caracterización inicial de nutrientes y relación C:N para lodos de fosa séptica de CPA – Hortofrutícola Zamorano, 2009.	23
8. Caracterización final de nutrientes y relación C:N para abono procedentes de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.	23
9. Comparación del abono final procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano con estándares de calidad de abono maduro, 2009.....	24
10. Análisis de metales pesados en las aguas residuales de entrada a la fosa séptica del colector de aguas negras CPA – de hortofrutícola de Zamorano, 2009.	26
11. Análisis de aluminio para el abono procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.	26
12. Análisis de coliformes fecales en abono procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.	27
13. Proyección de la producción anual de los lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano con base en el análisis de aguas residuales de entrada y salida.....	27
14. Abono final proyectado anualmente para su venta en Zamorano.	27
15. Análisis de rentabilidad para la producción de abono orgánico en Zamorano.....	28

Figura

1. Transformación de la materia orgánica en compost.....	6
2. Cadena alimentaria de la pila de compostaje.	7
3. Variaciones de temperatura en la pila de compostaje.	9
4. Principales sistemas de compostaje.....	10

5. Gráfica de temperatura promedio de las pilas experimentales para compost de lodos provenientes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano comparada con la temperatura ambiente, 2009.	25
--	----

Anexo

1. Fotografías	38
2. Balances de biomasa.....	42
3. Monitoreo de temperatura.	44

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos naturales más importantes para el ser humano es el agua por los innumerables servicios que ofrece. Debido a su importancia, todas las personas buscan tener disponibilidad del recurso agua, siempre y cuando cumpla con estándares de calidad según su uso. Además de satisfacer las necesidades básicas humanas, el agua es utilizada para la limpieza en diversas actividades del hogar, industria, agricultura y ganadería. Las aguas resultantes de estas actividades son denominadas aguas residuales y actualmente existen varios tratamientos para evitar sus efectos negativos sobre la salud pública y el ambiente. La fosa séptica es uno de los tratamientos utilizados para remover las materias orgánicas e inorgánicas que traen las aguas residuales por medio de sedimentación. Los sedimentos son denominados lodos y constituyen un residuo sólido que puede ser depositado en vertederos o rellenos sanitarios. Los lodos tienen altos contenidos de nutrientes y materia orgánica y en vez de depositarlos en basureros o rellenos sanitarios, se podrían aprovechar de una mejor manera. Mediante un tratamiento para eliminar los elementos no deseados como patógenos y metales pesados, los lodos podrían procesarse para darles un mejor destino final. El compostaje es uno de los tratamientos utilizados para reutilizar los residuos sólidos urbanos como lodos, aprovechando su potencial como abono orgánico ya que a lo largo del proceso de compostaje incrementan los nutrientes y disminuyen los patógenos. Esta investigación se basa en la evaluación de los lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano como abonos orgánicos, donde se utilizó el proceso de compostaje para cumplir este propósito. La investigación ofrece información útil para las personas o grupos de personas que posean una fosa séptica. Esto ya que estas personas podrían basarse en la misma metodología de este estudio para convertir los desperdicios dañinos para la salud pública y el ambiente de la fosa séptica, en un producto económica y ambientalmente valioso.

1.1 ANTECEDENTES

En la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano existen seis fosas sépticas, que se pueden clasificar de acuerdo al tipo de sus aguas residuales:

- Aguas Residuales Domésticas:
 - 1 en ganado porcino (para los baños únicamente).
 - 1 en zona 3 (residencia de guardias).
 - 2 en campus alto (residencia de profesores y empleados).
- Aguas Residuales Agrícolas:
 - 1 en ganado lechero.

- Aguas Residuales Industriales:
 - 1 para las plantas hortofrutícola, mieles y café. Esta fosa pasó a recibir mayor contenido de aguas residuales a partir del año 2004. En este año se conectaron a la fosa las aguas residuales provenientes de las plantas de procesamiento de granos y semillas, concentrado, panificación, mieles, hortofrutícola y de post-cosecha. Además se le adicionan las aguas provenientes de los laboratorios de biotecnología, cultivo de tejidos, proyecto integrado del frijol (PIF), PROMIPAC, entomología y control biológico; invernaderos y edificios de la carrera de ciencia y producción agropecuaria (CPA) tales como aulas y oficinas.

Las fosas sépticas del colector de aguas negras CPA – hortofrutícola de Zamorano se limpian periódicamente (cuando es necesario). La limpieza más reciente fue de la fosa de CPA – Hortofrutícola que se realizó el 25 de julio del 2009. Esta fosa no se limpiaba desde hacía 5 años. Las limpiezas consisten en la extracción total del contenido de la fosa, tanto del desperdicio flotante y las aguas residuales como los lodos sedimentados. Cuando se realizan estas limpiezas, todo el contenido de la fosa, incluido el lodo sedimentado, es trasladado a las lagunas de estabilización de Zamorano, desperdiciando su potencial para otros usos.

El resto del sector residencial, estudiantil y agroindustrial drena sus aguas residuales para su depuración a 5 diferentes lagunas de estabilización y tres humedales. Reutilizando el agua depurada de la laguna número 4 para el riego de cultivos de frijol y maíz.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Latinoamérica y gran parte del mundo, residencias individuales o grupos de residencias tanto en sitios urbanos como rurales poseen tratamiento de aguas residuales *in situ*, como es la fosa séptica. En Honduras, debido a la falta de acceso de la población a sistemas de tratamiento para aguas residuales (como alcantarillado) existe un 18% de la población urbana y un 28% de la población rural que posee una fosa séptica, combinada con letrina o inodoro (Cuadro 1). Para mantener el buen funcionamiento de estas fosas sépticas, se tienen que realizar limpiezas periódicas, para que el lodo o sedimentos no obstruyan el paso normal de las aguas residuales.

Cuadro 1. Población hondureña con fosa séptica.

Tipo	Población urbana	Población rural
Inodoro + Pozo Séptico	104,382	151,117
Letrina + Pozo Séptico	34,702	73,047
Total	139,084	224,164
Población total	786,308	815,178
%	18	28

Fuente: Ortiz, 2008. Adaptado por la autora.

La fosa séptica idealmente se tiene que limpiar en períodos de dos a seis años, pero puede variar según su tamaño, el diseño, la frecuencia de bombeo y el suministro de agua. Los lodos sedimentados pueden representar del 20% al 50% del volumen total de la fosa (EPA, 1999). Por lo general, cuando las limpiezas de las fosas sépticas son realizadas, los lodos restantes son colocados en algún vertedero o incinerador o en el mejor de los casos, usado para agricultura o mejoramiento de tierras degradadas. Debido a la situación del crecimiento poblacional y a la escasez de recursos naturales disponibles, es necesario reciclar los desperdicios orgánicos para aprovechar su potencial en nutrientes.

El compostaje de los lodos sépticos trae como resultado un material o humus estable que puede ser usado para la enmienda del suelo. La aplicación de este material o humus es relativamente económico, usa poca energía, recicla el material orgánico y ofrece nutrientes al suelo. Con un manejo apropiado, el lodo séptico es una fuente de nutrientes que puede condicionar al suelo y disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos para la agricultura. El manejo de estos lodos, maximiza estos beneficios al mismo tiempo que protege la salud pública y al ambiente (EPA, 1999).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Caracterizar los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano para disminuir la cantidad de estos residuos y evaluar su utilidad en la producción de abono orgánico.

1.3.2 Específicos

- Caracterizar los nutrientes tales como nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y relación C:N en los lodos procedentes de la fosa séptica.
- Determinar el contenido de nutrientes y la relación C:N final en cada una de las pilas experimentales, en un tiempo de compostaje de 3 meses.
- Monitorear elementos característicos de un proceso de compostaje como temperatura, micro y macroorganismos y humedad.
- Evaluar el contenido de aluminio en el producto final.
- Evaluar el contenido de patógenos en el producto final utilizando como indicador los coliformes fecales.
- Determinar la rentabilidad de producir abono orgánico con los lodos procedentes de una fosa séptica a través de los indicadores financieros Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN), Relación Beneficio-Costo (RB/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1.1 Aguas Residuales

El deterioro del medio ambiente causado por actividades antrópicas tiene como efecto el surgimiento de situaciones o estados no satisfactorios con respecto a una parte o a la totalidad de sus componentes. A este fenómeno le llamamos problema ambiental, el cual puede tener alcance global, regional, nacional o local. Entre los problemas medioambientales con mayor alcance en la actualidad, está relacionado con el aumento incontrolado de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Los RSU se definen como todo lo que es generado por alguna actividad y que no es de interés, formándose una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales (Fernández & Sánchez-Osuna, 2007). Ejemplo de Residuos Sólidos Urbanos son las denominadas aguas residuales, resultado del uso del agua para diversas actividades en el hogar, industria, agricultura y ganadería. Las actividades que se realizan son por lo general para la limpieza de desechos de materia orgánica e inorgánica.

2.1.2 Lodo Séptico

Para el tratamiento de las aguas residuales de una población pequeña se usan tecnologías de tratamiento como la fosa séptica. La fosa séptica es un tanque para el tratamiento *in situ* de aguas residuales domésticas, ubicada bajo tierra y que puede constar de uno o dos compartimientos. La fosa séptica tiene dos efectos de tratamiento:

- eliminación de los contaminantes de las aguas residuales a través del asentamiento de las partículas pesadas y
- eliminación de los contaminantes de las aguas residuales a través de la flotación de materiales menos densos que el agua.

La capa de lodo que se encuentra en la parte inferior de la fosa es el resultado del proceso de asentamiento y la capa de suciedad se forma a partir del proceso de flotación (UNESCO-IHE *et al.*, 2009). El lodo séptico es el desperdicio de las limpiezas periódicas de las fosas sépticas realizadas para prevenir que las camas de lodo obstruyan el paso normal del agua residual en la fosa. Tanto el lodo de las fosas sépticas como el de las depuradoras de aguas residuales, pueden ser dispuestos en un vertedero o un incinerador, aplicados a tierras agrícolas o co-compostados con un agente voluminoso u otro desperdicio orgánico (Warman & Termeer, 2003).

Debido al crecimiento poblacional (según la División de las Naciones Unidas para la Población, un cambio de 2,529,346 personas en 1950 a 6,908,688 personas para el 2010) y la presión sobre los recursos naturales (disminución de la frontera agrícola, menor disponibilidad de agua, mayores áreas naturales para conservación y preservación) a la agricultura se le exige ser más eficiente y productiva en todos los aspectos. Esto implica usar la menor cantidad de recursos para obtener los mismos o mayores resultados de producción.

El uso de fertilizantes inorgánicos ya no es suficiente para sostener el recurso suelo estable para una continua producción de cultivos (Cofie *et al.*, 2009). Empero, lodos de depuradoras y de fosa sépticas se han usado efectivamente con un método dispersión en el suelo en Canadá, Estados Unidos y Europa por más de 40 años. El nutriente primario asociado con el lodo séptico es Nitrógeno, sin embargo los lodos también pueden contribuir cantidades significantes de macro y micronutrientes. El compostaje de biosólidos puede sustituir un tercio del fertilizante nitrogenado sin disminuir la producción (Warman & Termeer, 2004).

Debido a las características de los lodos (en cuanto a nutrientes y materia orgánica disponible) se han buscado a través del tiempo alternativas de aprovechamiento en vez de la típica disposición de los mismos en un vertedero, relleno o botadero. Los lodos pueden tener varios destinos como la utilización en la agricultura (como abono) incluso la recuperación de terrenos agotados, recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica (incineración), compostaje (sin digestión) y otros (Carranza, s.f.).

