

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



EXPERIENCIAS EN LA ELABORACION DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE MERCADOS DE LA CIUDAD CAPITAL Y SU VALOR AGRONÓMICO

Guatemala, noviembre de 2008

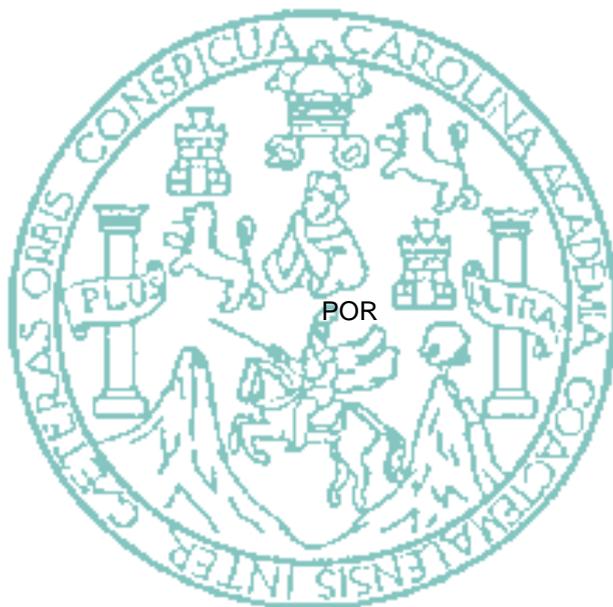
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

EXPERIENCIAS EN LA ELABORACION DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PROVENIENTES
DE MERCADOS DE LA CIUDAD CAPITAL Y SU VALOR AGRONOMICO

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



HUGO LEONEL HERNÁNDEZ SOLARES

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 2008

Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos
Presente

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado

EXPERIENCIAS EN LA ELABORACION DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE MERCADOS DE LA CIUDAD CAPITAL Y SU VALOR AGRONÓMICO

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

Agradeciendo su atención a la presente, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Hugo Leonel Hernández Solares

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR MAGNIFICO

Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Msc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL I	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL II	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL III	Msc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL IV	Br. Rigoberto Morales Ventura
VOCAL V	Br. Miguel Armando Salazar Donis
SECRETARIO	Msc. Edwin Enrique Cano Morales

ACTO QUE DEDIDO

A:

DIOS Por permitirme existir y darme una vida plena, llena de amor, salud y amistad.

MIS PADRES Hugo Leonel Hernández y Rosa Laura Solares, quienes sin su esfuerzo y sacrificio no hubiera sido posible alcanzar mi meta. **Gracias**

MIS HERMANOS Carlos y Gladis por su cariño incondicional.

MI ESPOSA Mirilla, compañera de vida.

MI HIJO José Pablo, mi razón de ser.

MIS AMIGOS Gracias a todos y cada uno de ustedes por compartir su amistad conmigo.

TESIS QUE DEDIDO

A:

TODOS ESOS HEROES ANONIMOS QUE DIA A DIA SE DEDICAN A LA RECOLECCIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA Y CUYA ENCOMIABLE LABOR PASA DESAPERCIBIDA PARA LA MAYORIA DE NOSOSTROS.

AGRADECIMIENTO

A los catedráticos de la Facultad de Agronomía que con su esfuerzo y dedicación han dedicado su vida a la formación académica de los mejores Ingenieros Agrónomos de Guatemala.

A la Municipalidad y especial al departamento de recolección y manejo de residuos por su apoyo e interés en el proyecto.

A la Ingeniera María Antonia Alfaro, quien me dio la oportunidad de poder conocer y desarrollar tan interesante tema.

Al personal de laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía en especial al Ingeniero Aníbal Sacbajá por su amistad y su aporte de conocimientos que enriquecieron el presente trabajo.

En especial a Víctor Hugo, Walter, Hedí (QEPD) y Patty por su ayuda y apoyo incondicional, verdadero ejemplo de amistad.

CONTENIDO GENERAL

Índice de figuras	xi
Índice de cuadros	xii
1. Introducción	1
2. Definición del problema	3
3. Justificación	4
4. Marco teórico	5
4.1 Marco conceptual	5
4.1.1 El compost	5
4.1.1.A Definición	5
4.1.1.B Características del compost	5
4.1.1.C Valoración agronómica de los compost	5
4.1.1.E Efectos del compost en los suelos y cosechas	6
4.1.1.F Métodos para evaluar la madurez de un compost	7
4.1.2 Problemática de los residuos en ciudades	8
4.1.3 Definición y tipos de residuos	8
4.1.4 Producción de residuos sólidos urbanos y composición	9
4.1.5 Efectos de los residuos en el ser humano	10
4.1.6 Características de los residuos sólidos urbanos	10
4.1.7 Manejo de los residuos sólidos urbanos	11
4.1.8 El proceso de compostaje	12
4.1.9 Factores que influyen en el proceso de compostaje	13
4.2 Marco referencial	16
4.2.1 Ubicación del experimento	16
4.2.2 Clima y zona de vida del experimento	16
4.2.3 Área del experimento	16
4.2.4 Condición de los residuos	17
4.2.5 Antecedentes	17
5. Objetivos	18
6. Metodología	19
6.1 Recolección de los residuos	19
6.2 Preparación y manejo del material	21
6.2 Variables	21

6.4 Análisis físicos, químicos y microbiológicos	22
6.5 Metodología de análisis	23
7. Resultados y discusión	23
7.1 Tiempo para la transformación de los residuos en compost	23
7.2 Determinación del contenido de elementos en el compost	26
7.3 Comparación del compost con la gallinaza	27
7.4 Análisis microbiológico	28
7.5 Eficiencia de conversión	29
8. Conclusiones	30
9. Recomendaciones	31
10. Bibliografía	32
11. Anexos	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del pH y la temperatura durante el proceso de compostaje	15
Figura 2. Muestras del material recolectado en los mercados	20
Figura 3. Selección manual del material	20
Figura 4. Preparación del material	20
Figura 5. Material preparado para el compostaje	20
Figura 6. Pilas de compostaje	20
Figura 7. Apariencia del producto final	20
Figura 8. Comportamiento de la temperatura durante el proceso	23
Figura 9. Comportamiento del pH durante el proceso	24
Figura 10. Comportamiento del contenido de materia orgánica durante el proceso	25
Figura 11. Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso	25
Figura 12. Comportamiento del nitrógeno durante el proceso	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de nutrientes para compost	6
Cuadro 2. Composición y volumen de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guatemala para 1994	10
Cuadro 3. Metodología empleada para cuantificar las variables	23
Cuadro 4. Contenido de elementos en el compost	28
Cuadro 5. Clasificación de nivel de calidad acorde a su contenido de elementos	28
Cuadro 6. Comparación del compost con la gallinaza por su contenido de elementos	29
Cuadro 7. Análisis microbiológico de los residuos y compost	30

EXPERIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGANICOS PROVENIENTES DE MERCADOS DE LA CIUDAD CAPITAL Y SU VALOR AGRONOMICO.

EXPERIENCES COMPOSTING ORGANIC RESIDUES FROM MARKETS OF GUATEMALA CITY AND ITS AGRONOMIC VALUE

RESUMEN

En la ciudad de Guatemala se producen más de dos mil toneladas de residuos diariamente. El manejo de estos residuos se limita a su deposición en el relleno sanitario de la zona 3 y en basureros clandestinos ubicados dentro del límite de la ciudad. Esta forma de manejo de los residuos a provocado problemas ambientales serios a sus habitantes, ya que se generan emanaciones de gas metano y otros gases provocando problemas respiratorios serios especialmente a vecinos próximos al relleno sanitario, por lo que constituye una de las principales preocupaciones de la Municipalidad de Guatemala, debido a la falta de espacio y la proliferación de basureros clandestinos, lo cual limita gravemente el control de los mismos.

Entre las alternativas para reducir la cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario están, la recuperación de los materiales reciclables. Sin embargo el mayor porcentaje de los residuos corresponde a la fracción orgánica (un 38%). Y es ésta, la directa responsable de los problemas más serios de contaminación, ya que las condiciones para su descomposición en el relleno no son las más adecuadas, empero, la materia orgánica posee un valor muy apreciado en las labores agrícolas, ya que contribuye a mejorar las condiciones de fertilidad de los suelos y al aporte de elementos nutritivos para los cultivos.

En esta investigación, se cuantificó el tiempo necesario para transformar la materia orgánica de los residuos de los mercados de la ciudad en compost, y se estableció que sus características son adecuadas para su utilización en agricultura. El proceso en si es un proceso libre de malos olores así como su resultado, un producto inocuo y libre de sus características nocivas a la salud.

