



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL  
TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DEL MERCADO SAN  
JOSÉ, COLONIA QUINTA SAMAYOA, ZONA 7, CIUDAD CAPITAL**

**Fernando Javier Alvarado Patzán**

Asesorado por el Msc. Mario Roberto Hernández Morán

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL  
TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DEL MERCADO SAN  
JOSÉ, COLONIA QUINTA SAMAYOA, ZONA 7, CIUDAD CAPITAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**FERNANDO JAVIER ALVARADO PATZÁN**

ASESORADO POR EL MSC. MARIO ROBERTO HERNÁNDEZ MORAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Gladys Lorraine Carles Zamarripa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi protocolo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DEL MERCADO SAN JOSÉ, COLONIA QUINTA SAMAYOA, ZONA 7, CIUDAD CAPITAL**

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de marzo de 2019.



**Fernando Javier Alvarado Patzán**

Guatemala, 26 de febrero de 2019.

Director  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de **Mecánica Industrial**  
Su despacho.-

Estimado Director:

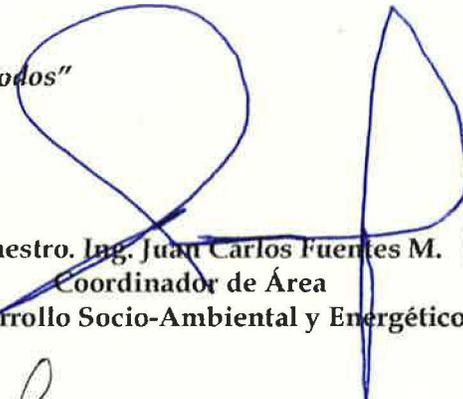
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Fernando Javier Alvarado Patzán** carné número **200614963**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Energía y Ambiente.

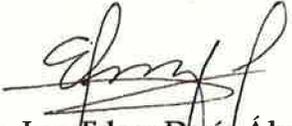
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. **Mario Roberto Hernández M.**  
Asesor (a)  
**Mario Roberto Hernández Morán**  
Ingeniero Civil  
Master en Ingeniería Sanitaria  
Colegiado No. 4,518

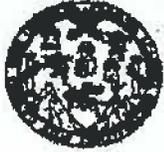
  
Maestro. Ing. **Juan Carlos Fuentes M.**  
Coordinador de Área  
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético

  
Maestro. Ing. **Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



Cc: archivo/L.Z.L.A.

**RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA:** Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



REF.DIR.EMI.084.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DEL MERCADO SAN JOSÉ, COLONIA QUINTA SAMAYOA, ZONA 7, CIUDAD CAPITAL**, presentado por el estudiante universitario **Fernando Javier Alvarado Patzán**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas**  
**DIRECTOR a.i.**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial**



Guatemala, mayo de 2019.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

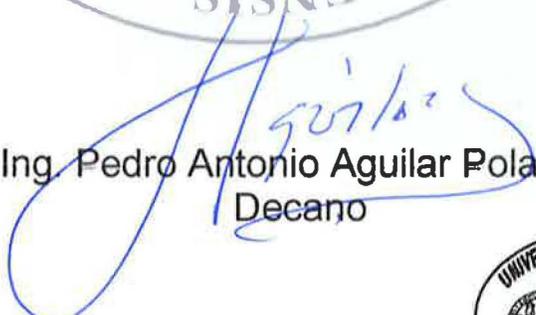


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.264-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DEL MERCADO SAN JOSÉ, COLONIA QUINTA SAMAYOA, ZONA 7, CIUDAD CAPITAL"** presentado por el estudiante: **Fernando Javier Alvarado Patzán**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/echm



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
6. ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Residuo .....	19
7.2. Biodegradable .....	22
7.3. Caracterización de residuos .....	22
7.4. Gestión de residuos.....	22
7.5. Compostaje, <i>compost</i> y <i>humus</i> .....	24
7.6. Lombrices de tierra.....	24
7.7. Lombricultura.....	25
7.7.1. Lombrices adecuadas para lombricultura .....	25

7.7.1.1.	<i>Eisenia fetida</i> y <i>Eisenia andrei</i> .....	26
8.	METODOLOGÍA .....	29
8.1.	Tipo de estudio.....	29
8.2.	Fases del estudio .....	29
8.2.1.	Fase 1: exploración bibliográfica .....	29
8.2.2.	Fase 2: recolección de datos.....	29
8.2.3.	Fase 3: análisis de datos.....	31
8.2.4.	Fase 4: elaboración del reporte de resultados .....	32
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	33
9.1.	Herramientas estadísticas por utilizar .....	33
9.2.	Herramientas por utilizar .....	34
10.	CRONOGRAMA .....	35
11.	RECURSOS Y FACTIBILIDAD .....	37
12.	REFERENCIAS .....	39

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Metodología para la recolección de datos ..... 30

### TABLAS

- I. Residuos clasificados según su origen ..... 19
- II. Clasificación de residuos según su naturaleza química y porcentaje de humedad ..... 21
- III. Residuos orgánicos que pueden utilizarse para la lombricultura ..... 21
- IV. Condiciones para el establecimiento de la lombriz ..... 27
- V. Relación carbono/nitrógeno ..... 28
- VI. Caracterización general ..... 31
- VII. Caracterización específica, residuos orgánicos ..... 31
- VIII. Cronograma ..... 35
- IX. Recursos necesarios para la investigación ..... 37