2.2 COMPOSTAJE

2.2.1 Generalidades

Desde mediados de los años 70, el compostaje del lodo ha venido recibiendo creciente atención como alternativa económicamente viable y ambientalmente segura para la estabilización y evacuación final del lodo de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1996). La palabra “compost” deriva del latín *compositus* y su significado es poner junto. Los términos compost, compostaje o compostar han pasado a ser habituales en nuestro lenguaje y abrevian con precisión el concepto de materia orgánica descompuesta (Fernández & Sánchez-Osuna, 2007).

El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo la actividad de microorganismos. De tal manera que condiciones como temperatura, relación C:N, aireación y humedad sean favorables, se realiza la fermentación aeróbica de estas materias. Después del compostaje completo, el producto – la tierra de humus que se llama compost o abono – es impecable desde el punto de vista de la higiene y se puede utilizar para la horticultura, agricultura, silvicultura, mejoramiento del suelo o la arquitectura del paisaje. Con la utilización del

compostaje, la cantidad de basura destinada para la disposición final en un relleno o botadero se puede reducir a un 50% (Roben, 2002).

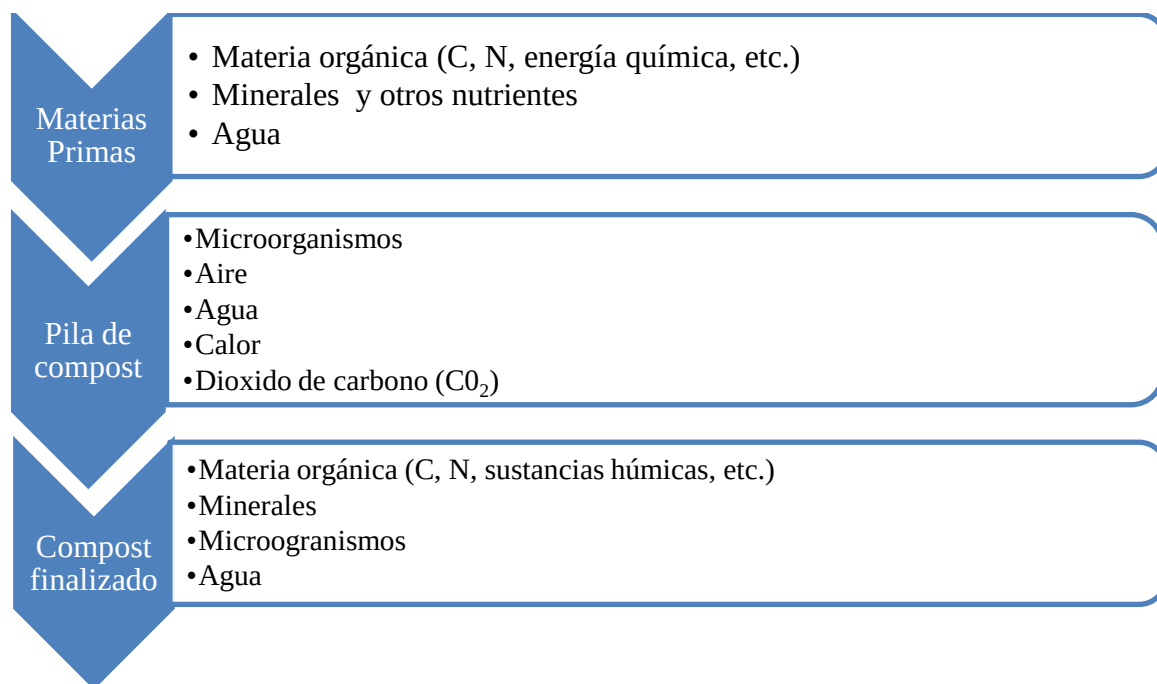


Figura 1. Transformación de la materia orgánica en compost.
Fuente: Casco, 2008. Adaptado por la autora.

2.2.2 Microbiología del Proceso

La pila de compostaje constituye un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos, degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia de oxígeno generando un producto estable humificado junto con gases, agua y calor como residuos del metabolismo microbiano (Cuadro 2 y Figura 1). El tipo predominante de microorganismos depende de las condiciones nutricionales y ambientales, en cuyas variaciones intervienen sus propias actividades. El compostaje es pues, una compleja interacción entre los restos orgánicos, los microorganismos, la aireación y la producción de calor (Casco, 2008).

Cuadro 2. Tipo de organismos presentes en el compost.

Tipo de Organismos	Ejemplos
Microflora (plantas muy pequeñas)	Bacterias Actinomicetos Hongos, mohos, levaduras
Microfauna (animales muy pequeños)	Protozoos
Macroflora (plantas más grandes)	Hongos (champiñones y cetas)
Macrofauna (pequeños animales del suelo)	Ácaros Hormigas, termitas Miriópodos, Ciempiés Arañas, Escarabajos Gusanos

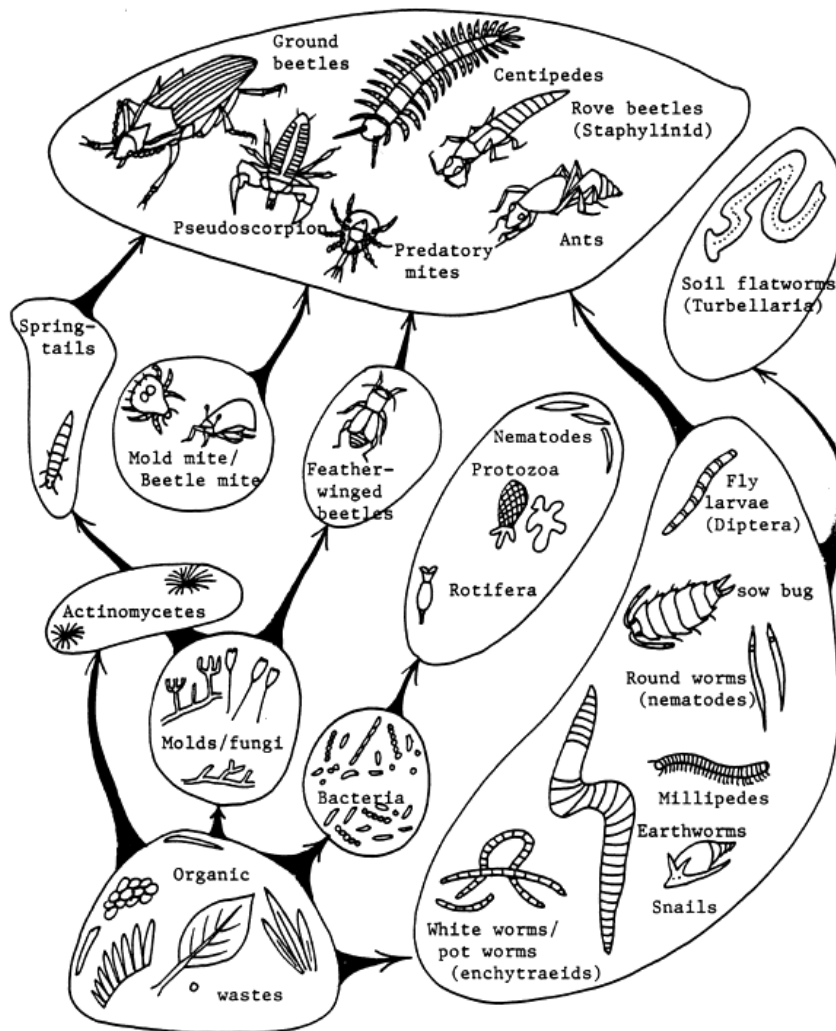
Fuente: Dalzell *et al.*, 1991.

Figura 2. Cadena alimentaria de la pila de compostaje.

Fuente: NRC, 1981.

2.2.3 Temperatura del proceso

Durante el proceso de compostaje los microorganismos utilizan los sustratos orgánicos como fuente de carbono y de energía en presencia de oxígeno, a través de distintas rutas metabólicas que dan como resultado la obtención de energía. Parte de la energía generada se disipa en forma de calor. Este calentamiento tan acusado no ocurre cuando los microorganismos crecen en sustratos líquidos, debido a que la concentración de nutrientes y la disponibilidad de oxígeno es menor que en los sólidos y la energía generada se disipa más fácilmente. Así para que el calor producido tenga cierto impacto en el proceso, los sustratos deben estar dispuestos de tal forma que impidan su disipación. Por esta razón, es imprescindible desarrollar el proceso con un mínimo de material apilado (Casco, 2008).

En estas condiciones, parte del calor queda atrapado en el material y se produce un efecto de retroalimentación. Al incrementarse la temperatura dentro de ciertos niveles se aceleran las actividades metabólicas microbianas propiciando la generación de más calor. La temperatura continúa incrementándose hasta que los niveles térmicos alcanzados son deletéreos para la viabilidad de la mayoría de los microorganismos, lo cual ocurre entre los 60°C y 70°C. A dichas temperaturas, sólo sobreviven algunas bacterias cuya actividad metabólica no permite mantener los niveles de temperatura y como consecuencia, comienza la fase de enfriamiento. Las variaciones térmicas durante el compostaje permiten la sucesión de poblaciones microbianas, contribuyen a eliminar los microorganismos patógenos y a modificar las propiedades fisicoquímicas de los sustratos (Casco, 2008).

Basado en la actividad microbiana, el proceso de compostaje puede ser dividido en cuatro diferentes etapas. La primera etapa es la mesofílica, donde los microorganismos predominantes son las bacterias mesofílicas. La abundancia del sustrato en este momento asegura la actividad de los microorganismos, llevando a la generación de grandes cantidades de calor metabólico, que causa que la temperatura de la pila de compost aumente. A medida que aumenta la temperatura y pasa de los 45°C, las condiciones son menos favorables para las bacterias mesofílicas y comienza a ser favorable para las bacterias termofílicas. La actividad microbiana resultante de las bacterias termofílicas causa que la temperatura en la pila de compostaje aumente entre 65°C y 70°C. Eventualmente, con el agotamiento de la fuente de comida, la actividad microbiana global disminuye y la temperatura cae resultando en una segunda etapa mesofílica durante la etapa de enfriamiento. A medida que la fuente de comida es consumida rápidamente por los microorganismos, la temperatura disminuye hasta temperatura ambiente y el material entra a etapa de maduración (Figura 3). La actividad microbiana es baja durante esta etapa, la cual puede durar algunos meses (Stoffella & Kahn, 2001). Durante la fase de enfriamiento, se producirá una liberación adicional de agua por evaporación así como una estabilización del pH, y se completará la formación de ácido húmico (Metcalf & Eddy, 1996).