Para establecer su valor agronómico se cuantificaron los contenidos de elementos esenciales para las plantas.

El periodo en que se obtuvo la madurez del compost, acorde a los parámetros establecidos de pH, CIC y temperatura., fue de 120 días, durante el cual se efectuaron volteos, con el objeto de optimizar el proceso.

Cabe resaltar que durante todo el proceso, no se generó ningún tipo de olor desagradable alrededor de las pilas de compostaje, la cual es una característica indicativa de un proceso bien desarrollado.

El elemento fósforo fue el único que se encontró en un valor relativamente bajo. Los contenidos de elementos menores se encuentran en un valor bajo acorde a las categorías establecidas. Sin embargo esta característica es favorable ya que los riesgos de contaminación de suelos son a la vez bajos y no limita las aplicaciones en campo aun en grandes cantidades.

En cuanto al riesgo para la salud derivado del uso del compost, este se determinó como bajo ya que el análisis microbiológico efectuado no encontró presencia de microorganismos patógenos.

Como alternativa para el manejo de los residuos, se puede concluir que: el material final posee las características de un compost con un alto estándar de calidad acorde a su contenido de nutrientes, además carece de factores limitantes para su utilización a gran escala debido a su bajo contenido de elementos menores así como la ausencia de microorganismos patógenos.

1. INTRODUCCION

La basura constituye un problema serio de contaminación en el mundo moderno. El aumento de la población y del consumismo agrava cada día más el problema y la ciudad de Guatemala no es ajena a él.

La presencia de basureros clandestinos en barrancos y sectores adyacentes a la ciudad, así como la contaminación ambiental producida por el relleno sanitario de la zona 3, es evidente para la mayoría de personas que vivimos en ella.

El objetivo de esta investigación fue plantear como alternativa al relleno sanitario, la transformación de la materia orgánica, presente en los residuos de mercados, para la elaboración de compost. Ya que la mayor parte de los residuos de la ciudad están constituidos por materia orgánica (38%) y es esta materia orgánica la responsable de una buena parte de la contaminación debido a la generación de malos olores, metano y lixiviados.

El proceso utilizado para la transformación fue el de compostaje aeróbico. Este tuvo una duración de 120 días, tiempo durante el cual se efectuaron varios volteos y se monitorearon los indicadores claves para el buen desarrollo del proceso.

El compost obtenido a partir de los residuos orgánicos, obtuvo contenidos de nutrientes comparables a los de la gallinaza, el cual es el producto comparativo inmediato, utilizado como fuente de materia orgánica en el mercado agrícola. Por lo que acorde a este resultado, se concluye que el compost de residuos orgánicos provenientes de mercados, reúne las características adecuadas para su comercialización. El único elemento que se encontró en un bajo porcentaje dentro del compost fue el fósforo (0.003%), lo cual es una característica de este tipo de material. Sin embargo, este elemento puede ser enriquecido mediante la adición de roca fosfórica u otra fuente de fósforo disponible en el mercado.

Al inicio del proceso, se detectó la presencia de bacterias patógenas, específicamente (*Yersinia enterocolitica*), la cual es una bacteria que afecta especies menores, como roedores y aves, sin embargo puede llegar a afectar al hombre, causando principalmente gastroenteritis. Debido a las elevaciones de temperatura que ocurren en la fase termofílica del proceso de compostaje, el producto final es libre de bacterias patógenas.

Uno de los factores limitantes, identificados en la investigación para el desarrollo de este proceso, fue el alto contenido de humedad presente en los residuos orgánicos (87%), el cual hace necesario el manejo de grandes volúmenes al inicio y que al final producen relativamente una pequeña cantidad de compost. La conversión estimada en la investigación fue que a partir 1 m³ de residuos orgánicos se produce 0.1 m³ de compost comerciable.

Durante el proceso no se generaron malos olores y su producto final presentó una apariencia similar a la de tierra húmeda, por lo que independientemente de su posibilidad de comercialización como fuente de materia orgánica, este proceso constituye un manejo de residuos más inocuo al ambiente que el que actualmente se desarrolla.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El manejo de la basura generada por los asentamientos humanos, se ha convertido en un problema en el que se ven amenazados el equilibrio ecológico y el mismo bienestar del hombre.

En la ciudad de Guatemala, se produjeron durante el año 2005, dos mil toneladas de residuos urbanos diariamente, de los cuales el 45 % son depositados en el relleno sanitario de la zona 3, el 8% lo recibe el vertedero del kilometro 22 Ruta al Pacífico un 5% el barranco de las Guacamayas y el resto es depositado en diferentes basureros clandestinos (9).

El manejo de esta cantidad de residuos se complica, debido a que cada día se incrementa el volumen a manejar y se limita el espacio donde depositarlo.

Estudios hechos por la Municipalidad de Guatemala, han estimado que el relleno sanitario de la zona 3 llegará a su límite a mediados del año 2012. En la ciudad de Guatemala, un 38% del volumen de residuos sólidos urbanos producidos, son materia orgánica, siendo este un porcentaje aún mayor en la basura proveniente de los mercados cantorales (9).

Si se hace referencia a la producción anual de residuos urbanos de la ciudad capital, cuya cantidad asciende a 730,000 toneladas anuales, la fracción orgánica estaría constituida por aproximadamente unas 277,000 toneladas anuales (9). Las cuales constituyen la principal fuente de contaminación de nuestra ciudad, pero a la vez constituye una apreciable fuente de materia orgánica para la elaboración de un compost, comerciable y útil para los procesos de producción agrícola.

3. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Guatemala, el manejo de los residuos sólidos urbanos se limita a su depósito dentro del relleno sanitario de la zona 3, generando problemas de contaminación, debido a la producción de gas metano y su posterior combustión; así como la liberación de amoníaco y otros gases provenientes de su descomposición. La contaminación de mantos acuíferos cercanos por lixiviados y la proliferación de insectos y roedores portadores de enfermedades.

La solución planteada en esta investigación se realizó con el objetivo de disminuir el flujo de residuos hacia el relleno sanitario, aprovechando los residuos orgánicos provenientes de mercados para su transformación en compost y su utilización en la agricultura como fuente de materia orgánica.

Si se considera que un 38% del volumen de residuos sólidos urbanos producidos en la ciudad, está constituido por compuestos orgánicos, esto significa un volumen diario de más de 760 toneladas y de más de 277,000 toneladas anuales. Lo que potencialmente constituye una cantidad importante de material para considerar su transformación a compost (9).

El compostaje de la fracción orgánica, constituye un proceso clave dentro de los programas de recuperación y eliminación de desechos sólidos del área metropolitana en Guatemala.

En este sentido, la presente investigación constituye un planteamiento concreto de solución al problema de contaminación así como una alternativa más inocua al ambiente y de valiosa utilidad para los procesos de producción agrícola del país.

La Misma Constitución de la República de Guatemala, hace referencia a la importancia de realizar investigaciones que contribuyan de alguna manera a resolver la problemática ambiental; en su artículo 97, Medio ambiente y equilibrio ecológico, "El Estado, las Municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico".

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 EL COMPOST

4.1.1.A DEFINICIÓN DE COMPOST

“Producto resultante del proceso de compostaje y maduración, constituido por una materia orgánica estabilizada semejante al humus, con poco parecido con la original, puesto que ha sido degradada dando como resultado partículas más finas y oscuras. Es un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación al suelo no provoca daño a las plantas y que permite su almacenamiento sin posteriores tratamientos y alteraciones” (1).

“El compost es un producto negro, homogéneo y, por regla general, de fórmula granulada sin restos gruesos, es un producto húmico y cálcico, capaz de aportar oligoelementos al suelo” (3).

4.1.1.B CARACTERÍSTICAS

- a. Es un producto estabilizado resultante de procesos biológicos
- b. Constituye un producto inocuo, libre de patógenos.
- c. Debe haber sido sometido a una etapa inicial de descomposición
- e. Es el resultado de un proceso de humificación, el cual ocurre en la etapa de maduración (1).

4.1.1.C VALORACIÓN AGRONÓMICA DEL COMPOST

4.1.1.C.a MATERIA ORGÁNICA

La cantidad de materia orgánica presente en un compost, puede variar entre un 25-45% sobre peso seco. El coeficiente de 1.72, empleado para obtener valores de materia orgánica, a partir del carbono orgánico total ($\%M.O.=\%COT \times 1.72$), puede dar resultados muy bajos, algunos autores, proponen como valor apropiado 2 para este coeficiente (1).