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>cm</b>	Centímetro
<b>C/N</b>	Carbono/nitrógeno
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>pH</b>	Concentración de iones de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Abono</b>	Es una sustancia que puede ser orgánica o inorgánica y que se utiliza para mejorar la calidad del suelo y proporcionar nutrientes a las plantas y cultivos.
<b>Aerobio</b>	Que necesita del aire u oxígeno molecular libre para subsistir.
<b>Anaerobio</b>	Que puede vivir y desarrollarse en ausencia completa o casi completa de oxígeno molecular libre.
<b>Biodegradable</b>	Sustancia que puede ser degradada por acción biológica.
<b>Biogás</b>	gas que se obtiene a partir de la descomposición de desechos de tipo orgánico por vía anaerobia (es decir, sin oxígeno).
<b>Compost</b>	Residuo orgánico transformado en material biológicamente estable que puede utilizarse como abono del suelo y sustrato para cultivos.
<b>Homogenizar</b>	Formar una mezcla uniforme o similar.

<b>Lixiviado</b>	Agua que contiene sustancias sólidas. Agua que contiene ciertas sustancias en solución después de colar a través de un filtro o el suelo.
<b>Lombricultura</b>	Tecnología donde se utiliza una lombriz de especie domesticada como herramienta para reciclaje de la materia orgánica para producir humus como producto principal.
<b>MO</b>	Materia orgánica.
<b>pH</b>	Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución.
<b>Residuo</b>	Lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa.
<b>Residuo biodegradable</b>	Sustancia que se descompone por un proceso natural biológico.
<b>Vertedero</b>	Sitio donde o por donde se vierten basuras, escombros, desperdicios o aguas residuales.

# 1. INTRODUCCIÓN

La falta de un plan de gestión de residuos hace que los generados en el mercado San José, ubicado en la zona 7 de la ciudad capital, no sean aprovechados. Estos residuos son dispuestos en los vertederos donde se desaprovecha su potencial económico, el cual puede obtenerse a través del reciclaje o, en el caso de los residuos orgánicos biodegradables, de la generación de abono o biogás.

En este trabajo se propone el tratamiento y gestión de los residuos para la producción de abono orgánico. Este abono se obtendrá a través de la lombricultura, proceso que actualmente no se realiza. De no implementarse una gestión de residuos, estos continuarán trasladándose a los vertederos.

Se espera demostrar los beneficios de la gestión de residuos orgánicos biodegradables y el uso de técnicas para su tratamiento y obtención de abono orgánico. Los beneficios pueden ser económicos, sociales y ambientales. Para medir estos beneficios será necesario establecer el período, proporciones por utilizar y costos generados en el proceso de transformación, determinando así la factibilidad en la producción de abono.

Se utilizará el método de la lombricultura para la producción de abono. Para tener una base de su aplicación se realizará un experimento donde se establecerán parámetros de tiempo, temperatura, pH, relación carbono/nitrógeno (C/N), entre otros, durante el proceso de producción de abono.

Del experimento se determinarán los recursos necesarios como espacio, materiales e instrumentos, cantidad producida y cantidad de residuos por utilizar. No será necesaria inversión para obtenerlos residuos, ya que estos son dispuestos para su traslado a los vertederos. Los alrededores del cementerio La Verbena presentan un área que podría ser utilizada para realizar el proceso de transformación de los residuos obtenidos del mercado San José.

En el capítulo 1, se hará una revisión bibliográfica sobre los fundamentos teóricos de la gestión de residuos, el tratamiento de residuos y la lombricultura.

En el capítulo 2 se implementará el método de la lombricultura como alternativa para el aprovechamiento de los residuos, con esto se obtendrá abono y se podrá comercializar. En el capítulo 3, se expondrán los resultados del proceso de producción de abono a través de la lombricultura, los recursos y resultados para su aplicación a partir de los residuos generados en el mercado San José. En el capítulo 4 se analizarán los datos obtenidos de los cuales se podrá determinar la factibilidad de aplicar la lombricultura en el mercado San José.

El análisis de los resultados del experimento permitirá concluir la factibilidad de ejecutar la lombricultura para los residuos del mercado y presentar recomendaciones para su mejora y viabilidad.

## 2. ANTECEDENTES

En Guatemala se han hecho estudios sobre el tema de compostaje tales como:

En la tesis de grado *Experiencias en la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados de la ciudad capital y su valor agronómico* de Hernández Solares, Hugo Leonel (2008) se encontró que el proceso para producción de compost para residuos orgánicos de un mercado es de 120 días promedio. La eficiencia en la transformación de residuos de compost es de 10 a 1, concluyendo que buena parte se pierde como lixiviado, ya que el residuo contiene bastante humedad al comienzo del proceso. Se toma esta tesis como referencia por ser de Guatemala aunque no sea de posgrado. Esta tesis proveerá información sobre el proceso de compostaje, tiempo y volumen generado.

En la tesis de grado *Estudio de factibilidad sobre el uso de desecho orgánico para la producción de compost en los mercados principales de la ciudad de Chiquimula* de Gámez Colindres, Daniel Estuardo (2013) se estimó que uno de los factores negativos de la generación de abono a partir de desechos orgánicos se tiene la generación de lixiviados, los cuales deben ser recolectados para evitar la contaminación del suelo y manto freático. Esta tesis servirá para estimar la necesidad de un sistema de recolección de los lixiviados generados, desde el diseño del sistema de compostaje.