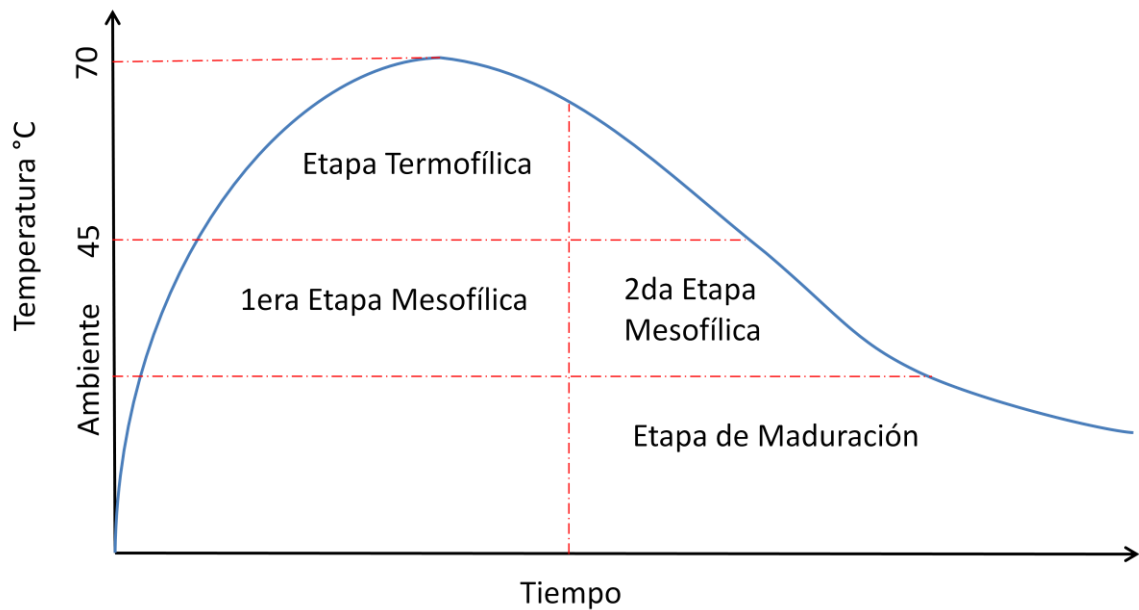


Figura 3. Variaciones de temperatura en la pila de compostaje.
Fuente: Metcalf & Eddy, 2003. Adaptado por la autora.

2.2.4 Proceso de Compostaje

La mayoría de las operaciones de compostaje consisten en las siguientes etapas fundamentales:

- Mezcla del lodo deshidratado con un material de enmienda o soporte;
- Aireación de la pila de compostaje bien por adición de aire, por volteo mecánico o mediante ambos sistemas;
- Recuperación del material soporte (caso de que sea posible);
- Maduración adicional y almacenamiento; y
- Evacuación final.

El material de enmienda es un material orgánico que se añade al substrato a composta con la finalidad de obtener un producto de materiales de menor peso y aumentar el volumen de huecos para favorecer la aireación. Los materiales de enmienda también se pueden emplear para aumentar la cantidad de materia orgánica presente en la mezcla. Los materiales de enmienda de uso más frecuente son serrín, paja, compost reciclado y cáscaras de arroz. El material de soporte estructural es un material orgánico o inorgánico que se emplea para proporcionar soporte estructural y para aumentar la porosidad de la mezcla con el objeto de mejorar la efectividad de la aireación. El material más empleado es astillas de madera, que se pueden recuperar y reutilizar. La aireación no sólo es necesaria para aportar oxígeno, sino también para controlar la temperatura de compostaje y eliminar la humedad excesiva (Metcalf & Eddy, 1996).

2.2.5 Sistemas de Compostaje

Cualquiera de los procesos de compostaje existentes en la actualidad, correctamente realizado es igualmente capaz de proporcionar un compost final de gran calidad agronómica (Figura 4). En cualquier sistema de compostaje, se deben atender parámetros de higienización, presencia de materia orgánica suficientemente biodegradada, estabilizada y libre de compuestos orgánicos nocivos y tener un adecuado grado de humedad y relación C:N. La diferencia principal entre las tecnologías de compostaje estriba en el tiempo de desarrollo del proceso, el equipamiento y la mano de obra necesaria para ello. Asimismo ninguna de las tecnologías es capaz de mejorar la calidad del compost en lo que se refiere al compostaje de impurezas o metales pesados (Casco, 2008).

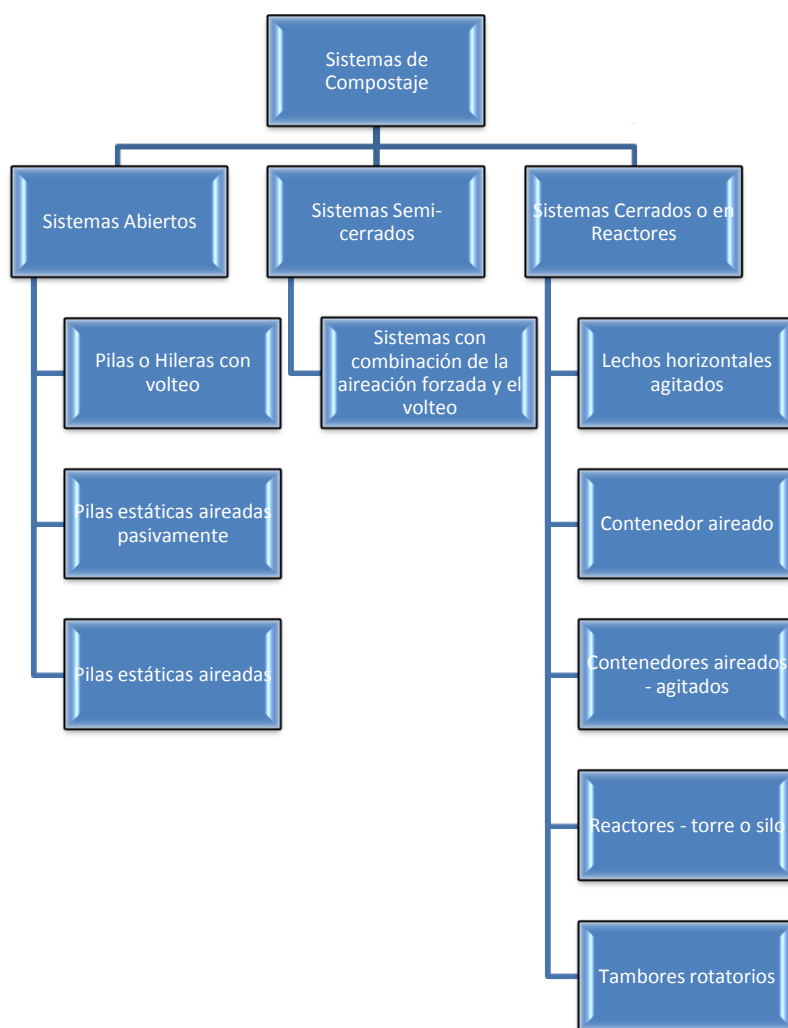


Figura 4. Principales sistemas de compostaje.
Fuente: Casco, 2008. Adaptado por la autora.

2.2.5.1 Pilas o hileras con volteo

La agitación o el volteo de las pilas tienen un efecto claramente beneficioso en el proceso de compostaje. Ayuda a mezclar los varios desechos en la pila; traslada los bordes externos de la pila fríos y probablemente secos al centro caliente; ayuda a la aireación dado que el aire habrá tenido dificultades para penetrar en el centro de la pila; permite humedecer el material si se ha secado demasiado. Cuando los desechos son amontonados simplemente sobre el suelo sin la instalación de un suministro de aire, o que se requiera de una descomposición rápida, se tiene que voltear la pila. Esto se hace de 10 a 14 días después de que la pila haya sido construida por primera vez. Los lados y la parte superior de la pila original son volteados hacia el interior de la nueva pila y cubiertos con el material restante (Dalzell *et al.*, 1991).

La elaboración de las pilas se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas y en el que es importante realizar una mezcla correcta. Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, por lo que se recomienda una trituración previa de los restos leñosos de cosecha ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostaje. El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación y deber estar en contacto directo con el suelo (Fernández & Sánchez-Osuna, 2007).

2.3 COMPOSTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

El compostaje o mezcla de dos o más residuos pueden resultar en un producto de valor agregado además de tener impactos directos en el concepto de sostenibilidad. Los residuos orgánicos que son difíciles de almacenar, son inestables o no uniformes son buenos candidatos para el compostaje. Los residuos mojados tales como los biosólidos se vuelven más secos como compost y por lo tanto son más fáciles de aplicar al suelo. Los residuos que contienen patógenos humanos son más seguros después de las altas temperaturas del compost, ya que la cantidad de estos organismos al final del proceso de compostaje es generalmente mínima (Brown *et al.*, 1998).

2.3.1 Parámetros de calidad del compost

Con el fin de ofrecer a los consumidores finales un compost de RSU de buena calidad, las preocupaciones acerca de peligros potenciales para las plantas, ganado, vida silvestre y humanos deben ser resaltados. Una de las preocupaciones primarias es la presencia de metales pesados, pero también han ocurrido problemas por falta de madurez o estabilidad en el compost. No obstante, tienen que tomarse precauciones para prevenir problemas y producir un abono de buena calidad (EPA, 1995). El factor más crítico para determinar la calidad del compost depende del uso final que se le dará al mismo. Para la mayoría de las

aplicaciones, el crecimiento de la planta en respuesta del abono es el último indicador de calidad para compost (Stoffella & Kahn, 2001).

2.3.1.1 Parámetros físicos

- **Humedad:** El contenido de humedad en el compost es fácil de determinar, pero puede variar ampliamente de acuerdo a las diferencias en insumos, procesos y condiciones de almacenamiento. Es recomendable que la humedad del abono final sea mayor al 35%, ya que a menor porcentaje de humedad el abono es más difícil de manejar (Stoffella & Kahn, 2001).
- **Color y olor:** El color y olor son parámetros sensoriales que nos pueden indicar si el abono presenta problemas obvios de inmadurez e inestabilidad. Los malos olores deben desaparecer al final del compostaje siendo el olor de un compost maduro semejante al de la tierra mojada. Aparte del rechazo que pueda tener un compost con mal olor, muchos de los ácidos orgánicos olorosos (amoníaco, ácido sulfúrico) pueden ser también tóxicos para las plantas. La descomposición de los materiales frescos hace que el color de estos oscurezca, llegando el producto final a un color oscuro, casi negro. El color final depende principalmente de la materia inicial, así, compost procedente de residuos verdes tienen frecuentemente un color negro oscuro, mientras que los procedentes de estiércoles son generalmente más marrones (Casco, 2008).

2.3.1.2 Parámetros químicos

- **Macronutrientes:** Al considerar el compost como abono es importante considerar que la disponibilidad de nutrientes (capacidad de ofrecer nutrientes en forma asimilable para las plantas) va a variar mucho con el tipo de compost, dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje y el grado de madurez y estabilidad del producto final (Soto & Meléndez, 2003). Los requerimientos promedio de macronutrientes presentes en el compost son N mayor a 1.45% (EPA, 1995), P de 2000 mg/kg, K de 700 mg/kg, Ca de 21000 mg/kg y Mg de 1000 mg/kg (Stoffella & Kahn, 2001).
- **Relación C:N:** La relación C:N inicial es importante para la efectividad del compost (alrededor de 30:1) al igual que el valor final, ya que determina el valor del abono como un reparador del suelo para el crecimiento de las plantas. En general, una relación C:N final entre 15:1 y 20:1 es usualmente el ámbito buscado, aunque el valor de 10:1 ha sido sugerido como el ideal. Un compost final con una relación C:N mayor a 20 no debería ser usado, ya que puede causar un impacto negativo en el crecimiento y germinación de las semillas. Sin embargo, es la disponibilidad del carbono la que es importante, no la medición local, así que los abonos con relaciones mayores a 20 pueden ser aceptados siempre y cuando el carbono no esté disponible (Stoffella & Kahn, 2001).

- **Materia orgánica:** Los sólidos volátiles (un estimado de la cantidad de materia orgánica en el compost) disminuyen durante el período de compostaje, típicamente alrededor de la mitad de la materia orgánica se pierde durante el compostaje (Stoffella & Kahn, 2001). La materia orgánica del compost final varía entre 30% y 35% (Hansen, 1996).
- **pH:** De forma general durante el compostaje, el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos y a medida que el proceso avanza el valor del pH va aumentando gradualmente hasta valores constantes que oscilaran entre 6.5 y 8.5 dependiendo del material (Casco, 2008).
- **Metales pesados:** Los metales pesados pueden formar parte de la composición de los RSU, en función sobretodo de la procedencia y origen de los mismos. La importancia de los metales pesados a la hora de evaluar las posibilidades de utilización de los RSU viene dada por su posible acumulación en el suelo y su absorción y almacenamiento en los tejidos de las plantas, quedando así incluidos en la cadena alimentaria de los animales y del ser humano (Casco 2008). Es por eso que cuando se depositan o aplican RSU en el suelo, se tiene que cumplir con los límites de concentración de metales pesados establecidos internacionalmente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Límites de contaminantes para la aplicación de lodo de depuradora en suelo.