4.1.1.C.b HUMEDAD

Los valores de humedad, varían entre un 30-35%, un bajo contenido de humedad, refleja un buen proceso de compostaje y facilita la labores de transporte (1).

4.1.1.C.c CONTENIDO DE NUTRIENTES

Los contenidos mínimos de nutrientes, presentes dentro de un compost se presentan a continuación:

Cuadro 1. Contenidos mínimos de nutrientes para compost

Nutrientes	Nivel mínimo admisible (%)
N	0.6
P ₂ O ₅	0.5
K ₂ O	0.3
CaO	2.0
CaCO ₃	3.0
MgO	0.3

Fuente Costa (2)

4.1.1.C.e SALINIDAD

La salinidad en un compost no debe exceder de 2 gr / lt (expresada en NaCl) (1).

4.1.1.C.f POTENCIAL HIDRÓGENO

Los límites de pH para compost maduros se establecen en el rango de 6.5-8 (1).

4.1.1.C.g ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS

Un compost debe ser siempre sometido a un control sobre su índice microbiológico, el cual deberá ser más estricto en función del uso que habrá de dársele. El control de la temperatura, aireación y humedad constituyen un buen recurso para obtener un compost libre de patógenos.

En general los requerimientos establecidos son:

- a. El compost no debe de contener salmonellas
- b. No debe de contener huevos de parásitos
- c. El límite máximo de coliformes es de 5×10^3 /gramo

4.1.1.D EFECTOS DEL COMPOST EN LOS SUELOS Y COSECHAS

La presencia de materia orgánica en los suelos, influye de gran manera en sus propiedades físico-químicas. Desde el punto de vista agronómico, se ha considerado a los compost como productos capaces de restituir al suelo su materia orgánica.

En estudios llevados a cabo, se ha demostrado que el compost posee efectos a corto y largo plazo en la producción de cosechas. Los mecanismos exactos que provocan estos beneficios son aún desconocidos, pero parecen estar ligados a los efectos no muy bien conocidos del material conocido como humus (1).

El compost tiene efectos directos en el suelo sobre su macro estructura, influye sobre el volumen de los poros, dando como resultado una mejora en la distribución de humedad e intercambio de gases. Aumenta su capacidad de retención hídrica, debido a la capacidad que tienen las sustancias húmicas de retener agua. El compost también incrementa la retención de nutrientes en el suelo debido a las propiedades de intercambio iónico de la materia orgánica.

La adición de compost al suelo, favorece a la coexistencia en el mismo de diversas especies de microorganismos benéficos. El aporte de compost aumenta de forma espectacular la micro flora del mismo. La población microbiana del suelo es un factor muy importante para su fertilidad, ya que son responsables de la eficacia de los ciclos biológicos de los elementos tales como el carbono, nitrógeno etc.

Desde el punto de vista nutricional, el compost posee efectos directos, suministrando elementos presentes en él y de forma indirecta, favoreciendo el intercambio iónico de los mismos en el suelo (1).

4.1.1.E MÉTODOS PARA EVALUAR LA MADUREZ DE UN COMPOST

4.1.1.E.a MÉTODOS FÍSICOS

i) OLOR

El olor de un compost maduro es semejante al de tierra mojada (1).

ii) TEMPERATURA ESTABLE

Se considera un compost maduro, cuando la temperatura desciende hasta alcanzar la temperatura ambiente y se mantiene sin variaciones incluso efectuando volteos (1).

4.1.1.E.b MÉTODOS QUÍMICOS

i) DETERMINACIÓN DE pH

El pH ha sido considerado como un indicativo de la evolución del proceso de compostaje. El pH desciende al principio del proceso para subir posteriormente, conforme lo hace la temperatura, estabilizándose durante la fase de maduración.

ii) RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Por lo general un compost se considera maduro cuando la relación carbono/nitrógeno es menor de 20 o lo más cercano a 15 (1).

iii) DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La capacidad de intercambio catiónico aumenta a lo largo del proceso de compostaje, encontrándose este parámetro estrechamente ligado con la relación C/N. Al final del proceso la capacidad de intercambio catiónico se estabiliza considerándose un compost maduro cuando el valor es superior a 60 meq/100gr de suelo (1).

4.1.2 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS EN CIUDADES

La generación de desechos o residuos, le es inherente al hombre en el proceso de transformación de la naturaleza y la misma se incrementa a medida que avanza la civilización y su necesidad de consumo.

En el mundo se producen más de 4 millones de toneladas de basura doméstica, urbana e industrial, lo que constituye un serio problema desde el punto de vista ecológico, higiénico, sanitario, social y económico, en virtud que se desaprovecha el potencial energético de estos residuos (3).

Para el año de 1980 la Comunidad Económica Europea, cifró para el conjunto de sus países una producción de 8,000 millones de toneladas de residuos (1).

La Municipalidad de Guatemala ha estimado en el 1994 una producción de residuos en el área metropolitana de 2,000 toneladas diarias, es decir aproximadamente 730,000 toneladas anuales (0.91 Kg/persona/día) (9).

El manejo de procesamiento y depósito de los residuos sólidos urbanos en los Estados Unidos, ha alcanzado grandes proporciones y constituye uno de los mayores problemas de contaminación en la actualidad. Los ciudadanos de los Estados Unidos desechan más de 200 millones de toneladas de residuos al año (2.72 Kg/persona/día). En el pasado estos residuos eran depositados en rellenos sanitarios o incinerados. Pero debido a los riesgos de contaminación del agua y el aire fueron desarrollados otros métodos que implican menos riesgos (11).

La solución al problema de los residuos, debe comprender un concepto de control total, evitando la contaminación del agua, aire y suelo. El compostaje de los residuos orgánicos, proporciona una solución práctica y eficiente para el control de la contaminación producida por los residuos (1).

4.1.3 DEFINICIÓN Y TIPO DE RESIDUOS

La Real Academia Española de la lengua, define los residuos como: “Lo que resulta de la descomposición o destrucción de alguna cosa, parte o porción que queda de una cosa”.

Costa (1), define a los residuos como “Aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado, en el contexto en el que se producen, ningún valor económico”.

La ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente de la república de México, define a los residuos así: “Cualquier material generado en los proceso de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo en el proceso que lo generó” (3).

La Comunidad Económica Europea, en su directiva 75/442 especifica que se entenderá como residuo, cualquier sustancia u objeto del cual se desprende su poseedor o tenga obligación de desprenderse, en virtud de las disposiciones nacionales vigentes (1).

Costa (1), clasifica a los residuos dentro de las siguientes categorías: agrícolas, forestales, industriales y residuos urbanos. Los residuos agrícolas, utilizados en alimentación animal, producción del alcohóles y aceites; los residuos forestales, corteza, serrín y viruta, utilizados como combustibles, los residuos ganaderos, procedentes de la actividad biológica animal, los residuos industriales, y los residuos urbanos, generados por actividades en los centros poblados y zonas de influencia. Dentro de los residuos urbanos, se mencionan dos divisiones. Los residuos sólidos urbanos, de origen doméstico, mercados etc. y lodos de depuradora producto de aguas residuales.

4.1.4 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SU COMPOSICIÓN

La producción de residuos urbanos y su composición, se encuentra en función del nivel de desarrollo de cada país, es decir un país con nivel de desarrollo alto producirá un mayor volumen de residuos por habitante que un país en vías de desarrollo, debido a que la actividad de consumo es superior en los

países desarrollados. En lo que a composición se refiere, los niveles de materia orgánica, tienden a ser menores en los países desarrollados que en la de los países en vías de desarrollo. A continuación se presentan los datos de producción y composición de los residuos sólidos urbanos para la ciudad de Guatemala.

Cuadro 2. Composición y volumen de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Guatemala para el año 1994

Materia orgánica	38%	760 ton/día	277,400 ton/año
Varios	20%	400 ton/día	146,000 ton/año
Cartón-papel	16%	320 ton/día	116,000 ton/año
Vidrio	8%	160 ton/día	58,400 ton/año
Metal magnético	7%	120 ton/día	51,100 ton/año
Plástico	6%	114 ton/día	43,800 ton/año
Metal no magnético	5%	100 ton/día	36,500 ton/año
TOTALES	100%	2000 ton/día	730,000 ton/año

Fuente: Municipalidad de Guatemala 1994.