En el *Manual de compostaje para municipios* de Röben, Eva (2002), Ecuador, se recomienda la lombricultura para cualquier alternativa tecnológica

en el proceso de compostaje, ya sea individual o a nivel hogar, compostaje de pequeños municipios o comunidades, plantas completamente manuales, en regiones con mucha actividad de avicultura, camarones y piscicultura. Las condiciones no recomendables para aplicar la lombricultura serán aquellas en las que las condiciones climáticas extremas la perjudiquen. La lombriz utilizada para el proceso de compostaje, por ser la más común en América Latina, es la lombriz roja californiana.

La aireación artificial, utilizada regularmente en plantas mecanizadas, acelera el proceso de biodegradación pero produce una contaminación olfativa mucho más elevada que la contaminación generada en plantas sin aireación artificial. Por lo que es necesaria la instalación de filtros biológicos y columnas de lavaje para eliminar los malos olores.

Esto no sucede en las plantas manuales, porque las emisiones olfatorias pueden minimizarse al cubrir el material con pasto o con una capa fina (5 – 10cm) de abono listo, sirviendo ambos casos como filtro biológico. Este manual servirá para definir la aplicación de la lombricultura al proveer los principios de aplicación, diseño, construcción y operación de una planta.

En el *Manual de compostaje* del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España (2011) se identifican factores que deben controlarse durante el proceso de compostaje, la temperatura, humedad y aireación. Además, presenta una guía para solucionar algunos problemas que puedan presentarse durante el proceso de compostaje, así como las posibles causas que los estén generando. Este manual proveerá las acciones inmediatas por implementar al momento de realizar el compostaje.

En la tesis doctoral *Optimación del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio* de Comando Suluda, Antonio Inácio. Madrid, España (2006), se expone que la aireación, selección y combinación de distintos componentes de fracción orgánica son aspectos clave en la generación de compost de buena calidad. Esta tesis proveerá información sobre los factores que influyen en la generación del compost, tales como temperatura, tamaño de las partículas, aireación, humedad.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Como parte de las actividades en el funcionamiento de los mercados, se tiene la generación de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos. Entre los residuos orgánicos se encuentran los restos de verduras y frutas generados de la venta de los mismos, estos son biodegradables y por el proceso natural se descomponen.

En Guatemala los residuos de los mercados, en su mayoría, no reciben tratamiento alguno por lo que son trasladados a un vertedero, que generalmente, si el mercado se ubica dentro o cerca de la ciudad capital, será el vertedero de la zona 3 de la ciudad capital. El trasladar los residuos al vertedero no es una solución integral, ya que carece de planificación y orden.

Los residuos trasladados al vertedero de la zona 3 no son clasificados con algún estándar o alguna normativa que establezca la forma para disponer de ellos. Por lo que al ser trasladados al vertedero únicamente son cambiados de lugar para sufrir el proceso de degradación en otro lugar.

Generalmente, los residuos de los mercados son dispuestos en áreas públicas como banquetas, lugares baldíos o en la calle a la espera que la municipalidad se encargue de su traslado y tratamiento. Esto genera varias consecuencias que van desde afectar el ornato hasta daños en la salud de las personas cercanas a estos lugares por la generación de vectores, afectando el bienestar de las personas y disminuyendo su calidad de vida.

Entre los residuos generados en los mercados se tiene un alto porcentaje de residuos orgánicos biodegradables los cuales, debido al proceso natural de degradación, generan malos olores, acumulan plagas como moscas y animales callejeros. Una solución para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables puede encontrarse a través del proceso de compostaje de una manera controlada.

Este es el caso del mercado San José, ubicado en la colonia Quinta Samayoa zona 7 de la ciudad capital, que en varios puntos de sus alrededores diariamente se concentran residuos de todo tipo que no reciben un tratamiento adecuado al no haber un plan de gestión que permita un control sobre la generación y, posteriormente, un aprovechamiento de los residuos generados.

El mercado San José es uno de los distintos mercados del país, por lo que la solución para la gestión y el aprovechamiento de los residuos, puede proveer de una solución para los demás mercados.

Esto lleva a plantear la pregunta principal del problema ¿Cuál será la mejor forma de producir composta, como forma ideal de aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables, generados en el mercado San José de la colonia Quinta Samayoa de la zona 7?

La pregunta principal se contestará buscando respuesta a las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué cantidad de residuos sólidos orgánicos se genera en el mercado San José?

- ¿Podrá aplicarse el compostaje aerobio por lombricultura con los residuos sólidos orgánicos biodegradables generados en el mercado San José?
- ¿Qué beneficios se obtendrían con la aplicación del compostaje aerobio?



## 4. JUSTIFICACIÓN

La realización de esta investigación se justifica en la línea de investigación: gestión ambiental, gestión y tratamiento de los residuos.

La política nacional para la gestión integral de residuos y desechos sólidos está enfocada en ir más allá del manejo de los residuos, por lo que busca que se inicie una gestión integral con estrategias que minimicen los impactos negativos a la salud, ecosistemas y ambiente. Entre sus objetivos se encuentra el incentivar la aplicación de tecnologías y buenas prácticas que brinden soluciones factibles para la protección del ambiente y la mejora de la salud humana. También menciona que las municipalidades promuevan la creación de sistemas de disposición final de los residuos, adecuados para minimizar los impactos negativos al ambiente.

De acuerdo con el Código Municipal, corresponderá a las municipalidades la implementación de los programas y estrategias para el manejo integral de los residuos generados en los mercados. Y particularmente, a la municipalidad capitalina la reducción del traslado de residuos hacia el vertedero de la zona 3.