Contaminante	Concentración máxima (mg/kg)	Contaminante	Concentración máxima (mg/kg)
Arsénico	75	Molibdeno	75
Cadmio	85	Niquel	420
Cloro	3,000	Selenio	100
Cobre	4,300	Zinc	7,500
Plomo	840	Mercurio	57

Fuente: EPA, 1994a.

2.3.1.3 Parámetros biológicos

- **Contenido de patógenos:** Un beneficio significativo del compostaje son constantes temperaturas altas que matan a los patógenos humanos en los residuos orgánicos (Brown *et al.*, 1998). Los principales patógenos microbianos encontrados en los RSU como las aguas residuales son bacterias como *Escherichia coli* (Casco, 2008). Una expresión más conocida para determinar a *E. coli* es coliforme fecal, determinada de esta forma por su presencia natural en el intestino de humanos y animales y por lo tanto, existe en la materia fecal. Esta bacteria puede tolerar temperaturas máximas de 42°C (Soto & Meléndez, 2003). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en la subparte D del reglamento sobre el Uso y disposición de lodos de depuradoras (“Part 503 – Standars for the use or disposal of sewage sludge”) clasifica a la bacteria de *E. coli* como patógeno de clase B, donde los biosólidos pueden contener algunos patógenos (a diferencia de los patógenos de clase A que no pueden ser detectados). La EPA sugiere que dos semanas antes de la aplicación de los

biosólidos en el suelo se realice un análisis de coliformes fecales donde el límite permitido de unidades formadoras de colonia (UFC) no exceda las 2,000 (EPA, 1994a).

2.3.2 Usos del compost de RSU

El uso del compost dependerá de las propiedades físicas, químicas y biológicas que posea al final del proceso. El compost proveniente de los RSU puede ser usado en la agricultura, ornamentales, reforestación, mantenimiento de parques y áreas verdes.

Los agricultores han usado exitosamente el “compost” como una herramienta para la reducción de malezas y para mejorar la apariencia del suelo así como para evitar la evaporación. El compost reduce la cantidad de suelo que se usado para las nuevas plantas, por lo tanto reduce los costos de producción. La industria hortícola es uno de los mayores consumidores potenciales del compost de calidad. Uno de los usos primarios en horticultura es como medio de crecimiento para las plantas. Aproximadamente del 60% - 70% de los medios para crecimiento de plantas son con base en materia orgánica, por lo tanto, el abono orgánico de gran calidad es útil en este aspecto para la industria (EPA, 1994b).

La silvicultura y plantaciones forestales son también áreas potenciales de uso para compost. La reforestación representa el mercado más grande en silvicultura para compost así como para rodales establecidos o para medio de crecimiento para plantas. Además del uso en horticultura y plantaciones forestales, el compost también se aplica para el mantenimiento de parques públicos, de caminos y carreteras y áreas verdes de las comunidades y ciudades (EPA, 1994b).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

La investigación se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano en la compostera (Zona 2). En esta zona se realiza compostaje con varios insumos provenientes del campus para producir abono orgánico. Ejemplos de estos insumos son la comida remanente del comedor estudiantil, los olotes residuos de la planta de granos y semillas, los residuos proveniente de la planta de cárnicos, todos mezclados con material de enmienda (estiércol de la producción bovina y ovina) y material de soporte estructural (ramas y hojas secas del campus).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Insumos

- Lodos provenientes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola.
- Material de enmienda y soporte estructural (MESE): Lo constituyen materiales tales como hojas secas, ramas y césped provenientes de los jardines de las residencias y edificios del campus que recoge el departamento de mantenimiento de la EAP de Zamorano.

3.2.2 Limpieza de la Fosa Séptica Hortofrutícola de Zamorano

La limpieza de la fosa séptica del colector de aguas negras CPA – Hortofrutícola de Zamorano se realizó el 25 de julio del 2009. La limpieza consistió en la extracción total del contenido de la fosa incluyendo el desperdicio flotante, las aguas residuales y los lodos sedimentados. Por lo general, los lodos sedimentados se mezclan con agua residual para poder ser extraídos fácilmente de la fosa y así, ser trasladados hacia las lagunas de estabilización. Sin embargo, en esta ocasión, los lodos sedimentados (con características muy similares a arena mojada) fueron extraídos por medio de balde y pala para poder ser colocados al lado de la fosa (Fotografía 1 y 2, Anexo 1). El total de lodos extraídos fue de 1.14 m^3 (1,119 kg), obtenidos solamente del compartimiento mayor de la fosa que tiene una capacidad de 17.1 m^3 .

3.2.3 Establecimiento de las pilas experimentales

Con el lodo obtenido de la fosa séptica del colector de aguas negras CPA – hortofrutícola de Zamorano y MESE, se construyeron 4 pilas experimentales con la misma cantidad de insumos en cada una, es decir 4 repeticiones. Las pilas experimentales fueron construidas en promedio con 3 m de largo, 2.11 m de ancho y 0.61 m de altura.

La construcción de las pilas consistió en la intercalación del material de enmienda y soporte con el lodo procedente de la fosa séptica. En total se establecieron 5 capas de diferentes alturas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Disposición promedio de los insumos del compost en una cama experimental para realizar abono orgánico en Zamorano, 2009.

Capa	Altura promedio (cm)	Lodo promedio (kg)	MESE promedio (kg)
1	29		513
2	3	31	
3	12		219
4	6	31	
5	11		206
Total	61	62	938

3.2.4 Balance de Biomasa

Para cumplir con los requerimientos de Relación C:N inicial (en un ámbito entre 20:1 – 40:1) en las pilas experimentales es necesaria la combinación correcta de los insumos. Debido a que no se realizó un análisis previo de los insumos se utilizaron datos teóricos para relación C:N y % de nitrógeno para realizar una meta inicial de 20:1. Por medio de las siguientes fórmulas se obtuvo una relación C:N promedio inicial de 18:1 (Cuadro 5):

$$\bullet \quad \%C = C / N \left(\%N \right) \quad [1]$$

Donde;

% C: equivale al porcentaje de Carbono.

C/N: equivale a la Relación Carbono – Nitrógeno.

% N: equivale al porcentaje de Nitrógeno.

$$\bullet \quad S = P \left[1 - \left(\frac{H}{100} \right) \right] \quad [2]$$

Donde;

S: equivale a sólidos totales en kg.

P: equivale a peso total en kg.
H: equivale al porcentaje de humedad.

$$\bullet \quad N = S \left(\frac{\%N}{100} \right) \quad [3]$$

Donde;
N: equivale al peso de Nitrógeno en kg.
S: equivale a sólidos totales en kg.

$$\bullet \quad C = S \left(\frac{\%C}{100} \right) \quad [4]$$

Donde;
C: equivale al peso de Carbono en kg.

$$\bullet \quad A = L + MESE \quad [5]$$

Donde;
A: equivale a la composición total del abono.
L: equivale al peso de lodos en kg.
MESE: equivale al peso de material de enmienda y soporte estructural en kg.

$$\bullet \quad \%MESE = \left(\frac{MESE}{A} \right) 100 \quad [6]$$

Donde;
% MESE: equivale al porcentaje de material de enmienda y soporte estructural.

$$\bullet \quad \%L = \left(\frac{L}{A} \right) 100 \quad [7]$$

Donde;
% L: equivale al porcentaje de lodo.

$$\bullet \quad \%NT = \left(\frac{N}{S} \right) 100 \quad [8]$$

Donde;
% NT: equivale al porcentaje total de nitrógeno.
N: equivale al peso de Nitrógeno en kg.

$$\bullet \quad H = \left[1 - \left(\frac{S}{P} \right) \right] \quad [9]$$

Donde;

H: equivale al porcentaje de humedad.

$$\bullet \quad C/N = \frac{C}{N} \quad [10]$$

Cuadro 5. Balance de biomasa inicial para la obtención de la relación C:N promedio de las pilas experimentales de compost en Zamorano, 2009.

Cama	Insumo	P	% N	C:N	H	% C	S	N	C	A
1	MESE	1014.20	1.00	50.00	50.00	50.00	507.10	5.07	253.55	78.38
	Lodos	279.75	6.80	6.50	34.77	44.20	182.49	12.41	80.66	21.62
	Total	1293.95	7.80	19.12	46.71	94.20	689.59	17.48	334.21	100.00
2	MESE	991.93	1.00	50.00	50.00	50.00	495.97	4.96	247.98	78.00
	Lodos	279.75	6.80	6.50	39.49	44.20	169.27	11.51	74.82	22.00
	Total	1271.68	7.80	19.60	47.69	94.20	665.23	16.47	322.80	100.00
3	MESE	865.37	1.00	50.00	50.00	50.00	432.69	4.33	216.34	75.57
	Lodos	279.75	6.80	6.50	15.52	44.20	236.34	16.07	104.46	24.43
	Total	1145.12	7.80	15.73	41.58	94.20	669.03	20.40	320.81	100.00
4	MESE	884.18	1.00	50.00	50.00	50.00	442.09	4.42	221.05	75.97
	Lodos	279.75	6.80	6.50	35.58	44.20	180.21	12.25	79.65	24.03
	Total	1163.93	7.80	18.03	46.53	94.20	622.30	16.67	300.70	100.00
Promedio				18.10						

3.2.5 Monitoreo de temperatura

Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización a que ha llegado el proceso, ya que existe una relación directa entre temperatura y degradación de materia orgánica (Casco, 2008). Se midió la temperatura de las pilas diariamente. Colocando el termómetro en el centro de cada pila se monitoreó todas las mañanas la temperatura por medio del “Taylor Presicion Bi-therm Dial Thermometer”, con longitud de 30 cm, una esfera de 5 cm de diámetro y ámbito de temperatura entre 0 y 220 °F (Fotografía 3, Anexo 1).

3.2.6 Volteo

La forma en que se construyeron las pilas experimentales (intercalando insumos) beneficia la homogenización de los materiales una vez se realiza el primer volteo. El primer volteo de las pilas experimentales se hizo una semana después de su construcción y se siguieron realizando semanalmente durante todo el periodo de compostaje (Fotografía 4, Anexo 1).

3.2.7 Monitoreo de Humedad

La humedad se monitoreó manualmente al momento de realizar los volteos es decir, si al apretar un poco de abono con la mano y no se sentía humedad se determinaba que estaba seca. El riego era necesario si las pilas experimentales estaban secas. Las pilas se regaron por medio de baldes con agua, hasta que la pila se sintiera húmeda (realizando el método manual).

3.2.8 Micro y Macro-organismos

Los micro y macro-organismos incluyen la flora y la fauna que se hace presente para la descomposición de la materia orgánica. Los diferentes organismos se observaron durante el proceso de volteo y también se consideraron un indicador de la degradación de la materia orgánica (tomando en cuenta que estos cambian de acuerdo a la etapa de temperatura en que se encontrara el abono).

3.2.9 Tiempo total de compostaje

La etapa final o de maduración del compost puede durar varios meses (Stoffella & Kahn, 2001) pero generalmente el periodo de compostaje para una pila con volteo dura entre 12 y 15 semanas.