4.1.5 EFECTOS DE LOS RESIDUOS URBANOS EN EL SER HUMANO

La presencia de residuos urbanos tiene diferentes efectos en el ser humano. El primero y más importante es el desarrollo de enfermedades de tipo respiratorio debido a la emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica. El segundo constituye la generación de enfermedades transmitidas por vectores que se alimentan y se reproducen dentro de los residuos orgánicos, tales como la malaria, dengue, tifus, enfermedades gastrointestinales y el tercero es el efecto psicológico desde el punto de vista estético, en donde la presencia de basura en las áreas urbanas incrementa los niveles de estrés y depresión en el ser humano.

4.1.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS

4.1.6.A RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

La relación carbono/nitrógeno es la relación que se establece en base al contenido de nitrógeno y al contenido de carbono dentro de los materiales orgánicos.

Una relación C/N de 20:1 posee el suficiente nitrógeno para suministrar a los microorganismos pudridores y a las plantas. Una relación C/N 20:1-30:1 posee suficiente nitrógeno para los microorganismos pudridores no así para las plantas. Una relación C/N superior a 30:1 carece de nitrógeno suficiente para su

descomposición inmediata por lo que requerirá de un aporte externo de nitrógeno para su descomposición (5).

La relación C/N en los residuos sólidos urbanos está en función del aporte de la fracción papel-cartón lo que hace que dicha relación aumente. Los países desarrollados poseen niveles de la relación C/N superiores a 35, en los demás la relación es inferior a 28. Una relación entre 20 y 35 se considera óptima para su descomposición biológica (1).

4.1.6.B DENSIDAD

La densidad de los residuos sólidos urbanos está en función de su heterogeneidad. En los países menos desarrollados la densidad tiende a ser mayor que en los países desarrollados, ya que en los últimos se desechan muchos materiales voluminosos y de poco peso (1).

4.1.6.C PORCENTAJE DE HUMEDAD

El contenido de humedad posee poca influencia en lo que se refiere al poder calorífico del material y la transformación biológica de la fracción orgánica. La humedad tiende a ser mayor en países en vía de desarrollo (1).

4.1.7 MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

4.1.7.A VERTIDO CONTROLADO O RELLENO SANITARIO

El vertido controlado o relleno sanitario, consiste en depositar los residuos ocupando menores dimensiones, reduciéndolos al mínimo mediante su compactación y recubriéndolos con una capa de tierra y así minimizar los riesgos de contaminación ambiental (3).

La elección adecuada del terreno es importante para evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido a lixiviados (1).

4.1.7.B INCINERACIÓN

Constituye el método más efectivo y radical para disponer de la basura, pero es a la vez el más costoso (3).

El proceso de incineración transforma los residuos en materiales inertes y gases. El proceso consiste en secar la basura en un horno (elevar la temperatura hasta el punto de incineración), introducir el aire necesario para la combustión y por último evacuar los residuos.

4.1.7.D RECICLAJE

Es un proceso en el cual se recuperan de forma directa o indirecta determinados componentes contenidos en los residuos. El reciclaje parte del principio de conservación de los recursos naturales y en el cual se logra una buena reducción del volumen de residuos a tratar (2).

Son materiales susceptibles a reciclar, el vidrio, cartón, papel, plástico, aluminio y otros metales. Todos estos constituyen materiales reutilizables. En el caso de la materia orgánica, ésta se considera un material transformable, tal como ocurre en el proceso de su descomposición aeróbica durante el proceso de compostaje.

4.1.7.C COMPOSTAJE

El compostaje de los residuos orgánicos es uno de los manejos más antiguos que se le ha dado a estos. El proceso en sí tiene la capacidad de convertir los residuos orgánicos en un producto de bajo volumen en relación al material de partida, además estable y de gran potencial en la agricultura. El compost no puede considerarse como un fertilizante, aunque no puede desestimarse su valor como aportador de nutrientes; pero su principal valor radica en su aporte de materia orgánica al suelo y los beneficios que ésta proporciona al mismo (11).

El compostaje de residuos orgánicos urbanos no sólo comprende una solución alternativa para el manejo de la basura producida en los centros urbanos, sino que abarca un concepto más amplio e integral, ya que constituye también una vía de retorno hacia las zonas agrícolas de una parte de los minerales extraídos durante las cosechas, prolongando y manteniendo la fertilidad de los suelos, reduciendo la dependencia de fertilizantes minerales y disminuyendo el riesgo de erosión en el suelo (1).

4.1.8 EL PROCESO DE COMPOSTAJE

El compostaje aeróbico es un proceso bioxidativo controlado, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada, sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termofílica y una producción temporal de fitotoxinas dando al final como producto de los proceso de degradación, CO₂, agua, minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en la agricultura sin que provoque fenómenos adversos (2).

El compostaje es la reacción microbial de mineralización y humificación parcial de sustancias orgánicas bajo condiciones óptimas en un periodo de tiempo que comprende varios meses (6).

El proceso de compostaje está bien definido por 4 etapas: la primera denominada mesófila, en donde se inicia el proceso de descomposición, la segunda denominada termofílica, en la cual ocurre un aumento de la temperatura debido a la actividad microbiana y es en la cual se da la mineralización de la materia orgánica, la tercera, etapa de enfriamiento en la cual la temperatura disminuye y se estabiliza, y la cuarta etapa a la que se denomina etapa de maduración, en esta etapa se dan procesos de humificación con reacciones de poli condensación y polimerización, dando un producto similar al humus y el cual es el que se conoce como “compost” (1).

4.1.9 FACTORES QUE INFLUYEN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Debido a la naturaleza biológica inherente al proceso de compostaje, todo factor que influya en la población microbiana, afecta directamente al proceso de compostaje. Un óptimo proceso debe consistir en realizarlo de una manera adecuada en el menor tiempo posible y esto depende de determinados parámetros que varían según el proceso de compostaje utilizado.

4.1.9.A CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEGETAL

4.1.9.A.a FÍSICAS

Costa (2) menciona que la característica física más relevante en el material para compostaje es el tamaño de las partículas, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano, más rápida y completa será la reacción.

4.1.9.A.b QUÍMICAS

La riqueza del material empleado está en función de su disponibilidad de elementos nutritivos. Los microorganismos solo pueden aprovechar compuestos simples, las moléculas complejas necesitan de reacciones enzimáticas más complejas por lo que su descomposición dependerá de la aptitud de los microorganismos para sintetizar los complejos enzimáticos (1).

Los microorganismos necesitan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción, al momento de participar en el proceso de compostaje, micronutrientes tales como el boro, manganeso, cinc, zinc, hierro, molibdeno y cobalto, los cuales pueden llegar a ser tóxicos si se presentan en concentraciones altas, éstos participan en la síntesis de enzimas y en los mecanismos de transporte intra y extracelular. En cuanto a macro nutrientes, el nitrógeno es un elemento indispensable para la reproducción celular, lípidos, grasas y carbohidratos. El fósforo, el cual participa en la formación de compuestos celulares ricos en energía. La presencia de estos elementos dentro del material y en las proporciones adecuadas facilita un adecuado proceso de compostaje.

4.1.10.B CARACTERÍSTICAS RELATIVAS AL PROCESO

4.1.10.B.a TEMPERATURA

Al inicio del proceso el material se encuentra a temperatura ambiente, conforme la población microbiana se multiplica, la temperatura se incrementa rápidamente, al alcanzar los 40° centígrados cesa la actividad mesofílica y se inicia la actividad termófila, a los 60° centígrados los hongos termófilos sobreviven a esta temperatura. *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sp.* y algunas bacterias gram negativas del genero *Thermus* (7). A medida que los materiales fácilmente degradables se consumen, se inicia un descenso en la temperatura y vuelven a la actividad los hongos termófilos, degradando la celulosa, al descender la temperatura a 40° grados centígrados vuelven a la actividad los organismos mesófilos, dando inicio a la etapa final del proceso de compostaje, es decir la etapa de maduración, la cual se desarrolla a temperatura ambiente existiendo reacciones de condensación y polimerización, dando como resultado un compost estabilizado (1).

4.1.10.B.b POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

El pH se ha tomado como parámetro indicativo de la evolución del proceso de compostaje (1). El pH inicial sufre un descenso debido a la liberación de ácidos orgánicos, posteriormente el pH tiende a subir como consecuencia del ion amonio. Un aumento fuerte en la temperatura y el pH, puede dar lugar a pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Al estabilizarse el material, los valores de pH tienden a situarse entre siete u ocho. Un rango de pH entre 5-9 se considera óptimo (1).