La investigación proveerá técnicas y métodos para la gestión y tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables provenientes de las actividades comerciales de un mercado. Estas técnicas y métodos serán comparados entre sí para determinar lo que mejor se adapte a las condiciones necesarias para el compostaje aerobio de los residuos orgánicos biodegradables, obteniendo *compost* como producto directo.

También se podrá evaluar la inversión de capital y recursos requeridos para realizar el proyecto y determinar así si es factible o qué se requiere para que este tipo de tratamiento pueda ser aplicado.

La implementación de las estrategias para el manejo integral de los residuos beneficiará a los vecinos cercanos al mercado San José al eliminar los desechos orgánicos depositados clandestinamente en el lugar. También podría obtenerse beneficios económicos y sociales al producir compost a partir de los residuos orgánicos biodegradables y venderlo o utilizarlo en las áreas verdes a cargo de la municipalidad.

Las unidades de recolección que actualmente operan, pertenecen a la municipalidad y recolectan los residuos depositados clandestinamente en la calle o sitios baldíos, podrían ser utilizadas para la recolección de los residuos orgánicos biodegradables. Estos recursos que se pueden considerar como costos para el ornato podrían reorientarse como un programa de inversión el cual también contribuirá con la reducción de residuos trasladados al vertedero.

Este tipo de propuestas son necesarias para la correcta gestión de los residuos, a través de las cuales se brinda una guía y acciones con las que se aprovechan los residuos sin desperdiciar su potencial orgánico y, además, se obtiene un beneficio económico y se contribuye al ambiente. Esta propuesta establecerá parámetros para garantizar la sostenibilidad de la gestión de los residuos.

## **5. OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar el proceso de compostaje aeróbico para el tratamiento de residuos generados en el mercado San José.

### **Específicos**

1. Determinar la cantidad de residuos generados en el mercado.
2. Identificar el mejor diseño de compostaje aerobio por aplicar para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos, sólidos orgánicos biodegradables.
3. Establecer los beneficios ambientales de la aplicación del compostaje.



## 6. ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La reducción en la generación de residuos orgánicos biodegradables es una necesidad y debe ser la primera opción para solucionar la problemática en la gestión de residuos. Como medida alterna a reducir la generación de residuos debe implementarse un plan para el correcto tratamiento de los residuos. Este plan de tratamiento puede incluir la implementación de un sistema de compostaje aerobio, para los residuos orgánicos biodegradables.

La implementación de un sistema de compostaje aerobio, para los residuos orgánicos biodegradables, puede ser una opción que brinde una solución para el tratamiento de los residuos generados en los mercados. A través de esta implementación se podrá, además, generar un producto que puede ser aprovechado para la recuperación de suelos, al mejorar su estructura y composición. Esta solución podrá aplicarse al mercado San José y replicarse en otros mercados con condiciones similares.

Es necesaria la creación de un plan para el tratamiento de residuos orgánicos biodegradables, pues su falta hace que su disposición final no sea la adecuada, además de su desaprovechamiento como fuente alternativa de recursos. La municipalidad será la encargada de la recolección y gestión de los residuos al tener control sobre los mercados y sus actividades, y ser la responsable del manejo de los residuos generados de acuerdo con el Código Municipal.

El plan de tratamiento contemplará la separación de los residuos por su origen y tipo, la reducción de tamaño de los residuos para facilitar la homogenización, para una posterior generación de compost a través del proceso aeróbico con los residuos orgánicos biodegradables, aprovechando su valor orgánico.

Se realizarán visitas de campo al mercado San José para realizar una caracterización de los residuos generados y estimar la implementación de la técnica de lombricultura para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables. Como resultado de la caracterización se podría estimar los recursos necesarios, para aplicar la técnica de lombricultura; como el área e instalaciones, insumos, mano de obra y otros requerimientos técnicos para su aplicación, los cuales serán corroborados con las referencias consultadas y determinar así la factibilidad.

Para la implementación deberá de contarse con un área adecuada para el tratamiento de los residuos. Esta área podrá ser provista por la municipalidad, y deberá cumplir con los requerimientos de espacio y principalmente estar cerca del mercado San José para facilitar el traslado de los residuos. Esta área deberá contar con un espacio para recepción, caracterización, trituración, homogenización y finalmente pilas de reposo donde se producirá el compost.

Para facilitar la producción de *compost* de los residuos recolectados se podrá utilizar un sistema mecanizado compuesto por una trituradora, para la reducción de tamaño de los residuos. Esto facilitará la homogenización posterior, además de aumentar el área de contacto entre los residuos, lo que permite una rápida descomposición de los residuos en la producción de *compost*.

En el mercado existen varios diseños y modelos de trituradoras, la marca UNTHA podría adecuarse a las necesidades de trituración para la reducción de tamaño de los residuos. Esta se compone de ejes con cuchillas que rotan en sentido contrario haciendo que los residuos pasen a través de ellos. Las dimensiones y capacidad de la trituradora dependerán de la cantidad de residuos que se debe procesar.

El compostaje de los residuos del mercado San José no se implementará, solamente se establecerá la factibilidad a través de los datos obtenidos de la caracterización.



## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Residuo

Se puede definir un residuo como todo resto o material resultante de un proceso de producción, transformación o utilización que ha sido abandonado. Los residuos pueden estar en estado sólido o líquido.