3.2.10 Metales Pesados

Los metales pesados en el compost son una preocupación para todos sus comerciantes y juegan un importante papel en la calidad del producto final. De hecho, varios países han establecido o están estableciendo, estándares de calidad que determinan las concentraciones permisibles para metales pesados como aluminio, arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, mercurio, molibdeno, níquel y zinc (Stoffella & Kahn, 2001).

En Zamorano existe el programa de manejo de residuos peligrosos con el objetivo de tratar los reactivos que contienen metales pesados (aluminio, cromo, plomo) bajo estrictos

controles ambientales autorizados por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). Con ello, se evita el vertido de reactivos hacia el drenaje de aguas residuales y por consiguiente hacia la fosa séptica. Para no repetir análisis de metales pesados, se realizó un análisis en las aguas residuales de entrada a la fosa séptica (para comprobar su cantidad y comparar con límites establecidos) y otro análisis en el abono final para los metales que sobrepasaron los límites establecidos en las aguas residuales de entrada.

3.2.11 Nutrientes y Relación C:N

Para la caracterización inicial y final de los nutrientes y la relación C:N del abono se realizó un análisis para cada pila experimental en el Laboratorio de suelos y nutrición vegetal de Zamorano. Los análisis incluyeron el estudio de la textura de la muestra, el pH, el % de materia orgánica, el % de nitrógeno total, la relación C:N y contenido en mg/kg de micronutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio).

Las metodologías utilizadas en el laboratorio fueron:

- Textura: Método Bouyoucus
- Contenido de Micronutrientes: Melich 3
- Materia Orgánica: Método de Walkley & Black
- Nitrógeno Total: Método de Kjeldahl
- Relación C:N: Estimación de carbono desde materia orgánica (por combustión en mufla a 560°C por 3 horas) / contenido de nitrógeno.
- pH: pH-metro.

3.2.12 Coliformes Fecales

Para asegurar la calidad sanitaria del abono se realizó un análisis de coliformes termotolerantes en muestras de cada una de las camas mediante el método de de placas petrifilm (3M®). Para ello se preparó una mezcla de 1 g de muestra de abono y 1,000 ml de agua purificada, la cual se mezcló durante 20 minutos mediante un agitador magnético, con el propósito de que los organismos patógenos pudieran pasar del abono a la fase acuosa. Posteriormente las placas petrifilm fueron inoculadas con un mililitro de solución resultante e incubadas a 35°C por 24 horas. Este no es un método estándar y los resultados solo mostraron una primera aproximación del contenido de los coliformes fecales en el abono.

3.2.13 Análisis de Rentabilidad

El poder reciclar un desperdicio antropogénico trae consigo un beneficio ambiental, sin embargo, este beneficio también puede ser económico. Es por eso que se realizó un análisis de rentabilidad para la producción de abono orgánico en el contexto de Zamorano.

La metodología utilizada fue realizar una proyección anual de la producción de los lodos a partir de los resultados de un análisis de las aguas residuales de entrada a la fosa séptica. Luego se realizó un flujo de caja proyectado a 10 años con indicadores de rentabilidad como Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación Interna (PRI).

4. RESULTADOS

4.1 INSUMOS VS ABONO

La reducción promedio entre la mezcla de insumos iniciales utilizados (5,526 kg) y la cantidad del producto final (1,860 kg) fue de 64% (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cantidad de insumos vs la cantidad de abono final por pila experimental en Zamorano, 2009.

Cama	MESE (kg)	Lodo (kg)	Mezcla (kg)	Abono (kg)	Cosecha (%)
1	1,049.22	279.75	1,328.97	535.00	40.00
2	1,026.13	279.75	1,305.88	548.57	42.00
3	1,034.68	279.75	1,314.43	447.67	34.00
4	997.06	279.75	1,276.81	329.33	26.00
Total	4,107.00	1,119.00	5,226.00	1,860.00	
Promedio	1,026.77	279.75	1306.52	465.14	36.00

4.2 NUTRIENTES Y RELACIÓN C:N

La relación promedio de C:N para los lodos fue de 23:1 (Cuadro 7). La relación C:N para el MESE fue de 50:1. La relación promedio de C:N para la mezcla inicial fue de 47:1. La relación C:N en el abono final fue de 19:1 (Cuadro 8).

Cuadro 7. Caracterización inicial de nutrientes y relación C:N para lodos de fosa séptica de CPA – Hortofrutícola Zamorano, 2009.

Cama	Textura	%			pH	%		mg/Kg (extractable)					C:N
		Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na	
1	Arena Franca	84	14	2	5.64	8.72	0.33	174	240	1,920	160	185	24.3
2	Arena Franca	86	12	2	5.83	9.71	0.39	178	236	2,140	160	188	21.9
3	Arenoso	90	10	0	6.04	8.72	0.26	153	214	2,100	140	168	24.9
4	Arenoso	88	12	0	5.69	9.87	0.34	137	214	1,790	140	175	21.1
Promedio		87	12	1	5.80	9.25	0.33	161	226	1,988	150	179	23.0

Cuadro 8. Caracterización final de nutrientes y relación C:N para abono procedentes de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.

Cama	Textura	%			pH	%		mg/Kg (extractable)					C:N
		Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na	
1	Franco Arenoso	76	18	6	7.12	15.96	0.87	264	2,960	5,850	760	283	18.9
2	Arena Franca	76	22	2	7.57	15.52	0.80	425	3,500	6,250	830	265	10.0
3	Arena Franca	78	20	2	7.34	17.13	0.68	350	2,940	5,850	750	253	22.0
4	Arena Franca	80	18	2	7.39	15.86	0.58	398	3,340	10,950	830	263	28.1
Promedio		78	20	3	7.36	16.12	0.73	357	3,185	7,225	793	254	19.7

Cuadro 9. Comparación del abono final procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano con estándares de calidad de abono maduro, 2009.

Fertilizadores de Laboratorio con estándares de calidad de abono maduro, 2009.								
Abono	pH			Nutrientes				C:N
		%		mg/kg				
		MO	N _{total}	P	K	Ca	Mg	
L	7.4	16	0.7	357	3185	7,225	793	19.7
Estándar	6 – 8	30						15 – 20

4.3 TEMPERATURA

La actividad de microorganismos presentes en el compost y su independencia de la temperatura ambiente se demuestra con las mediciones diarias de temperatura de las pilas experimentales (Figura 5).

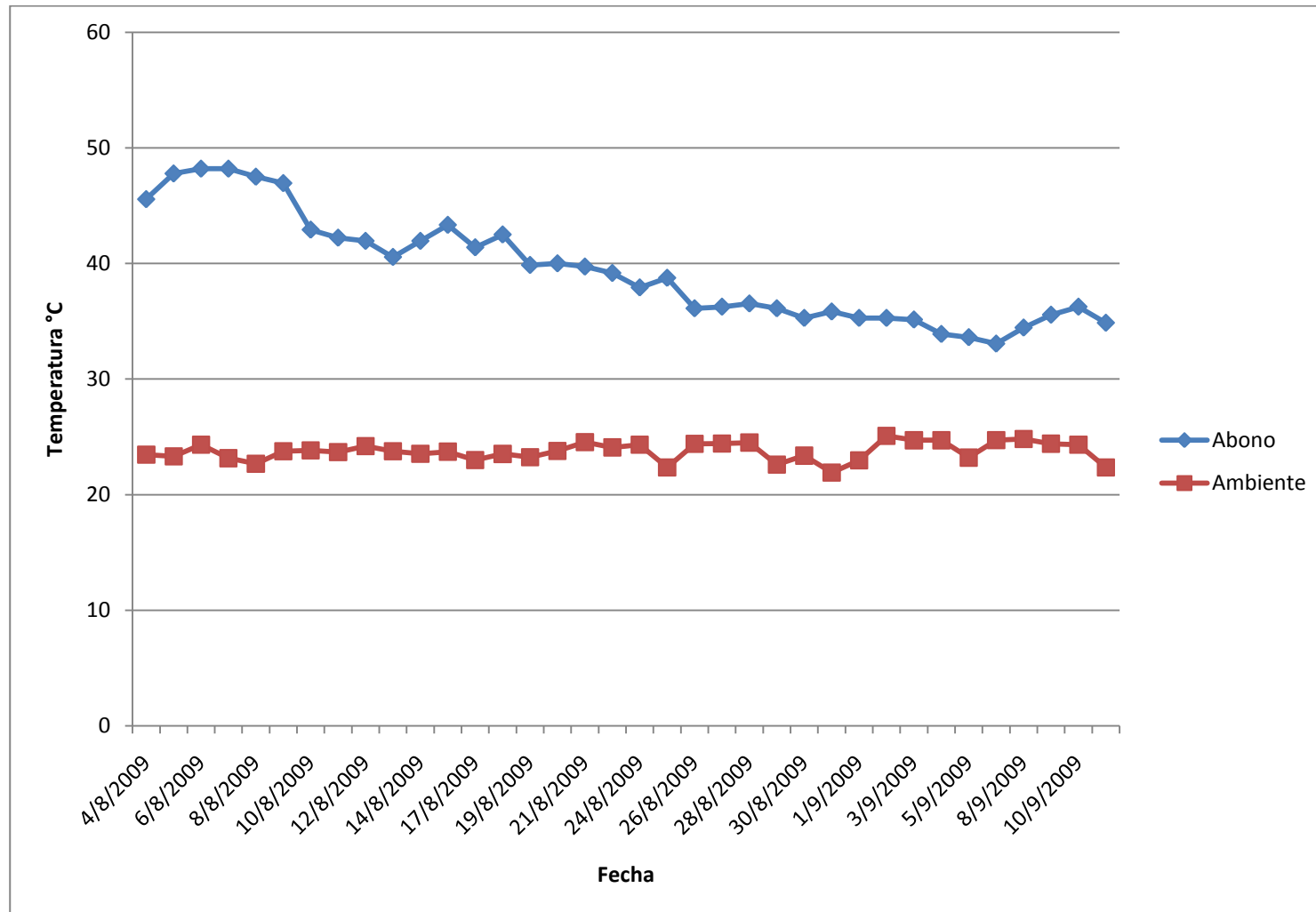


Figura 5. Gráfica de temperatura promedio de las pilas experimentales para compost de lodos provenientes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano comparada con la temperatura ambiente, 2009.

4.4 TIEMPO TOTAL DE COMPOSTAJE

Se adoptó un periodo de compostaje de 11 semanas debido al tiempo destinado para el estudio. El tiempo es relativamente poco, ya que la etapa de maduración puede durar más de un mes. Aunque el tiempo fue poco, el abono presentó características como color oscuro, desintegración del MESE y mezcla homogénea de los insumos (Fotografía 5, Anexo 1).

4.5 METALES PESADOS

Dado el resultado del análisis de laboratorio de las aguas residuales de entrada a la fosa séptica, dos metales pesados (cromo total y plomo) resultaron debajo de los límites establecidos por la Norma Técnica de la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, Secretaría de Salud de Honduras (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de metales pesados en las aguas residuales de entrada a la fosa séptica del colector de aguas negras CPA – de hortofrutícola de Zamorano, 2009.

Análisis	Aguas residuales de entrada (mg/l)	Norma
Cromo total	0.01	0.2
Plomo	0.01	0.2
Aluminio	0.35	0.2

El aluminio en el abono final presentó niveles por debajo de los límites recomendados de agua para riego (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de aluminio para el abono procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.

Cama	Aluminio (mg/kg)
1	< 0.04
2	< 0.04
3	< 0.04
4	< 0.04
Promedio	0.04
Límite recomendado de agua para riego (mg/kg)*	<20

*Fuente: Fipps, s.f.