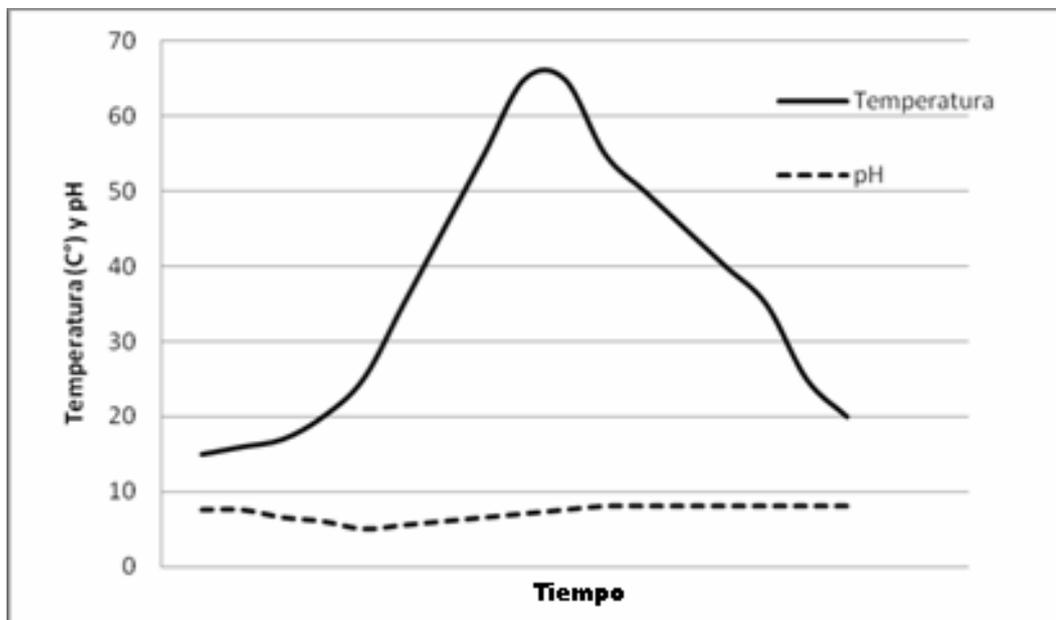


Figura 1. Comportamiento del pH y la temperatura en el proceso de compostaje (2).

4.1.10.B.c OXIGENACIÓN

El oxígeno es necesario, tanto para la respiración de los organismos como para oxidar el material a compostar. Existe una relación directa entre la actividad microbiana y el consumo de oxígeno, teniendo lugar cuando la temperatura se encuentra entre los 28° y 25° centígrados (1).

Durante el proceso el CO₂ aumenta, disminuyendo el nivel de oxígeno. La concentración de oxígeno varía de un 15 a un 20%, mientras que la de bióxido de carbono se sitúa entre un 0.5 a 5%. Cuando el contenido de oxígeno se reduce por debajo de este rango, los microorganismos anaeróbicos sustituyen a los aeróbicos, dando lugar al proceso de fermentación anaeróbica. Un nivel óptimo de oxígeno debe ser

mantenido constantemente para mejorar los procesos biooxidativos. El consumo de oxígeno durante el compostaje es directamente proporcional a la actividad microbiana. Es así como se establece una relación directa entre el consumo de oxígeno y la temperatura. La mayor actividad microbiana se encuentra entre el rango de los 28°-55° centígrados, sucediendo a la vez el mayor consumo de oxígeno (6).

4.1.10.B.d HUMEDAD

Una humedad menor al 40% reduce la actividad de los microorganismos, principalmente las bacterias y si es menor del 30%, se convierte en un factor limitante para la descomposición. Por debajo del 12% cesa prácticamente toda la actividad biológica. Un rango óptimo se sitúa entre 50 y 60% (1).

El contenido de humedad varía en función del estado físico y el tamaño de las partículas, ya que el contenido de humedad y la oxigenación se encuentran estrechamente relacionados en función del desplazamiento de aire por agua en los intersticios del material. Una pobre humedad significa una temprana deshidratación del material, restringiendo la actividad microbiológica y dando como resultados un compost físicamente estable pero biológicamente inmaduro (6).

4.1.10.B.e RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Teóricamente, una relación C/N de 30:1 se considera óptima para un materia a composta. El intervalo comprendido entre 26 y 35 se considera recomendable. Niveles bajos resultan en una pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco, especialmente cuando existen altos niveles de pH y temperatura, causando mal olor en el proceso. Niveles altos en la relación dan como resultado una disminución en la tasa de descomposición, debido a la falta de nitrógeno disponible para los microorganismos (6).

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se ubicó en las instalaciones de la Dirección General de Energía Nuclear, del Ministerio de Energía y Minas, ubicadas en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

4.2.2 CLIMA Y ZONA DE VIDA DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló a una altura de 1,530 msnm, perteneciente a la zona de vida Bosque húmedo subtropical, con una temperatura promedio anual de 18.3° centígrados, precipitación media anual de 1,216 mm y una humedad relativa de un 79%.

4.2.3 ÁREA DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló en un área techada y con piso de concreto de 20 metros cuadrados, para facilitar las labores de volteo y de manejo de la humedad. Los residuos fueron colocados en barriles plásticos de 54 galones con agujeros laterales de cuatro pulgadas de diámetro, para facilitar los proceso de oxigenación y drenaje de lixiviados (Figura 6).

4.2.4 CONDICIÓN DE LOS RESIDUOS

Los residuos de los mercados son colectados en un área específica de los mismos, sin ningún tipo de clasificación, por lo que se requirió de una separación al momento del muestreo. Durante este proceso se separaron plásticos, cartones, vidrio y otros materiales no orgánicos (Figura 3).

4.2.5 ANTECEDENTES

Bertoldi (1986), caracterizó y evaluó dos compost producidos a partir de residuos sólidos urbanos municipales. Los compost presentaron altas cantidades de K, Zn, Pb y Cd extraíbles, consideradas demasiado altas en base a normas establecidas para estos materiales. Ambos compost evaluados demostraron ser relativamente pobres en contenidos de nutrientes. Sin embargo, su contenido de materia orgánica fue alto. Se demostró que la disponibilidad de elementos menores se encuentra en función del grado de humificación del compost. Finalmente concluyó que los compost de residuos sólidos municipales,

poseen efectos fertilizantes especialmente en suelos pobres. Que los riesgos de metales pesados más contaminantes son el zinc, cobre y plomo (1).

En otro estudio se evaluó el efecto del compost de residuos industriales y municipales sobre las cosechas de vegetales y contenidos de elementos en ellos. Los resultados de la investigación demostraron que la aplicación de compost y estiércol al suelo producen un incremento en la cosecha en comparación a la aplicación de únicamente fertilizantes minerales. Los análisis químicos hechos a los vegetales cosechados demostraron que la aplicación de compost produce un mayor contenido de vitaminas (1).

Gotaas (1956) valorizó el compost de residuos sólidos municipales, en comparación a otros materiales. En la investigación se concluyó que el valor fertilizante del compost de residuos sólidos municipales es bajo, la disponibilidad de elementos mayores, nitrógeno, potasio y fósforo fueron comparables únicamente a los obtenidos utilizando solo arena como sustrato. Se observó también cierta inhibición en el crecimiento de las plantas, no relacionado con la relación carbono/nitrógeno. La concentración de metales pesados resultó ser mayor en el compost de residuos sólidos municipales que en los otros materiales evaluados (7).

5. OBJETIVOS

5.1 General

Caracterizar el proceso de descomposición de residuos orgánicos provenientes de mercados de la ciudad de Guatemala para la obtención de un abono orgánico estabilizado conocido como compost, con el fin de evaluar su potencial agronómico como fuente de nutrientes y materia orgánica.

5.2 Específicos

1. Cuantificar el tiempo necesario para producir un abono orgánico estable monitoreando temperatura, pH, contenido de materia orgánica, contenido de humedad y capacidad de intercambio catiónico.
2. Determinar los contenidos totales de elementos mayores presentes en el material resultante del proceso. Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio.
3. Determinar los contenidos de elementos menores. Cobre, cinc, y hierro, su contenido de materia orgánica y su valor de pH.
4. Comparar el valor del compost obtenido en función de sus contenidos de nutrientes determinados en el segundo objetivo con respecto a productos similares de venta en el mercado agrícola.
5. Establecer la presencia de microorganismos patógenos al hombre tanto al inicio como al final del proceso de descomposición de los residuos.
6. Establecer la relación entre el volumen inicial de residuos y el volumen final del compost obtenido en el proceso.

6. METODOLOGÍA

La investigación consistió en caracterizar el proceso de descomposición aeróbico del material orgánico proveniente de mercados de la ciudad de Guatemala. Cuantificar el contenido de elementos en el producto final, su contenido de materia orgánica, su capacidad de intercambio catiónico y pH. La presencia de microorganismos patógenos antes y después del proceso, así como el rendimiento del material hasta la obtención del compost.

6.1 RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE MERCADOS

Para la recolección de los residuos, se escogieron al azar 3 de los 23 mercados cantonales existentes en la ciudad de Guatemala. Los mercados seleccionados fueron:

1. Mercado Colon, ubicado en la 5 calle y 13 avenida de la zona 1, identificado como muestra (m1).
2. Mercado La Asunción, ubicado en la 17 calle "a" y 36 avenida Zona 5, identificado como muestra (m2).
3. Mercado La Reformita ubicado en la 11 avenida y 22 calle zona 12, identificado como muestra (m3).

Se recolectaron 3 muestras cada dos días en cada uno de los mercados seleccionados durante una semana, hasta obtener 1 m³ de muestra por cada uno de ellos.

La selección de los residuos orgánicos se realizó manualmente, previo a su transporte, proceso en el cual colaboró la Municipalidad de Guatemala a través de la dirección de Medio ambiente y desechos sólidos.

Durante este proceso se separaron todos los materiales orgánicos de los no orgánicos tales como cartón, papel, plásticos, vidrio y metales.

Para el análisis gráfico se estableció un promedio de las tres muestras recolectadas en cada uno los mercados a partir de la primera semana del proceso.



Figura 2. Muestras del material recolectado de los mercados, ubicadas en las instalaciones de la DGEN, 19/03/05



Figura 3. Selección manual del material para el compostaje separación de plásticos, vidrios y otros materiales 22/03/05.



Figura 4. Preparación del material mediante picadora de motor en la DGEN 22/03/05.



Figura 5. Material preparado para el proceso de compostaje. DGEN, 22/03/05.



Figura 6. Pilas de compostaje, identificadas como M1,M2 y M3. ubicadas en la DGEN, 25/03/05.



Figura 7. Apariencia del compost al final del proceso, nótese la diferencia entre el color del material inicial. 18/08/05 Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía, USAC.

6.2 PREPARACIÓN Y MANEJO DEL MATERIAL.

Para la preparación del material se utilizó una picadora de motor con el objeto de reducir el tamaño de las partículas y de homogenizar el material (Figura 4).

Para la descomposición del material se adecuaron barriles plásticos de 200 litros con aperturas laterales para facilitar la oxigenación. Los volteos del material se efectuaron cada 8 días durante 120 días que duro el experimento. Los volteos y el experimento se dio como finalizado cuando el pH, la temperatura, la relación C/N y la CIC se estabilizaron o adquirieron los valores recomendados en la literatura.

6.3 VARIABLES

Las variables utilizadas para caracterizar el proceso fueron:

1. Temperatura
2. pH
3. Contenido de materia orgánica
4. Contenido de humedad
5. Contenidos totales de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.
6. Contenidos totales de cobre, cinc, hierro y manganeso.
7. Capacidad de intercambio catiónica
8. Presencia de coliformes y bacterias patógenas.

6.4 ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Los análisis físicos fueron efectuados *in situ* en las instalaciones de la Dirección General de Energía Nuclear, Ministerio de Energía y Minas, mediante termómetro y potenciómetro, los análisis químicos fueron efectuados con la colaboración del laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y para el microbiológico con la colaboración del laboratorio microbiológico de aguas de la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas.

6.5 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

6.5.1 TEMPERATURA Y pH

Los datos de temperatura se tomaron diariamente introduciendo un termómetro en la parte media de la pila de compostaje. El pH se tomó diariamente durante los primeros 75 días y luego cada 5 días.

6.5.2 CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA Y CONTENIDO DE ELEMENTOS

Cuadro 3. Metodología empleada para cuantificar las variables.

Variable	Método	Referencia
N	Kjeldahl	Jackson (8)
K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe y Mn	Digestión húmeda Absorción atómica	Jackson (8)
P	Digestión húmeda Colorimetría	Díaz-Romeu (8)
Materia Orgánica	Walkey y Black Modificado	Jackson (8)
pH	Potenciométrico	Díaz-Romeu (8)

6.5.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Para el análisis microbiológico se utilizó un cultivo en agar específico para bacterias gram negativas anaeróbicas en el caso de *Shigella* sp, *Salmonella* sp y *Yersinia* sp, y para coliformes se utilizó agar para bacterias lactosa positivas. Efectuándose éstos antes y después del proceso.

6.5.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información se efectuaron gráficas de las variables en función del tiempo y cuadros de comparaciones acorde a variables establecidos en la literatura citada.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 TIEMPO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE MERCADOS EN COMPOST

El tiempo requerido para la transformación de residuos orgánicos en un compost estabilizado fue de 120 días para las condiciones descritas en la metodología. Para llegar a esta conclusión, se monitorearon las variables temperatura, pH, contenido de materia orgánica, porcentaje de humedad y capacidad de intercambio catiónico.

7.1.1 TEMPERATURA

En la gráfica de temperatura (figura 8), se pueden observar los picos de elevaciones de temperatura correspondientes a las etapas termofílicas. Durante el proceso se presentaron varias elevaciones de temperatura las cuales coincidieron con los volteos del material efectuados. A partir de los 100 días, ya no existieron elevaciones de temperatura, a pesar de estarse efectuando los volteos del material. A los 120 días la temperatura del material era similar a la temperatura ambiente (25°C).

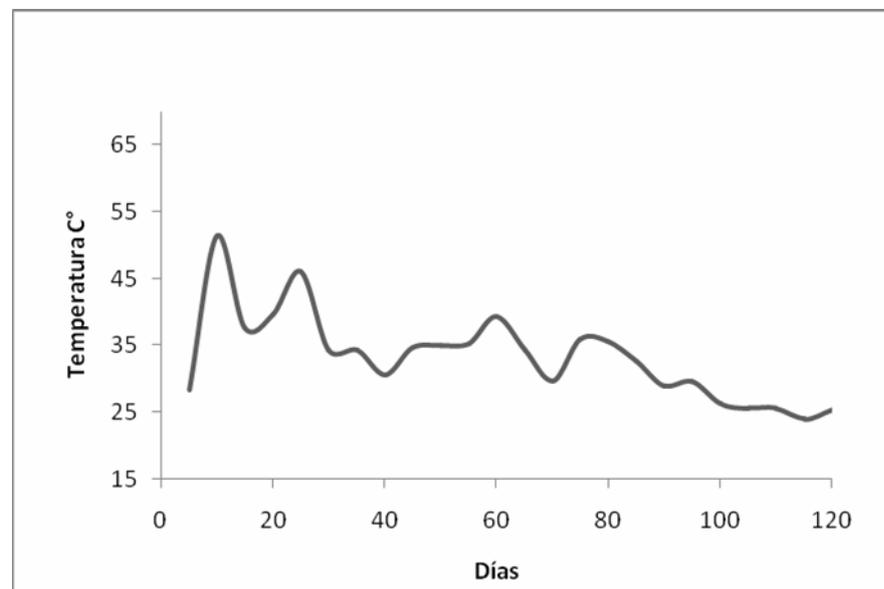


Figura 8. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de compostaje.

7.1.2 pH

Otro de los parámetros utilizados para monitorear el proceso fue el potencial hidrógeno o pH, el cual acorde a la literatura, desciende en las primeras etapas por la formación de ácidos orgánicos y posteriormente, tiende a estabilizarse en niveles de 7-8. Acorde a la gráfica obtenida en el experimento, el pH bajó a valores de 6 en los primeros 15 días y luego se incrementó gradualmente hasta estabilizarse también a partir de los 100 días, llegando éste a ser completamente estable a los 120 días. El pH obtenido al final del proceso fue de 8,4.

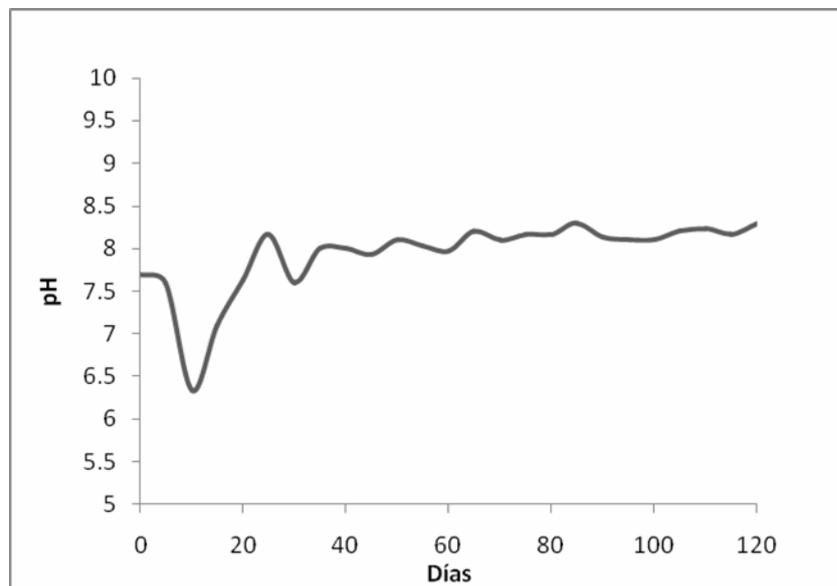


Figura 9. Comportamiento del pH durante el proceso de compostaje. Fuente: Laboratorio DGEN. Ministerio de Energía y Minas.