“Los residuos sólidos urbanos (RSU) son generados por distintas actividades en los núcleos urbanos, incluyendo tanto los de carácter doméstico como los provenientes de cualquier otra actividad. Estos pueden tener los siguientes orígenes:” (Ecoclubes, UNICEF, OPS, 2009, p. 12)

Tabla I. Residuos clasificados según su origen

ORIGEN	TIPOS DE RESIDUOS
Domiciliarios: procedentes de las viviendas, limpieza de calles y veredas, zonas verdes y establecimientos industriales y comerciales, cuando son asimilables a los residuos domiciliarios.	Restos de comida, materiales plásticos, papeles, cartones, textiles, cuero, madera, goma, residuos de jardín, vidrio, aluminio, cerámica, metales, férreos, latas y suciedad proveniente del barrido e higiene en general.
Voluminosos: por su forma, tamaño, volumen o peso son difíciles de ser recogidos en la recolección convencional.	Muebles, colchones, electrodomésticos.
Comerciales: surgen de los circuitos de distribución de bienes de consumo.	Papel, cartón, plásticos, restos de comida, metales, vidrios, latas, maderas.

Continuación tabla I.

Residuos sanitarios: derivados de actividades sanitarias procedentes de hospitales, clínicas, laboratorios de análisis y establecimientos similares.	Material de cura, yesos, ropa y materiales de un solo uso, cultivos, material contaminado, restos de tejidos humanos.
Construcción y demoliciones: derivados de la construcción, reparación o ampliación de viviendas, vías de comunicación, empresas, etc.	Maderas, hormigón, acero, ladrillos, piedras, materiales para la conexión de electricidad, gas y agua y escombros en general. Vidrios rotos, aceros de reforzamiento y plásticos.
Institucionales: producidos en escuelas, hospitales, cárceles y dependencias gubernamentales.	Papel, cartón, plásticos, restos de comida, metales, vidrios, latas, maderas.
Servicios municipales: son consecuencia del funcionamiento y mantenimiento de los centros municipales.	Producto del barrido de calles, residuos de poda de arbolado urbano, animales muertos y automóviles abandonados.
Industriales: son derivados de actividades industriales y deben depositarse en recipientes adecuados.	Metales, plásticos, tejidos, fibras, maderas, vidrios, papel, cartones, chatarra, residuos de alimentos, cenizas, etc.
Universales: representan un riesgo a la salud y el ambiente, y son generados en los hogares.	Pilas, baterías, tubos fluorescentes, cartuchos de impresoras, tintas.
Agrícolas: relacionados con actividades agrícolas, forestales o ganaderas y realizadas dentro del perímetro urbano.	Fertilizantes, productos agrosanitarios, residuos de cultivos, bidones con restos de agroquímicos.

Fuente: Ecoclubes, et al. (2009) *Participación ciudadana y gestión integral de residuos*.

Los residuos también se pueden dividir por su naturaleza química y por el porcentaje de humedad. Esta clasificación se divide en residuos orgánicos e inorgánicos, también conocidos como compostables o no compostables.

Tabla II. **Clasificación de residuos según su naturaleza química y porcentaje de humedad**

<b>ORGÁNICOS (FRACCIÓN HÚMEDA O COMPOSTABLES)</b>	<b>INORGÁNICOS (FRACCIÓN SECA O NO COMPOSTABLES)</b>
Residuos de cocina Residuos de jardines Residuos de poda, de arbolado urbano, parques y plazas	Papel y cartón Vidrio Plástico y goma Metales Materiales poliaclorados (envases tetrapack) Materiales textiles Materiales inertes
Se caracterizan por ser fácilmente degradables ante la actividad bacteriana.	Su degradación puede llevar años. Integran la cadena de comercialización y reciclaje.

Fuente: Ecoclubes, et al. (2009) *Participación ciudadana y gestión integral de residuos*.

Tabla III. **Residuos orgánicos que pueden utilizarse para la lombricultura**

Restos de cosechas	Restos vegetales como hojas, frutos, tubérculos.
Abonos verdes	Siegas de céspedes, malas hierbas.
Ramas de poda de los frutales	Ramas de poda.
Estiércol animal	Estiércol de vaca, gallinaza, estiércol de caballo, purines.
Plantas marinas	Algas marinas.

Fuente: Miranda, W.C, (2008) *Estudio de factibilidad técnica financiera para la instalación de una planta procesadora de abono orgánico, a partir de basura vegetal*.

Ecoclubes (2009) afirma que los factores como “la población, su tamaño, nivel de vida y desarrollo económico, así como los hábitos de consumo y la época del año”, (p.13) definen la composición y generación de residuos. Y estos

factores serán necesarios al tomar la decisión para establecer el sistema de tratamiento.

## **7.2. Biodegradable**

De acuerdo con la Real Academia Española (2014) biodegradable es una sustancia que puede ser degradada por acción biológica.

Los residuos con los que se trabajará para el proceso de lombricompostaje serán los orgánicos biodegradables, considerándose todos los provenientes de frutas y verduras, pudiendo incluir papel y cartón que no tengan ninguna impresión.

## **7.3. Caracterización de residuos**

La caracterización es una fase descriptiva para identificar qué tipo de componentes y cantidad existe. En una investigación sobre residuos orgánicos biodegradables la caracterización provee información sobre los tipos de residuos y la cantidad, para determinar la proporción de cada uno.