4.6 COLIFORMES FECALES

El resultado del análisis de patógenos en el abono tomando como indicador a las UFC de coliformes fecales se presentan debajo de los límites establecidos por la Norma sobre el

tratamiento y disposición de los lodos de depuradoras (incluyendo lodos sépticos) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de coliformes fecales en abono procedente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.

Cama	Coliformes Fecales (UFC/ml)
1	0
2	0
3	0
4	15
Total	15
Promedio	3.75
Norma	2,000

4.7 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El análisis de rentabilidad se hizo con base en una proyección de la producción anual de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola (Cuadro 13) para poder conocer la cantidad de abono final que se comercializaría en Zamorano (Cuadro 14).

Cuadro 13. Proyección de la producción anual de los lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano con base en el análisis de aguas residuales de entrada y salida.

Descripción	Cantidad
Sólidos Totales de Entrada	500.97 mg/L
Sólidos Totales de Salida	412.90 mg/L
Sedimentos	88.07 mg/L
Caudal de entrada de aguas residuales a la fosa	253,170.00 L/día
Sedimentos	22,296.68 kg/día
Sedimentos proyectados	8,138.29 kg/año

Cuadro 14. Abono final proyectado anualmente para su venta en Zamorano.

Descripción	Cantidad
Mezcla	29,623.40 kg
Disminución promedio	64.47 %
Disminución promedio	19,098.20 kg
Abono proyectado	10,525.20 kg
	20.40 m³

Se realizó un flujo de caja con cuatro indicadores financieros (VAN, TIR, RB/C y PRI) para el análisis de rentabilidad de la producción de abono orgánico en Zamorano (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de rentabilidad para la producción de abono orgánico en Zamorano.

Descripción	Años					
	0	1	2	3	4	5
Inversión (\$)	229					
Comercialización de abono (\$)		509	509	509	509	509
Ahorros por reducción de residuos en Relleno Sanitario (\$)		84	84	84	84	84
Ingresos (\$)		593	593	593	593	593
Operación y Mantenimiento (\$)		174	174	174	174	174
Depreciación (\$)		46	46	46	46	46
Utilidad Anual (\$)		373	373	373	373	373
Flujo de Efectivo (\$)	-229	419	419	419	419	419
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 1,529					
Tasa Interna de Retorno (TIR)	182%					
Relación Beneficio – Costo (RB/C)	669%					
Tasa de descuento	4.7%					
Ingresos Acumulados (años)		419	838	1,258	1,677	2,096
Período de Recuperación de la Inversión (PRI, años)		0.55				

5. DISCUSIÓN

Debido a la descomposición de los insumos la mezcla original del compost se puede reducir en más de la mitad de su peso. De las pilas experimentales se cosechó en promedio un 36% de su peso original después del periodo de compostaje (Cuadro 6). Además de la descomposición de la materia orgánica, hay que tomar en cuenta que las pilas experimentales de compost fueron tamizadas para obtener solamente el abono maduro. Esto reduce también la cantidad de abono final, ya que los restos del tamizado pueden constituir material nuevo para otro proceso de compostaje.

La relación C:N inicial de la mezcla de compost fue de 47:1 siendo éste valor más alto que el ideal que es de 30:1 (Stoffella & Kahn, 2001). Durante el proceso de compostaje la relación C:N de las pilas experimentales disminuyó entre 10:1 a 28:1 (Cuadro 8), presentando un promedio de 19:1 que se encuentra en el ámbito aceptado que está de 15:1 a 20:1 (Stoffella & Kahn, 2001). En general, los resultados de relación C:N se enmarcan dentro de los aceptados aunque las diferencias en la relación C:N final de las pilas pueden referirse tal vez al estado de las materias primas (mayor degradación de MESE en algunas camas, como la cama 2) o la inclusión accidental de otras materias primas (como olotes para la cama 4).

Al comparar el abono de lodos procedentes de una fosa séptica con algunos estándares de calidad para abono maduro, se observa que el pH se estabilizó y coincidió con los estándares. En cambio, la materia orgánica tiene un valor bajo comparado con el estándar. Esta disminución de materia orgánica, se debe a la actividad de los microorganismos al degradarla y convertirla en abono. La cantidad de nitrógeno disminuye a medida los microorganismos consumen la materia orgánica y esto también se ve reflejado en la disminución de la relación C:N (Cuadro 9).

La temperatura del compost no es influenciada por la temperatura del ambiente (Figura 5) confirmado por el coeficiente de correlación que fue de -0.2214. El compost presentó un ciclo normal de temperatura, aunque se omitieron los datos de la etapa mesofílica inicial, debido a que todavía no se contaba con el termómetro para abono; es por eso que la gráfica comienza desde la etapa termofílica. El máximo de temperatura del abono fue de 48°C, pero este valor es bajo, ya que según Stoffella & Kahn (2001) la temperatura máxima en esta etapa puede variar entre 60°C y 70°C. El compost no pudo alcanzar mayores índices de temperatura debido a que la relación C:N de la mezcla era de 47:1, es decir que la disponibilidad de nitrógeno era muy baja para que los microorganismos termofílicos pudieran desarrollarse.

Los macroorganismos presentes en el proceso de compostaje variaron según la temperatura del compost. En la primera semana (primera etapa mesofílica) no se observó

presencia de macroorganismos en la superficie de las camas experimentales, probablemente las camas tenían los consumidores de primer nivel (bacterias, actinomicetos y hongos) además de que los macroorganismos podían habitar en el corazón de la pila (porque la temperatura en esta etapa no es tan alta). Luego, a medida que la temperatura aumenta en el corazón de la pila por el crecimiento de los microorganismos termofílicos, los macroorganismos (escarabajos, ciempies, arañas, hormigas, escarabajos, tijeretas, cochinillas, lombrices) salen a la superficie de la pila, debido a que no pueden resistir tanta temperatura (Fotografía 6, 7 y 8, Anexo 1).

Siendo el aluminio el metal pesado que sobrepasó los límites establecidos por la Norma Técnica de la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, Secretaría de Salud de Honduras (Cuadro 10) fue el único metal pesado que se evaluó en el abono final. La cantidad de aluminio en el abono final fue inferior al límite recomendado para agua de riego (esta comparación es válida debido a que la movilidad de los metales y el contacto con las plantas es mayor en el agua que en el abono). Por lo tanto, el abono no contribuirá a la toxicidad del suelo con aluminio que podría afectar principalmente el largo, grosor y ramificación de las raíces de los cultivos (Wild & Russell, 1992).

Los coliformes fecales pueden utilizarse como indicadores razonablemente fiables de la presencia de agentes patógenos bacterianos, dado que en las líneas generales, son semejantes sus características de supervivencia ambiental y tasas de destrucción en el proceso de tratamiento (Calvo & Oliet, 2003). La presencia promedio de UFC de coliformes fecales en el abono final es baja (3.75 UFC/ml) en comparación con la Norma establecida por la EPA (2,000 UFC/ml) (Cuadro 12). Hay que tener en cuenta que las aguas residuales de entrada de la fosa séptica no tienen un alto contenido de heces fecales, ya que reciben mayor cantidad de aguas residuales provenientes de las plantas de procesamiento de hortalizas, mieles, granos y semillas, concentrados, panificación y diversos laboratorios. Un análisis de nutrientes para las aguas residuales de entrada a la fosa séptica lo comprueban, presentando una Demanda Química de Oxígeno (DQO, materia orgánica no biodegradable y de origen agroindustrial) mayor a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO, materia orgánica biodegradable como heces fecales) de 453 mg/L y 179 mg/L respectivamente. Este componente pudo haber tenido una relación en la cantidad de coliformes fecales presentes al final del proceso.

La rentabilidad del proyecto sería positiva a través de los años, ya que los beneficios que genera la comercialización del abono orgánico y el ahorro por espacio en el relleno sanitario superan los egresos en los que se incurre. El VAN positivo de \$1,529 representa un buen indicador para la aprobación del proyecto al igual que la TIR de 182% que indica que la rentabilidad del proyecto es mayor a la exigencia del mismo. La RB/C demuestra que por cada dólar que se invierta se obtendrá una ganancia de \$6.69 (Cuadro 15). Para obtener estos resultados, en los datos de ingresos se utilizó un precio de venta del abono de \$25/m³ (L.500/m³) y un ahorro por reducción de residuos sólidos en el relleno sanitario de \$10/m³. En la inversión se incluyó solamente la compra de materiales y equipo como palas, rastrillos, baldes, trinchas y un termómetro para abono. En los egresos se

contabilizó la operación y mantenimiento de las pilas experimentales, tomando en cuenta la limpieza anual de la fosa séptica y el salario de la persona encargada del volteo, monitoreo de temperatura y humedad. Además, se contabiliza en los gastos la depreciación de los materiales y equipo.

Para lograr una mayor retención de sólidos y así un mayor ingreso por producción de abono, se puede instalar en la fosa séptica un filtro. Los filtros pueden ser biológicos (con bacterias anaeróbicas que oxidan la materia orgánica) o sintéticos (con material filtrante capaz de retener las partículas en suspensión como sílex o puzolanas).

6. CONCLUSIONES

- Existe viabilidad en la producción de abono orgánico con lodos procedentes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano demostrado por los indicadores de calidad de abono maduro como la relación C:N, contenido de metales pesados y contenido de patógenos.
- La maduración del abono se demuestra con la disminución de la relación C:N inicial de 47:1 a 19:1 (dentro del ámbito aceptado), indicando la presencia y actividad de micro y macroorganismos durante el proceso de compostaje. Otro indicador de la actividad de organismos es la temperatura, la cual tuvo un comportamiento normal (siguiendo con las cuatro etapas características del proceso de compostaje).
- El contenido de aluminio en el abono final se encontró en <0.04 mg/kg, por debajo de los límites establecidos de agua para riego. La cantidad de aluminio en el abono no es dañina para el desarrollo normal de cultivos ni tampoco contribuye a la contaminación del suelo por dicho metal.
- Los microorganismos patógenos disminuyeron casi por completo de las pilas experimentales debido a la interacción que existe durante el proceso de compostaje entre ellos mismos y otros microorganismos.
- La producción de abono orgánico a partir de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola resulta económicamente rentable para Zamorano, ya que la institución cuenta con el espacio y el personal disponible para realizar tal actividad. La rentabilidad se demostró por medio de indicadores financieros como VAN de \$1,529, TIR de 182%, RB/C de 669% y PRI de 0.55 años.

7. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que la relación C:N inicial de la mezcla del compost entre material de enmienda y soporte y lodos de la fosa séptica se encuentre aproximadamente en 30:1. Si no es posible alcanzar este nivel mezclando solamente estos dos tipos de insumos, se recomienda aplicar a la mezcla inicial otra material con una relación C:N baja (con la capacidad de aportar nitrógeno a la mezcla). Estos materiales pueden ser orgánicos como rastrojos de leguminosas, grama recién cortada, residuos de comida o sintéticos como urea o fertilizantes ricos en nitrógeno.
- Es recomendable que antes de comercializar el abono orgánico en Zamorano, se realice una investigación complementaria que conste en la aplicación del abono orgánico en campo para comprobar la disponibilidad de los nutrientes en plantas.
- Para obtener mayor cantidad de abono orgánico anualmente (teniendo como insumo los lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano), se recomienda instalar algún tipo de filtro en dicha fosa que ayude a captar mayor cantidad de sedimentos. Si el filtro es instalado en la fosa, se recomienda vigilancia periódica para el buen funcionamiento del mismo.
- Debido a que las aguas residuales que las fosas sépticas reciben pueden diferir mucho (dependiendo del uso que recibió el agua) es recomendable realizar un estudio de metales pesados que nos indique la cantidad de los mismos en el inicio del proceso. El análisis se puede realizar ya sea en las aguas residuales de entrada a la fosa séptica o en la mezcla de compost inicial.
- La metodología del estudio puede ser aplicada para otras fosas sépticas, pero no se pueden generalizar las cantidades de los insumos que aquí se utilizan (lodos y a material de de enmienda y soporte) ya que son específicos para la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano. Sin embargo, pueden ser replicados como tal los procesos y cuidados en cuanto a compostaje y monitoreo de calidad en el producto final (relación C:N final, análisis de metales pesados y análisis de organismos patógenos).