7.1.3 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

El contenido de materia orgánica durante el proceso de compostaje tiende a disminuir en función del tiempo, debido a los procesos de mineralización de la misma. El experimento inició con un contenido de materia orgánica de 66.81% y finalizó con un 35.88%. La literatura sugiere valores menores a 45 para compost maduros. El uso de compost con altos niveles de materia orgánica pueden provocar daños a cultivos cuando son adicionados al suelo, debido al desarrollo de ácidos orgánicos y elevaciones de temperaturas necesarias para finalizar el proceso natural de descomposición.

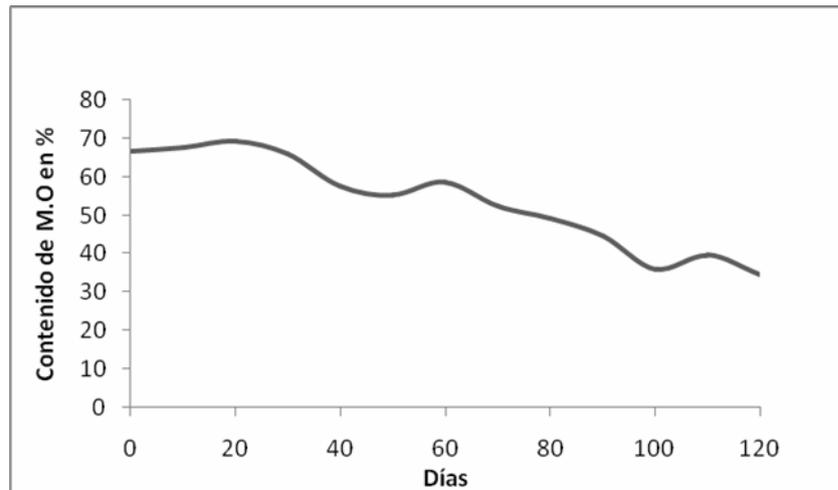


Figura 10. Comportamiento del contenido de materia orgánica durante el proceso de compostaje.

Fuente. Laboratorio de suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos

7.1.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad expresado en porcentaje para un compost, no debe exceder de un 30-35%, esto es una evidencia de un buen proceso. El contenido de humedad en los residuos, se inició con un 87% y disminuyó hasta un 35%, al alcanzar los 120 días.

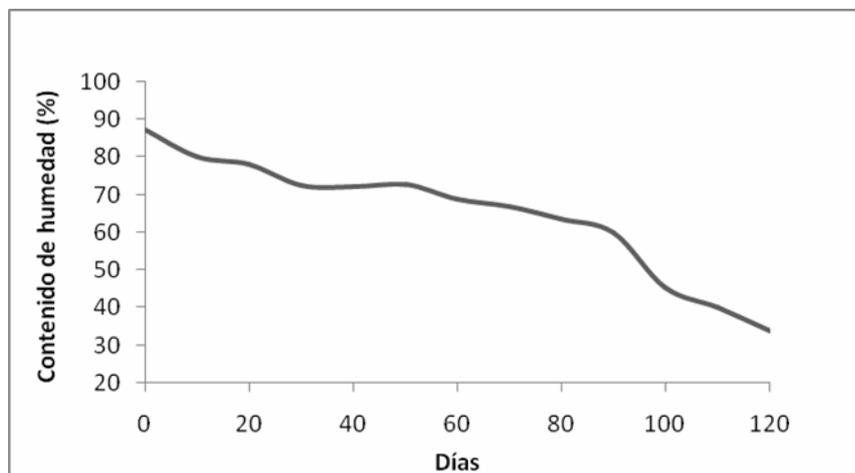


Figura 11. Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de compostaje

Fuente. Laboratorio DGEN, Ministerio de Energía y Minas.

7.1.5 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La capacidad de intercambio catiónico determinado en el material obtenido al final del proceso de compostaje (120 días), fue de 60 meq/100gr, muy cercano al valor de 65, recomendado en la literatura para un compost maduro.

7.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS PRESENTES EN EL COMPOST

7.2.1 CONTENIDO DE NITRÓGENO

Para determinar el contenido de nitrógeno, se utilizó el método de Kjeldahl y éste se graficó durante el tiempo del proceso con el objeto de establecer alguna pérdida por volatilización, debido a un mal manejo del experimento. Acorde a la gráfica establecida, no existieron pérdidas por volatilización y el contenido de nitrógeno se mantuvo estable (un promedio de 2.54%) durante todo el proceso. Ésta es la evidencia más clara de que el proceso de compostaje desarrollado se llevó a cabo de buena manera y que contó con las condiciones adecuadas.

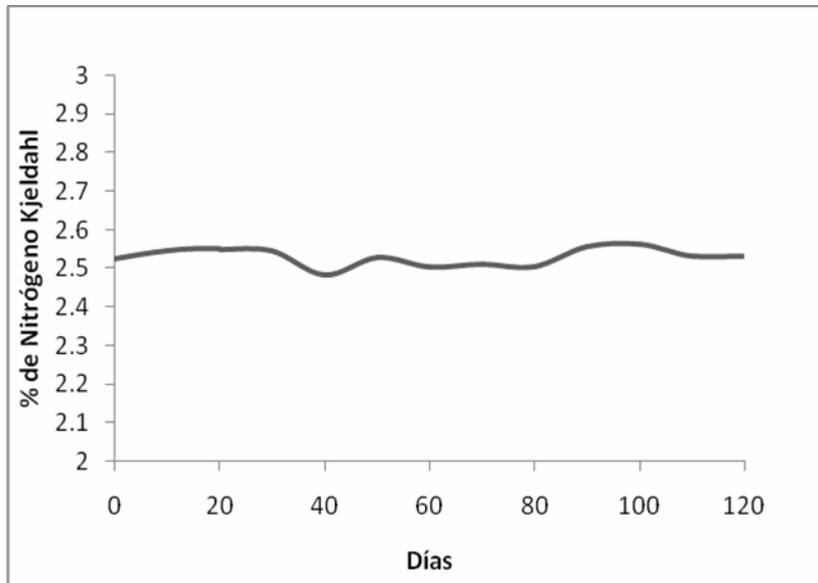


Figura 12. Comportamiento del nitrógeno durante el proceso. Fuente. Laboratorio DGEN.

7.2.2 CONTENIDO DE FÓSFORO, POTASIO, CALCIO, MAGNESIO, COBRE, CINCO, HIERRO Y MANGANESO

Los contenidos de elementos en el compost van acorde a las condiciones generales de los suelos de Guatemala, es decir ricos en potasio, el valor alto del potasio puede deberse además al contenido de frutos en los residuos tales, como bananos y plátanos (musáceas), los valores bajos de fósforo y calcio pueden ser corregidos mediante la adición de roca fosfórica, y los valores bajos de los elementos menores más que un inconveniente, nos brinda la oportunidad de poder utilizar este material incluso a dosis altas, en campo sin correr riesgos de contaminación a los suelos, el cual es una limitante en los compost obtenidos en países desarrollados.

Cuadro 4. Contenidos de elementos en el compost

Elemento	%					ppm			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu	Zn	Fe	Mn
Contenido	2.54	0.068	3.79	1.21	0.95	2	185	390	185

Fuente. Laboratorio de suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos

Cuadro 5. Clasificación del nivel de calidad del compost acorde a sus contenidos de elementos.

Elemento	Categorías establecidas por Lauzanne*			Clasificación
	Alto	Medio	Bajo	
Nitrógeno	0.5-1.5	1.5-3	>3	Medio
Fósforo	0.5-1	1-2	>2	Bajo
Potasio	<0.15	0.15-0.3	>0.3	Alto
Calcio	0.6-1.6	1.5-3.5	>3.5	Bajo
Magnesio	0.1-0.25	0.25-0.4	>0.4	Alto
Cobre	100-600	600-1200	>1200	Bajo
Zinc	100-1200	1200-2000	>2000	Bajo
Hierro	1000-8000	8000-15000	>15000	Bajo
Manganeso	20-150	150-400	>400	Medio

*Citado por Costa (2).