## **7.4. Gestión de residuos**

Se denomina a la gestión integral de los residuos (GIRS) como:

El conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y

su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región. (Henao, G. et al., 2008, p. xiv)

La GIRS contempla jerárquicamente las etapas de “reducción en el origen; aprovechamiento y valorización; tratamiento y transformación; disposición final controlada”. (Jaramillo Henao, et al., 2008, p. 75)

La reducción en el origen se encuentra posicionada jerárquicamente en primer lugar “porque es la forma más eficaz de reducir la cantidad y toxicidad de residuos, el costo asociado a su manipulación y los impactos ambientales”. (Henao, et al., 2008, p. 79)

El aprovechamiento y valorización de los residuos es un proceso que inicia con la separación y recogida en el lugar de origen. Posteriormente, deben reprocesarse, transformarse y recuperarse.

El objetivo de aprovechar los residuos es utilizarlos como materia prima, dándoles un valor, reduciendo la demanda de recursos naturales y la contaminación del ambiente.

Tratamiento y transformación: “Al sufrir una alteración física, química o biológica un residuo es transformado con el objetivo de mejorar su gestión. Si un residuo no puede ser aprovechado, tratado o transformado deberá recibir un tratamiento que disminuya su peligrosidad y/o cantidad”. (Henao, et al., 2008, p. 79)

La disposición final controlada: es la última parte del proceso, al no aplicar alguna actividad de recuperación, valoración, tratamiento o transformación. Esta materia debe tener una “disposición final controlada, además se debe poseer

una capacidad adecuada en los sitios de disposición final y planes para la clausura”. (Henao, et al., 2008, p. 79)

### **7.5. Compostaje, *compost* y *humus***

Se llama compostaje a la técnica para la producción de *compost*. El *compost* es producido en condiciones controladas de humedad, temperatura, aireación de los residuos y por la acción de microorganismos. Esta combinación de condiciones transforma y estabiliza los residuos orgánicos biodegradables para obtener abono, cuya calidad dependerá del control de las condiciones antes mencionadas.

El *compost* se transformará en *humus*, contiene un alto grado de materia orgánica y podrá ser utilizado como abono orgánico o como sustrato para la recuperación del suelo.

Geller (2002) define que: “el *compost* se clasifica como materias orgánicas prehumidificadas y el *humus* es la fracción residual que queda posterior a la descomposición de la materia orgánica en el suelo, con características de resistencia al ataque microbiano”. (p. 6)

### **7.6. Lombrices de tierra**

Las lombrices de tierra son invertebrados de la familia de los anélidos oligoquetos. Durante su vida promedio de 6 años llega a tener una longitud cerca de los 35 cm.

Se sabe que las lombrices excavan por la boca y luego procesan la tierra y material orgánico en descomposición, lo cual sale por el ano, posterior, al paso

por su sistema digestivo. El beneficio de utilizar lombrices se refleja en el efecto en los ciclos de nitrógeno y oxígeno en el suelo, mejoran la estructura del suelo y promueven la actividad microbiana (Contreras, 2013).

## **7.7. Lombricultura**

Es la tecnología donde se utiliza una lombriz de especie domesticada como herramienta para reciclaje de la materia orgánica para producir humus como producto principal. Este humus es uno de los productos para la recuperación de suelos en las zonas explotadas agrícolamente, por ser de efecto rápido y eficiente.

“Estas lombrices se crían en espacios reducidos, alimentándolas de los materiales biodegradables para la obtención de biomasa y *humus* de alta calidad”. (Henao, G. et al., 2008, p. 43)

“Las proporciones de nitratos, potasio, fósforo y magnesio en el humus (heces de la lombriz), permiten una mejor asimilación de los nutrientes por las plantas”. (Henao, G. et al., 2008, p. 43)

### **7.7.1. Lombrices adecuadas para lombricultura**

Existen varias especies de lombrices, pero se requiere características como alta asimilación de la materia orgánica, alto consumo y digestión. Además, es necesario que sean tolerantes a cortos ciclos de vida, altos ritmos de reproducción y tengan una tolerancia y resistencia a su manejo. Solo cinco especies de lombrices han sido utilizadas en la lombricultura “siendo estas *Eisenia andrei* (Savigny), *Eisenia fetida* (Bouché), *Dendrobaena veneta*

(Savigny), y en menor medida, *Perionyx excavatus* (Perrier), y *Eudrilus eugeniae* (Kinberg)”. (Domínguez, J., Edwards, C. 2011, p. 29)

#### **7.7.1.1. *Eisenia fetida* y *Eisenia andrei***

Estas especies de lombriz son las más comunes utilizadas en la lombricultura, principalmente, porque se encuentran en todas partes con una distribución mundial y colonizan los sustratos orgánicos naturalmente. Sus ciclos de vida son cortos, tienen un amplio rango de tolerancia a la humedad y temperatura, y son resistentes por lo que pueden ser fácilmente manipuladas.

En lombricultura la especie *E. andrei* es usualmente más recomendada debido a que su tasa de crecimiento y reproducción es mayor. Sin embargo, las dos especies comúnmente viven en colonias mixtas en pilas de *compost* y estiércol”. (Domínguez, J., et al., 2011, p. 29)

Para que las lombrices sobrevivan y realicen la transformación de los residuos, deberá controlarse la humedad y mantenerse por debajo de un 80 %, y así garantizar una buena respiración y alimentación, así como la temperatura, que deberá mantenerse entre 20 y 33 grados centígrados (Henao, 2008).