- Debido a la mala percepción que pudiera tener el abono orgánico procedente de una fosa séptica entre el público en general, el uso potencial que se recomienda para el abono orgánico procedente del lodo de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola puede estar en el área de reforestación, ornamentales y mantenimiento de áreas verdes.

8. LITERATURA CITADA

Brown, S; Angle, J; Jacobs, L. 1998. Beneficial co-utilization of agricultural, municipal and industrial by-products (en línea). s.l. Springer. Beltsville symposia in agricultural research 22. 430 p. Consultado 13 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=QJEDsbHqcJkC&printsec=frontcover&source=gb_s_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false

Calvo, M; Oliet, P. 2003. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias (en línea). s.l. Mundi-prensa Libros. 465 p. Consultado 14 oct. 2009. Disponible en <http://books.google.com.mx/books?id=UEgdwuRtN18C&pg=PA286&dq=coliformes+fecales#v=onepage&q=coliformes%20fecales&f=false>

Carranza, ET. s.f. Reutilización de aguas y lodos residuales. s.l. s.e. Consultado 23 ag. 2009. Disponible en <http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

Casco, JM. 2008. Compostaje (en línea). s.l. Eds. RM Herrero. Mundi-Prensa Libros. ESP. 570 p. Consultado 27 ag. 2009. Disponible en http://books.google.hn/books?id=V2x2hEfBbboC&printsec=frontcover&source=gb_s_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false

Cofie, O; Kone, D; Rhothenberger, S; Moser, D; Zubruegg, C. 2009. Co-composting of Faecal Sludge and Organic Waste for Agriculture: Process Dynamics. SUI. Water Research.

Dalzell, HW; Riddlestone, AJ; Gray, KR; Thurairajan, K. 1991. Manejo del Suelo: producción y usos del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales (en línea). s.l. FAO (Food and Agricultural Organization). Boletín de Suelos de la FAO 56. 177 p. Consultado 26 ag. 2009. Disponible en http://books.google.hn/books?id=WgZ47ud_bpoC&printsec=frontcover&source=gb_s_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1992. Standards for the use or disposal of sewage sludge, subpart D – pathogens and vector attraction reduction (en línea). USA. 107 – 127 p. Consultado el 13 oct 2009. Disponible en http://www.epa.gov/OWM/mtb/biosolids/503pe/503pe_5.pdf

EPA. 1994a. A guide for land appliers on the requirements of the Federal Standards for the use or disposal of sewage sludge 40 CFR part 503: Land Application of sewage sludge. USA. Consultado 14 de oct 2009. Disponible en <http://www.epa.gov/npdes/pubs/sludge.pdf>

EPA. 1994b. Composting of yards trimmings and municipal solid waste (en línea). USA. DIANE Publishing. 141 p. Consultado 13 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=ycIlZZC6FDsC&printsec=frontcover&source=gb_s_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

EPA. 1995. Composting: Yard and Municipal Solid Waste (en línea). USA. CRC Press. 141 p. Consultado 14 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=T0f_APPZx0gC&printsec=frontcover&source=gb_s_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

EPA. 1999. Decentralized Systems Technology Fact Sheet: Septage Treatment/Disposal (en línea). USA. Consultado el 15 sept. 2009. Disponible en http://www.training.gpa.unep.org/documents/septage_treatmentdisposal_english.pdf

Fernández, A; Sánchez-Osuna, M. 2007. Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Ciudad de la Habana, CUB. ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). 152 p.

Fipps, G. s.f. Irrigation water quality standards and salinity management strategies (en línea). Texas Cooperative Extension, The Texas A&M University System. USA. Consultado 14 oct 2009. Disponible en <http://lubbock.tamu.edu/irrigate/documents/2074410-B1667.pdf>

Hansen, J. 1996. Management of urban biodegradable wastes: collection, occupational health, biological treatment, product quality criteria and end user demand (en línea). s.l. Earthscan. 343 p. Consultado 14 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=XfhO-iP3em4C&printsec=frontcover&source=gb_s_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

Metcalf & Eddy. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. s.l. Trad. JT Montsoriu; IT Fox. 3 ed. rev. McGraw-Hill. V 2.

NRC (National Research Council). 1981. Food, fuel and fertilizer from organic wastes (en línea). 2 ed. USA. National Academy Press. 31v, 153 p. Consultado 28 ag 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=w1ArAAAAYAAJ&printsec=frontcover&source=gb_s_navlinks_s#v=onepage&q=&f=false

Ortiz, PE. 2008. III Foro del Agua, saneamiento básico y ambiental: Agenda inconclusa, Tecnologías de Tratamiento utilizados en Honduras (en línea). HON. SANAA (Servicios de Acueductos y Alcantarillados de Honduras); RAS-HON (Redes de Agua y Saneamiento de Honduras). Consultado el 15 sept. 2009. Disponible en www.rashon.org.hn/FOROIII/tecnologias.pps

Roben, E. 2002. Manual de Compostaje para Municipios. Loja, ECU, Imprenta Santiago. 100 p.

Soto, G; Meléndez, G. 2003. Taller de abonos orgánicos (en línea). s.l. Biblioteca IICA/CATIE. Consultado 13 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=HtUOAQAIAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false

Stoffella, P; Kahn, B. 2001. Compost utilization in horticultural cropping systems. USA. Lewis Publishers. 414 p.

UNESCO-IHE (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – Instituto para la Educación Hídrica); Fondo de la Unión Europea sobre el agua para países África – Caribe – Pacífico; DOALOS (Departamento de Asuntos Oceánicos y la Ley de los Mares); UNDP (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo); GEF (Fondo Internacional para el Medio Ambiente); UNEP/GPA (Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente – Programa Internacional de Acción). 2009. Fosa Séptica (en línea). s.l. Consultado 24 ag. 2009. Disponible en <http://www.training.gpa.unep.org/content.html?id=227&ln=11>

United Nation Population Division. s.f. World Population Prospects: The 2008 Revision (Data Online). s.l. Consultado 25 ag. 2009. Disponible en <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>

Warman, PR; Termeer, WC. 2003. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils (en línea). s.l. Bioresource Technology. Consultado 25 ag. 2009. Disponible en http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1010160336&_sort=r&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_urlserid=10&md5=cdbd5027d5cfbe5c956134dc30dad370

Wild, A; Russell, E. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell (en línea). Mundi-prensa Libros. s.l. 1045 p. Consultado 14 oct 2009. Disponible en http://books.google.com.mx/books?id=gE6x5iIuhGYC&dq=aluminio+suelo&source=gbs_navlinks_s

9. ANEXOS

ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS

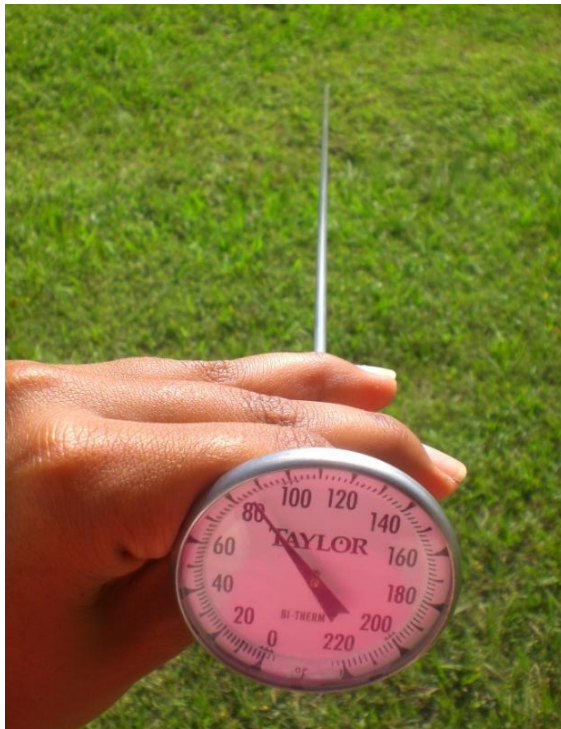
Fotografía 1. Extracción de los lodos sedimentados por medio de balde y pala de la fosa de CPA – Hortofrutícola de Zamorano, 2009.



Fotografía 2. Lodo proveniente de la fosa séptica de CPA - Hortofrutícola listo para ser trasladado al lugar de compostaje en zona 2 en Zamorano, 2009.



Fotografía 3. Taylor Presicion Bi-therm Dial Thermometer utilizado para medir la temperatura del compost.



Fotografía 4. Volteo de las pilas experimentales de compost proveniente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola en Zamorano mediante rastrillos.



Fotografía 5. Abono orgánico con base en lodos de la fosa séptica de CPA - Hortofrutícola en su etapa de maduración.



Fotografías 6. Organismos presentes en la superficie de las pilas experimentales de compost proveniente de lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano.





ANEXO 2. BALANCES DE BIOMASA.

Cuadro 16. Balance de biomasa final para la obtención de la relación C:N promedio de las pilas experimentales de compost en Zamorano, 2009.

Cama	Insumos	P	% N	C:N	H	% C	S	N	C	A
1	MESE	1014.20	1.00	50.00	50.00	50.00	507.10	5.07	253.55	78.38
	Lodos	279.75	0.33	24.30	34.77	8.02	182.49	0.60	14.63	21.62
	Total	1293.95	1.33	47.27	46.71	58.02	689.59	5.67	268.18	100.00
2	MESE	991.93	1.00	50.00	50.00	50.00	495.97	4.96	247.98	78.00
	Lodos	279.75	0.39	21.90	39.49	8.54	169.27	0.66	14.46	22.00
	Total	1271.68	1.39	46.70	47.69	58.54	665.23	5.62	262.44	100.00
3	MESE	865.37	1.00	50.00	50.00	50.00	432.69	4.33	216.34	75.57
	Lodos	279.75	0.26	24.90	15.52	6.47	236.34	0.61	15.30	24.43
	Total	1145.12	1.26	46.88	41.58	56.47	669.03	4.94	231.64	100.00
4	MESE	884.18	1.00	50.00	50.00	50.00	442.09	4.42	221.05	75.97
	Lodos	279.75	0.34	21.10	35.58	7.17	180.21	0.61	12.93	24.03
	Total	1163.93	1.34	46.48	46.53	57.17	622.30	5.03	233.97	100.00

Cuadro 17. Balance de biomasa proyectado para mezcla de compost con lodos procedentes de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola en Zamorano, 2009.

Insumos	P	% N	C:N	H	% C	S	N	C	A
MESE	21,485	1	50	50	50	10,742.5	107.4	5,371.3	72.5
Lodo	8,138.29	0.33	24.3	31.34	8.02	5,587.75	18.44	448.1	27.3
Total	29,623.4	1.33	46.23	44.9	58.02	16,330.3	125.9	5,819.4	100

ANEXO 3. MONITOREO DE TEMPERATURA.

Figura 6. Gráfica promedio de temperatura de abono con lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano para cama 1 vs temperatura ambiente, 2009.