7.3 COMPARACIÓN DEL COMPOST CON LA GALLINAZA (producto comercial)

La fuente de materia orgánica más utilizada en nuestro país, es la gallinaza. La industria avícola de Guatemala es una de las más importantes de Centroamérica, por lo que se cuenta con disponibilidad del producto en casi todas las regiones del país. Empresas dedicadas exclusivamente a la producción de

abonos orgánicos, tienen como parte de su proceso la recolección y deshidratación del material para luego comercializarlo en sacos de 100 libras. El costo para el agricultor de estos sacos varía entre Q 15.00 y Q35.00.

Una de las limitantes que se han encontrado en otros países para el desarrollo de proyectos de compostaje ha sido la falta de mercado para el compost, sin embargo Guatemala a la fecha posee un consumo de más del 500,000 sacos de gallinaza anuales y que continua en crecimiento ya que los agricultores han percibido los beneficios de las aplicaciones de materia orgánica en sus cultivos.

El uso del compost sobre la gallinaza posee ventajas ya que lleva un paso más adelante de descomposición y estabilización por lo que puede aplicarse directamente sobre los cultivos sin los riesgos de fitotoxicidad que se presentan con la gallinaza.

Cuadro 6. Comparación del compost con la gallinaza en función de su contenido de elementos mayores.

Elemento	Compost	Gallinaza*
N (%)	2.54	3.62
P ₂ O ₅ (%)	0.068	3.05
K ₂ O (%)	3.79	2.50

*Contenidos registrados para el fertilizante orgánico de la empresa Bio Cofya.

Acorde a sus contenidos el compost posee contenidos, de nitrógeno como en potasio competitivos con la gallinaza disponible en el mercado, queda la opción de enriquecer su contenido de fósforo como ya se mencionó anteriormente, por medio de roca fosfórica para hacer un producto equivalente a los productos disponibles en el mercado.

7.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Luego de establecer los contenidos de elementos del compost y su comparación con productos comerciales, se determinó el riesgo a la salud del hombre. Mediante un análisis microbiológico, se determinó la presencia de patógenos al inicio del proceso y más importante en el producto final. La bibliografía indica que si el proceso se desarrolla de manera adecuada, las temperaturas alcanzadas en la fase termofílica son suficientes para eliminar cualquier organismo patógeno.

Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 7. Análisis microbiológico de los residuos y el compost.

Patógeno	Material no procesado	Compost
<i>Shigella</i> sp	Negativo	Negativo
<i>Salmonella</i> sp	Negativo	Negativo
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Positivo	Negativo
Coliformes totales	>2,400/100cc	<1,200/100cc
Coliformes fecales	150/100cc	0/100cc

En los resultados obtenidos se puede evidenciar la reducción en las Coliformes Totales y Coliformes Fecales, así como la eliminación de la bacteria *Yersinia enterocolitica*, presente en los residuos utilizados al inicio. Acorde a los requerimientos microbiológicos establecidos en la literatura, el compost, no presenta riesgos para su uso en la agricultura.

7.5 EFICIENCIA DE CONVERSIÓN ENTRE EL MATERIAL NO PROCESADO Y EL COMPOST

La relación de conversión de residuos a compost es sumamente baja debido al alto contenido de humedad presente en los residuos (87%), lo cual hace difícil el manejo de grandes volúmenes que al final dan como resultado una pequeña cantidad de compost. Durante el proceso se pierde un 52% de ese contenido en lixiviados que no poseen ningún valor útil y que deben de ser manejados de manera adecuada para no contaminar el ambiente. En el experimento se estableció que, 1 m³ de residuos producen 0.1 m³ de compost, es decir una relación de conversión de residuos a compost de 10:1. Esto es importante considerar al momento de establecer un proyecto de compostaje, ya que los costos de transporte pueden ser críticos al momento de desarrollar el proyecto.

8. CONCLUSIONES

1. El tiempo requerido para producir un compost, a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados, en este estudio y para las condiciones de la evaluación quedó establecido en 120 días.
2. Los contenidos de elementos encontrados en el compost, así como otros valores importantes como pH, contenido de materia orgánica, porcentaje de humedad y densidad fueron los siguientes:

Para nitrógeno el contenido fue de un 2.54%, para fósforo se obtuvo un valor de 0.068%, para potasio el valor fue de 3.79%, para calcio se obtuvo un valor de 0.86% para magnesio 0.57% , en cuanto a los elementos menores los resultados fueron de: Cobre 2 ppm, zinc 185 ppm, hierro 390 ppm, manganeso 390 ppm. El contenido de materia orgánica para el compost fue de 35.88%, el pH se estabilizó en un valor de 8.4, su contenido de humedad en ese momento fue de un 35% y el olor característico de tierra húmeda. En comparación con la gallinaza, el compost presentó un valor de fósforo sumamente bajo. En cuanto al potasio, el valor fue incluso superior.

3. El análisis microbiológico del compost, presentó una reducción de coliformes totales y fecales durante el proceso, comparado con el que presentó los residuos. El compost obtenido se reporta libre de bacterias patógenas y cumple con los estándares microbiológicos establecidos.
4. La eficiencia de conversión establecida entre los residuos y compost es de 10:1, ya que gran parte del peso original del material se pierde en forma de lixiviados.

9. RECOMENDACIONES

1. Presentar a las autoridades responsables del manejo de los residuos de las Municipalidades departamentales, el potencial que poseen los residuos orgánicos para la conversión en compost obtenido a partir de residuos orgánicos, como alternativa a los tratamientos que en la actualidad se llevan a cabo, con el objeto de reducir la contaminación ambiental.
2. El compost producido posee contenidos apreciables de nitrógeno (2.54%) y potasio (3.79%). Es un producto libre de elementos nocivos para su uso agrícola, por lo que se recomienda continuar la evaluación en campo particularmente en cultivos desarrollados en suelos pobres, considerando dosis y efectos sobre el rendimiento y calidad de las cosechas.
3. Se recomienda evaluar materiales para enriquecer el contenido de fósforo y calcio, tales como la roca fosfórica y otros si se quisiera establecer un proceso comercialización del producto.
4. Efectuar un análisis económico para la implementación del proyecto de una planta de compostaje ya que uno de los factores críticos en otros países es la falta de demanda y en nuestro país ya existe una demanda anual de 500,000qq, con un precio de venta es de aproximadamente Q 25.00 por quintal.
5. Investigar a fondo los riesgos, desde el punto de vista microbiológico, si se utilizara el compost para la producción de cultivos de exportación.
6. Extraer los ácidos húmicos y fúlvicos del compost mediante una solución alcalina de hidróxido de sodio para su evaluación en aplicaciones foliares y al suelo.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Bertoldi, M de. 1986. Compost production, quality an use. Udine, Italy, Elsevier Applied Sciences. p. 6-39.
2. Costa, F. 1991. Residuos urbanos, manejo y utilización. Murcia, España, Consejo Superior de investigaciones Científicas.129 p.
3. Deffis Casso, A. 1989. La basura es la solución. México, Concepto. p. 8-23.
4. Díaz Romeu, R. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p 12-16.
5. Donahue, R. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. México, Prentice Hall. p. 37-38.
6. Gasser, J. 1988. Composting of agricultural and other wastes. London, England, Agricultural and Food Research Council. p. 12.
7. Gotaas, H. 1956. Composting, sanitary disposal and reclamation of organic wastes. Geneva, Switzerland, World Health Organization. p 8.
8. Jackson, ML. 1976. Análisis químico de suelos. Wisconsin, US, Editorial Universitaria. p. 17-22.
9. Municipalidad de Guatemala, GT. 1994. Proyecto para la recuperación y eliminación de desechos sólidos del área metropolitana. Guatemala. 27p.
10. NAS (National Academy of Science, US). 1981. Food, fuel and fertilizer from organic wastes. Washington. US. p. 3-5.
11. Satriana, MJ. 1974. Large scale composting. New Jersey, US, Bull. Technology Reviews. p. 12.
12. Toledo, GJ. 1994 Estudio de la solubilidad de los elementos esenciales para las plantas, provenientes de mezclas de pulpa de café (*Coffea arabica*) y lirio acuático (*Eichornia crassipes*) mediante la solución extractora Carolina del Norte, San Cristóbal, A.V. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.