Tabla IV. **Condiciones para el establecimiento de la lombriz**

PARÁMETRO	RANGO	ÓPTIMO
Temperatura (°C)	20 – 23	25 – 28
pH	5,5 – 9,0	6,8 – 7,2
Humedad (%)	65 – 80	70 – 75

Fuente: Soto, Gabriela. (2003) *El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos.*

“Es importante tener una relación de Carbono/Nitrógeno comprendida entre 25 a 35. Para evitar alargar el proceso de fermentación esta relación no debe ser superior a 35, si es inferior a 25 el nitrógeno se pierde en forma de amoníaco”. (Turruella, E., et al, 2002, p. 21)

Para reducir el carbono o aumentar el nitrógeno, se puede reducir la celulosa, y reducir la relación C/N. Para adicionar nitrógeno se puede agregar estiércoles o subproductos de origen animal (Turruella, E. 2002, p. 21).

La estimación de la relación C/N final se podrá realizar a través del cálculo y sumatoria de C/N de cada uno de los residuos. El cálculo es el siguiente:

$$(\text{carbono}_1 * \%_1) + (\text{carbono}_2 * \%_2) + (\text{carbono}_n * \%_n)$$

Donde:

- Carbono es el valor correspondiente al carbono en el cociente C/N de cada MO.

- El porcentaje (%) es el porcentual (del peso o volumen) de cada MO respecto del total de materia orgánica (MO) utilizada.

Tabla V. **Relación carbono/nitrógeno**

<b>Material</b>	<b>Carbono/ Nitrógeno</b>	<b>Material</b>	<b>Carbono/ Nitrógeno</b>
Paja de arroz	77/1	Desperdicios de cocina	14/1
Cascarilla de arroz	66/1	Lodos residuales sólidos	12/1
Aserrín	638/1	Residuos de podas	44/1
Falso tallo del plátano	58/1	Basura urbana (fresca)	61/1
Hojas de plátano	32/1	Basura urbana vieja	6/1
Bagazo de caña de azúcar	104/1	Cachaza	22/1
Paja de caña de azúcar	49/1	Vacuno fresco	25/1
Cogollo de caña de azúcar	73/1	Gallinaza camada	18/1
Pulpa de café	29/1	Estiércol porcino	10/1
Hoja de café	38/1	Estiércol ovino caprino	32/1
Hojas de árboles	41/1	Estiércol equino	24/1
Hierba recién cortada	43/1	Estiércol de conejo	19/1
Hierba seca (gramíneas)	81/1	Turba costera (baja)	17/1
Crotalaria	27/1	Turba interior (alta)	31/1
Hojas de frijol	27/1	Guano de murciélago	8/1
Restos de hortalizas	37/1	Guano fósil de murciélagos	18/1
Hojas de leucaena	10/1	Cenizas	-
Paja de maíz	312/1	Residuos de henequén	24/1
Mazorca de maíz	117/1	Residuos de maní	14/1
Hollejo de naranja	57/1	Residuo de cervecería	14/1
Palo de tabaco	19/1	Residuo de girasol	14/1
Cáscara de yuca	129/1	Pulpa de cacao	16/1
Hoja de yuca	39/1	Gallinaza pura	7/1
Cangre de yuca	42/1	Purín(orina animal)	-

Fuente: Peña Turruebla, E., et al. (2002) *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana.*

## **8. METODOLOGÍA**

### **8.1. Tipo de estudio**

El presente estudio se considera de tipo cuantitativo-descriptivo, pues a través de él se especificará el proceso para el compostaje aeróbico de residuos orgánicos biodegradables provenientes de mercados para aplicar lombricultura.

### **8.2. Fases del estudio**

Para el buen resultado de la investigación, se incluirán cuatro fases importantes.

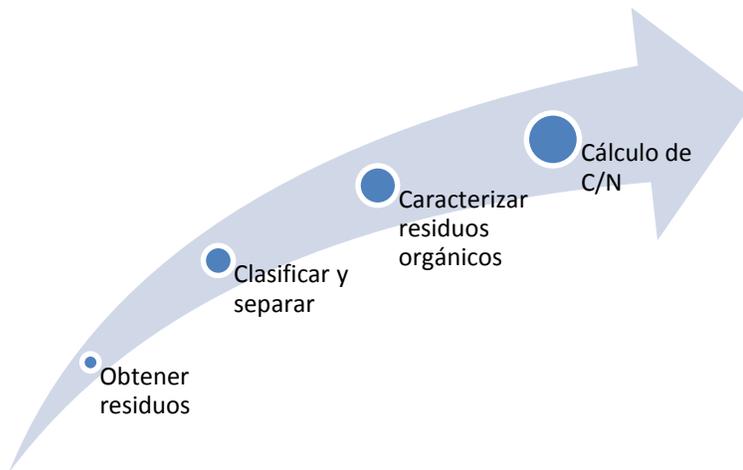
#### **8.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica**

En esta fase se revisará la bibliografía referente al diseño, manejo, monitoreo, control y producción de compost por el método de lombricultura.

#### **8.2.2. Fase 2: recolección de datos**

Se realizará la caracterización de los residuos para determinar la cantidad y tipo de residuos generados en el mercado durante una semana.

Figura 1. **Metodología para la recolección de datos**



Fuente: elaboración propia.

Se coordinará con cuatro comerciantes del mercado para obtener los residuos que generan y realizar la separación de sus residuos.

- Los residuos generados se separarán en bolsas de colores, para facilitar su identificación.
  - Residuos inorgánicos (color amarillo)
  - Residuos orgánicos (color verde)
  - Residuos sanitarios (color negro)
- Se realizará una caracterización general para determinar la cantidad de residuos generados (en kilogramos) en la clasificación de inorgánicos, orgánicos o sanitarios.