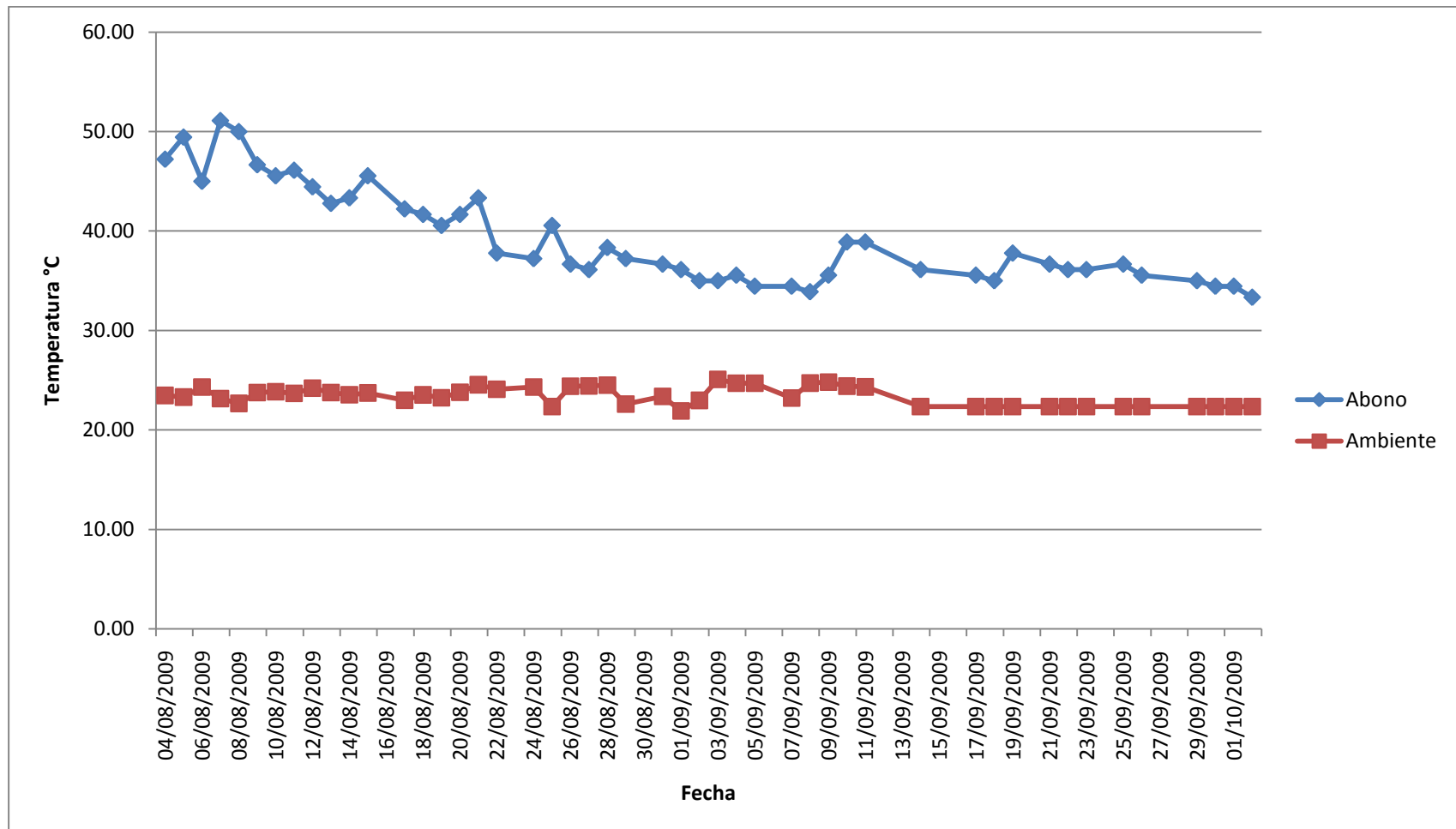


Figura 7. Gráfica promedio de temperatura de abono con lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano para cama 2 vs temperatura ambiente, 2009.

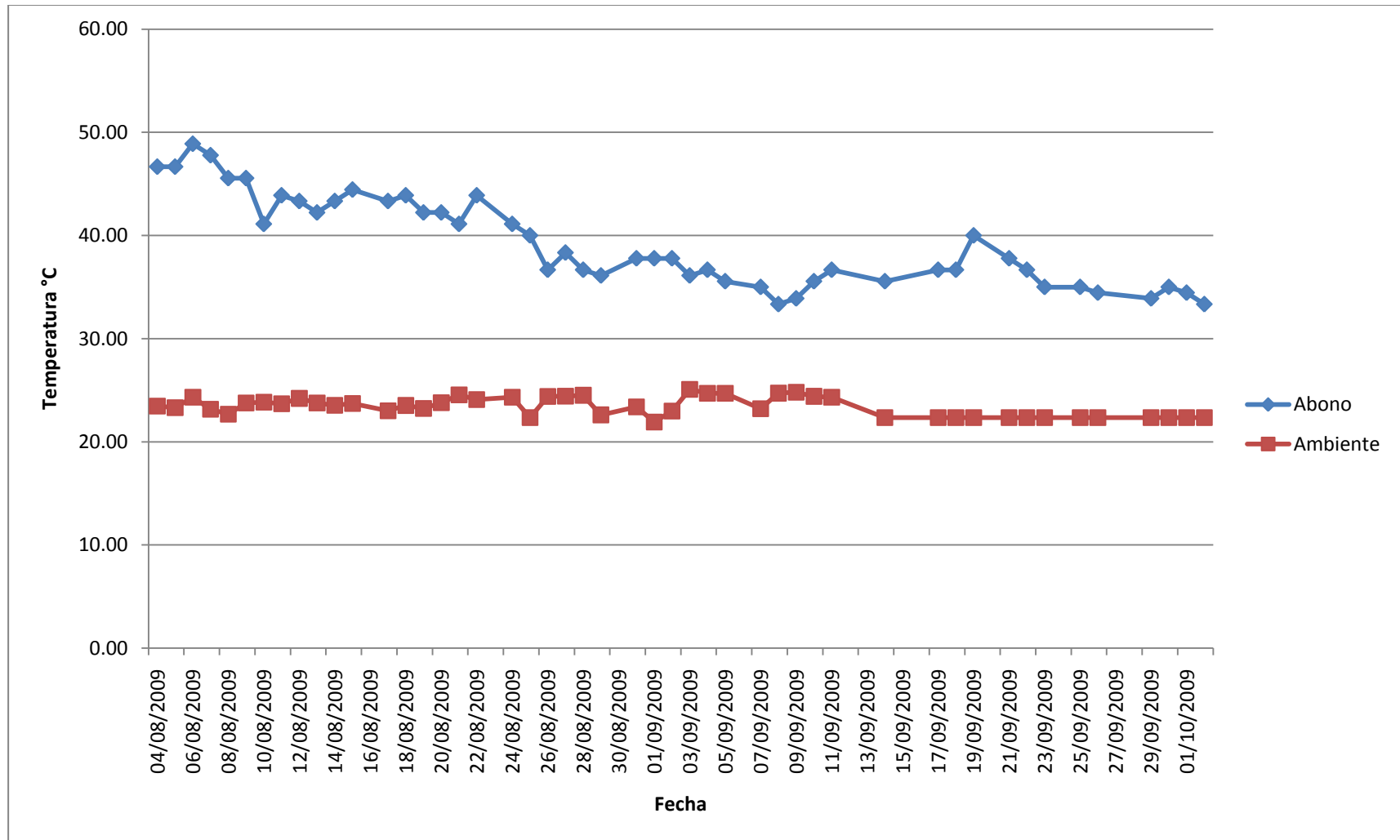


Figura 8. Gráfica promedio de temperatura de abono con lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano para cama 3 vs temperatura ambiente, 2009.

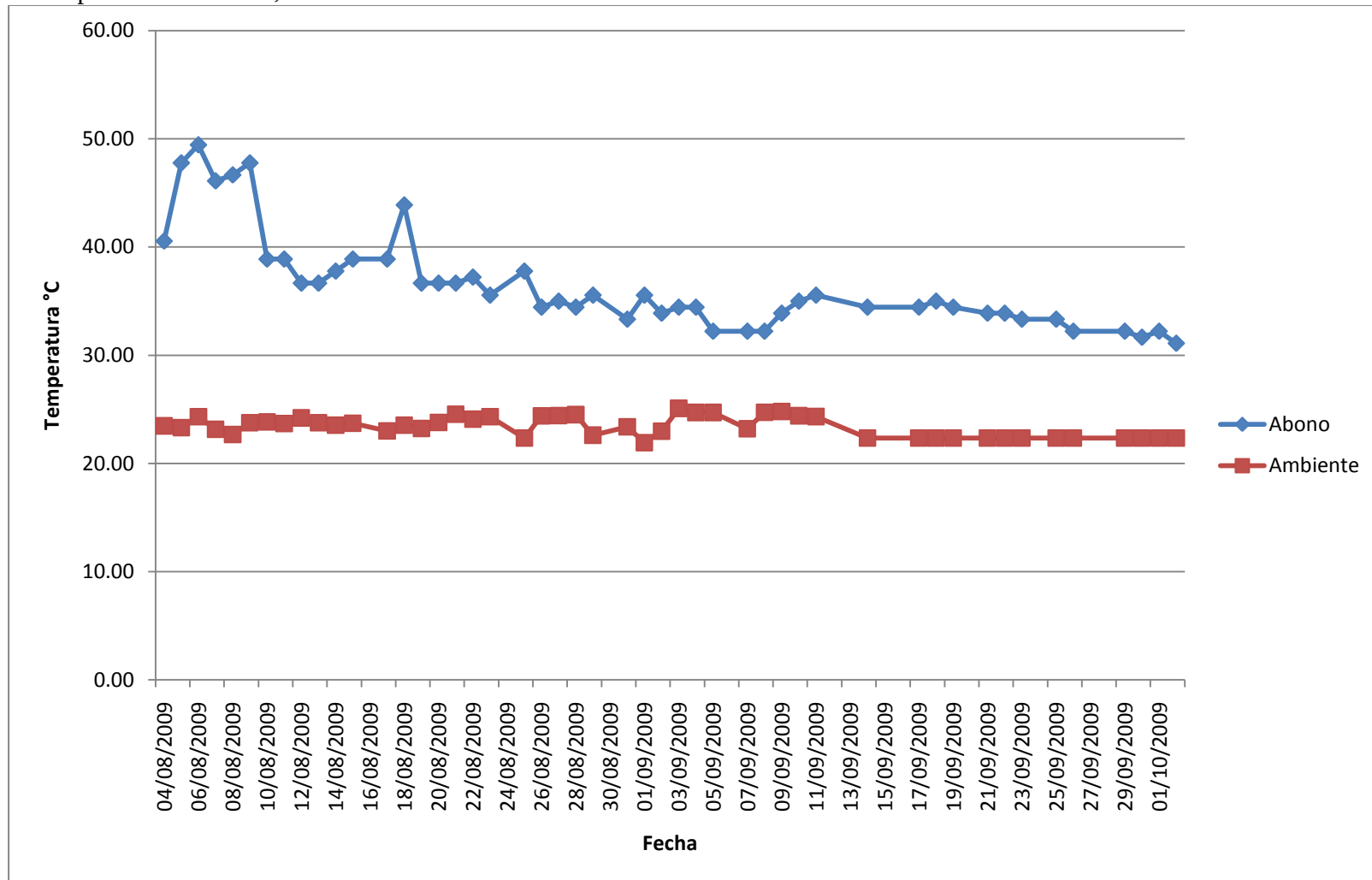


Figura 9. Gráfica promedio de temperatura de abono con lodos de la fosa séptica de CPA – Hortofrutícola de Zamorano para cama 4 vs temperatura ambiente.