Tabla VI. **Caracterización general**

Residuo	Peso (kg)	Proporción (%)
Inorgánico		
Orgánico		
Sanitario		

Fuente: elaboración propia.

$$Proporción = \frac{Peso\ residuo}{Peso\ total}$$

- Se realizará una segunda caracterización específica para los residuos orgánicos, por ser los que permiten la obtención de compost.

El tipo y cantidad de residuos orgánicos se registrará en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Caracterización específica, residuos orgánicos**

Residuo	Peso (kg)	Proporción (%)

Fuente: elaboración propia.

### 8.2.3. Fase 3: análisis de datos

- De la cantidad total de residuos generada se determinará el tipo de residuos y proporción por emplear en el *compost*.

- Se verificará si la relación de carbono/nitrógeno (C/N) es la mejor de acuerdo con los datos bibliográficos.
- También se determinará si es necesario añadir otro tipo de residuos para que la relación C/N sea la mejor y establecer fuentes para su obtención.
- La calidad del compost resultante para el proceso de lombricultura se definirá por la relación C/N, que debe estar comprendida entre 25 a 35.

#### **8.2.4. Fase 4: elaboración del reporte de resultados**

Se reportará:

- Cantidad total de residuos generada (kg)
- Proporción de residuos orgánicos biodegradables generada (%)
- Relación C/N de los residuos orgánicos biodegradables
- Cantidad de residuos cuya disposición final no será un vertedero (kg)

## 9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizarán las siguientes técnicas para el análisis de la información durante el proceso de lombricultura:

### 9.1. Herramientas estadísticas por utilizar

- Medidas de tendencia central
  - Se identificarán los tipos de residuos que se generan.
  - Se determinará el tipo de residuo que más se genera.
  - Se establecerá la relación C/N de todos los residuos orgánicos biodegradables obtenidos para determinar la proporción en la que son generados.
  - Se determinará si los residuos orgánicos biodegradables y proporciones generadas pueden ser útiles para la producción del compost.
  - Se calculará la cantidad (kg) de compost que resultará del procesamiento de los residuos orgánicos biodegradables.
  - Se determinará la cantidad (kg) de residuos no orgánicos.
  
- Tasas y razones
  - Se representará el cambio en la cantidad de residuos orgánicos biodegradables generados.
  - Identificar el cambio de las variables volumen y peso de los residuos orgánicos biodegradables, conforme el tiempo.

## **9.2. Herramientas por utilizar**

- Formato de caracterización de los residuos
- Caracterización de los residuos obtenidos del mercado
- Tabla de peso de los residuos
- Balanza
- Cámara digital
- Bolsas plásticas de color amarillo, verde y negro
- Equipo de protección personal
- Resumen de gastos, para la evaluación de la factibilidad

## 10. CRONOGRAMA

Tabla VIII. Cronograma

Actividad	2018 Julio	2018 Agosto	2018 Septiembre	2018 Octubre	2018 Noviembre	2018 Diciembre
Fase 1 Exploración bibliográfica	█	█				
Fase 2 Recolección de datos y casos		█	█	█		
Fase 3 Análisis de datos				█	█	
Fase 4 Propuesta de métodos y usos						█

Fuente: elaboración propia.



## 11. RECURSOS Y FACTIBILIDAD

La siguiente propuesta de diseño se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Como es una investigación descriptiva-cuantitativa se considerarán los siguientes recursos:

Tabla IX. **Recursos necesarios para la investigación**

<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>
Materiales consumibles	Q. 500,00
Movilización	Q. 500,00
Asesor	Q. 2 500,00
Total	Q. 3 500,00

Fuente: elaboración propia.

Como los recursos aportados son suficientes para el desarrollo de la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.



## 12. REFERENCIAS

- 1). Comando, A. (2006). *Optimación del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- 2). Contreras, R. (2013). La lombriz de tierra. Recuperado de <http://biologia.laguia2000.com/zoologia/la-lombriz-de-tierra>
- 3). Domínguez, J. y Edwards, C. (2011). *Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting*. Estados Unidos, Taylor & Francis Group, LLC. ISBN 978-1-4398-0988-4.
- 4). Ecoclubes, UNICEF, OPS. (2009). *Participación ciudadana y gestión integral de residuos*. Argentina: UNICEF.
- 5). Gámez, D. (2013). *Estudio de factibilidad sobre el uso de desecho orgánico para la producción de compost en los mercados principales de la ciudad de Chiquimula*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- 6). Hernández, H. (2008). *Experiencias en la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados de la ciudad capital y su valor agronómico*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- 7). Jaramillo, G. y Zapata, L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- 8). Luna, L. y Bolaños, M. (2002). *Producción de abonos orgánicos de buena calidad*. Colombia: Produmedios. ISBN 978-958-8311-53-1

- 9). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2011). *Manual de compostaje*. España: Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones.
- 10).Miranda, W.C. (2008). *Estudio de factibilidad técnica financiera para la instalación de una planta procesadora de abono orgánico, a partir de basura vegetal*. Universidad Dr. José Matías Delgado, El Salvador, El Salvador.
- 11).Peña Turruella, E., Carrión Ramírez, M., Martínez, F., Rodríguez Nodals, A., Companioni Concepción, N. (2002). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. Cuba: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT).
- 12).Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios*. Ecuador: Ilustre Municipio de Loja.
- 13).Sánchez Upegüi, A. (2010). *Introducción: ¿Qué es caracterizar?* Medellín: Fundación Universitaria Católica del Norte.
- 14).Soto, G. (2003) *Taller de abonos orgánicos*. Costa Rica: Centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos.