


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or historical figure, seated on a throne. The figure is surrounded by various symbols, including a crown, a shield, and a lion. The text "UNIVERSITAS SAN CAROLINIENSIS" is inscribed around the perimeter of the seal. The seal is rendered in a light gray, semi-transparent style.

EVALUACIÓN DE MODELOS DE COMPOSTERAS DOMICILIARES Y
MÉTODOS DE COMPOSTAJE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA, 2018

SINDY ANALLENCY RIVERA MONZÓN

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EVALUACIÓN DE MODELOS DE COMPOSTERAS DOMICILIARES Y
MÉTODOS DE COMPOSTAJE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA,
GUATEMALA, 2018

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

SINDY ANALLENCY RIVERA MONZÓN

Al conferírsele el título de

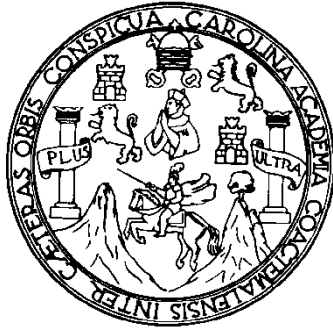
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**



RECTOR

M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Representante de Profesores:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez
Representante de Graduados:	M.Sc. Oscar Augusto Guevara Paz
Representante de Estudiantes:	P.C. Diana Laura Guzmán Moscoso
Representante de Estudiantes:	M.E.P. José Roberto Martínez Lemus
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M. A. Marlon Alcides Valdéz Velásquez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. David Horacio Estrada Jeréz
Secretario:	Inga. Agr. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	M.Sc. José Ramiro García Alvarez

TERNA EVALUADORA

M.Sc. José Gabriel Suchini Ramírez
M.Sc. Godofredo Ayala Ruiz
Ph.D. Rodolfo Augusto Chicas Soto

Chiquimula, Septiembre de 2018

Señores:

Consejo Directivo

Centro Universitario de Oriente -CUNORI-

Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

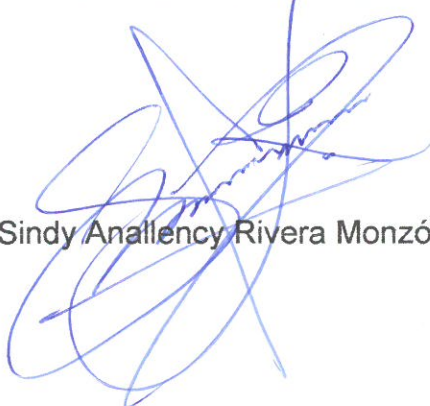
De conformidad de las formas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someterlo a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE MODELOS DE COMPOSTERAS DOMICILIARES Y MÉTODOS DE COMPOSTAJE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA CIUDAD DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2018”**, como requisito previo a optar el título de ingeniería en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo cumpla con los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Sindy Anallency Rivera Monzón

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the printed name.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



REF-FSCL-IGAL-01_2018
Chiquimula, septiembre de 2018

Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad


Respetable Ingeniero Coy:

En atención de la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación - PTG-, de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante, **Sindy Anallency Rivera Monzón**, en el trabajo de investigación denominado **“EVALUACIÓN DE MODELOS DE COMPOSTERAS DOMICILIARES Y MÉTODOS DE COMPOSTAJE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA CIUDAD DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2018”**, tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes, razón por lo cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciatura.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. Fredy Samuel Coronado López
Asesor Principal

cc. Archivo

D-TG-AT-154/2018

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **SINDY ANALLENCY RIVERA MONZÓN** titulado “**EVALUACIÓN DE MODELOS DE COMPOSTERAS DOMICILIARES Y MÉTODOS DE COMPOSTAJE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA CIUDAD DE CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2018**”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a dos de noviembre de dos mil dieciocho.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordon
DIRECTOR
CUNORI – USAC



ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por ser mi creador y guía de mi vida, por darme la sabiduría y entendimiento necesario para alcanzar esta meta. Por bendecirme grandemente.
- A MI PADRE:** Romeo Rivera Chacón, por ser el mejor padre que Dios me pudo dar, por darme su apoyo incondicional para alcanzar este sueño, por ser mi mayor ejemplo a seguir y orgullo en cada día de mi vida, por demostrarme que nada es imposible. A quien debo todo lo que soy.
- A MIS HERMANAS:** Yamel, Mary Karol, Coralia, por todas sus palabras de aliento y apoyo para culminar esta meta en mi vida, especialmente a Deily Rivera por su amor y por compartir cada etapa de nuestra vida llena de sueños e ilusiones, por ser parte importante de este logro.
- A MI SOBRINA:** Andrea Solórzano Rivera, por llegar a mi vida para darme un impulso más para alcanzar esta meta.
- A MI NOVIO:** Ferdy Recinos, por su amor incondicional, por tener siempre palabras de aliento para seguir adelante, por su invaluable ayuda durante toda mi carrera universitaria, especialmente en la fase de campo de mi trabajo de investigación.

**A MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS:**

Coralía Muñoz, Sindy Chegüén, Luisa Jiménez, Auner Vasquez, Andrea Suchini, Deisy Ramos, Elsa Ponce, Linda Valdéz, Dulce Moreira, por su cariño y amistad durante toda esta aventura universitaria, llena de recuerdos y momentos inolvidables, porque sin su apoyo la culminación de esta etapa no sería posible, los quiero.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

**AL CENTRO
UNIVERSITARIO DE
ORIENTE CUNORI:**

Por ser mi casa de estudios y darme la oportunidad de formar parte de esta gran familia universitaria.

A MIS ASESORES

M.Sc. Fredy Samuel Coronado López y al Ing. Agr. José Ángel Urzúa Duarte, por su buena disponibilidad, dedicación, apoyo y motivación en todo momento, para alcanzar esta meta. Gracias.

**AL M.Sc. JOSÉ RAMIRO GARCIA ALVAREZ
Y Licda. VILMA RAMOS LÓPEZ:**

Por su ayuda y dedicación en la realización de los análisis de laboratorio y por el tiempo brindado para atender a cada uno de mis llamados. Gracias.

AL Lic. MARLON VALDÉS

Por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación.

A MIS CATEDRÁTICOS:

Por compartir sus conocimientos y darme las herramientas necesarias que me serán útiles en lo profesional y personal.

**A ZULMY MANCHAMÉ MATEO,
Inga. FABIOLA JESIBEL RECINOS JIMENEZ
Inga. SINDY PATRICIA CHEGÜÉN LEMUS:**

Por su invaluable aporte para la realización del documento y por brindarme su amistad sincera.

A MIS EVALUADORES:

Gracias por sus aportes y sugerencias para enriquecer la información presentada.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	V
RESUMEN	VI
1.INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. OBJETIVOS	8
5.1. Objetivo general	8
5.2. Objetivos específicos	8
6. HIPÓTESIS	9
7. MARCO TEÓRICO	10
7.1. Residuos no biodegradables y biodegradables	10
7.2. Los residuos sólidos orgánicos y su clasificación	10
7.3. El Compostaje	12
7.4. Condiciones del proceso de compostaje	15
7.5. El Compostador	16
7.6. Lombricultura	18
7.7. Método Takakura	21
8. MARCO REFERENCIAL	23
8.1. Ubicación del área de estudio	23
8.2. Vías de acceso	23
8.3. Características biofísicas del área de estudio	23
8.4. Investigaciones relacionadas con el tema	25
9. MARCO METODOLÓGICO	27
9.1. Evaluación de modelos de composteras y métodos de compostaje a nivel de campo	27
9.2. Evaluación económica de los tratamientos a través del método de	

presupuestos parciales.	36
9.3. Determinar el grado de aceptación	36
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
10.1. Análisis del proceso de compostaje con base a la temperatura, pH y humedad	37
10.2. Análisis económico	47
10.3. Implementación y aceptabilidad de la compostera rectangular y el método de compostaje Takakura	49
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Descripción de tratamientos y modelos que fueron evaluados.	30
2	Número de tratamientos y factores evaluados.	32
3	Propiedades físicas del compost de los tratamientos evaluados.	41
4	Análisis de varianza de las propiedades físicas del compost obtenido de los tratamientos evaluados.	42
5	Propiedades químicas generales del compost obtenido.	43
6	Análisis de varianza de propiedades químicas de los tratamientos evaluados.	44
7	Contenido de (macronutrientes y micronutrientes) de los tratamientos.	45
8	Análisis de varianza del contenido de macronutrientes y micronutrientes con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).	46
9	Presupuesto parcial de los tratamientos evaluados.	47
10	Dominancia de los tratamientos evaluados.	48
11	Indicadores financieros por tratamiento evaluado.	49
12	Variables de edad y género de personas que colaboraron en el uso y manejo de composteras domiciliarias utilizando el método Takakura en la ciudad de Chiquimula.	50
13	Nivel de escolaridad y situación laboral de los participantes en el uso y manejo de las composteras domiciliarias.	50
14	Resultados de preguntas con respecto al uso de la compostera y al proceso de compostaje implementado	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Dimensiones de los modelos de composteras de forma rectangular y cilíndrica.	28
2	Ingredientes para la solución salada y dulce, del método Takakura.	29
3	Preparación de la activación de los microorganismos aeróbicos (Takakura).	29
4	Aparición de microorganismos aeróbicos (Takakura).	30
5	Distribución de los tratamientos y repeticiones.	33

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Contenido	Página
1	Comportamiento de la temperatura en los cuatro tratamientos evaluados.	37
2	Comportamiento del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje	39
3	Comportamiento del potencial de hidrógeno (pH) de los tratamientos evaluados.	40

RESUMEN

La excesiva generación de residuos sólidos a nivel mundial es una de las problemáticas en la actualidad para la sociedad, dicho problema se debe a la inadecuada implementación de políticas públicas sobre el manejo de los mismos, esto ha producido un crecimiento notorio de basureros no autorizados y el aumento de los volúmenes de estos residuos.

Los residuos sólidos orgánicos generados por los domicilios es una de las causas principales del aumento del volumen que es generado hacia los basureros, el manejo inadecuado de estos residuos han provocado serios problemas de contaminación a nivel global y lamentablemente nuestro país no es la excepción, debido a estos problemas los efectos negativos dañan a mayor magnitud al momento de la descomposición de los residuos sobre los suelos y los mantos freáticos (Ayala, 2009).

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos a nivel domiciliar en la ciudad de Chiquimula, para lo cual se implementaron dos modelos de composteras y dos tipos de compostaje, distribuidos con el modelo estadístico de bloques completos al azar con arreglo bifactorial; los cuales fueron evaluados en un período de tres meses tomando en cuenta variables como nutrientes, análisis económico y aceptabilidad en los domicilios de la ciudad.

Culminado los tres meses de evaluación de los tratamientos, el compost generado se analizó en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-, obteniendo resultados de la cantidad de nutrientes, propiedades física y químicas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tratamientos varían de acuerdo a los modelos de composteras utilizados y métodos de compostaje implementados, el tratamiento T3 conformado por el modelo rectangular y método de compostaje por fermentación “Takakura” obtuvo mejores concentraciones de nutrientes como nitrógeno,

fósforo, potasio, calcio, magnesio y zinc, además presentó el mayor porcentaje de materia orgánica y costo beneficio siendo 1.70.

Con estos resultados se procedió a la implementación de la compostera domiciliar de forma rectangular y método de descomposición por fermentación “Takakura” en 14 domicilios de la ciudad de Chiquimula, distribuidas 2 por cada zona durante un período de 2 meses, lo cual fue necesario para determinar la aceptación por las personas participantes hacia la compostera domiciliar, lo anterior se midió a través de una encuesta dirigida a las personas, los resultados indicaron que el 100% de las personas entrevistadas opinan que el método “Takakura”, es útil para el manejo de los residuos sólidos orgánicos y el 92% manifestó que está dispuesto a continuar utilizando el modelo rectangular y el método “Takakura”.

En dicha investigación se obtuvieron resultados analizando las variables antes mencionadas, en la cual se determinó que el modelo de compostera domiciliar y método de compostaje que realiza la rápida descomposición y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en los domicilios de la ciudad de Chiquimula fue el tratamiento T3, el cual está conformado por el modelo rectangular y el método de compostaje aeróbico que utiliza microorganismos para la fermentación y descomposición de la materia orgánica conocido como “Takakura”.

INTRODUCCIÓN

La alta demanda de alimentos y otros productos debido al crecimiento poblacional en todo el mundo y específicamente en Guatemala, actualmente ha ocasionado la generación sin límites de residuos sólidos, impactando de forma negativa el medio ambiente, esto principalmente se debe a la baja importancia y conocimiento por parte de las autoridades y ciudadanos sobre esta problemática, quienes no han adoptado técnicas adecuadas, como el reciclaje de residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos para disminuir los volúmenes y la contaminación generada por estos.

La presente investigación contiene el marco teórico, donde se describe detalladamente la clasificación de los residuos sólidos orgánicos, el proceso y fases de descomposición de dichos residuos, así como también los beneficios de utilizar modelos de composteras y métodos de compostaje; para establecer el experimento fue necesario plasmar un marco referencial de la ciudad de Chiquimula, donde se encuentran las vías de acceso, características biofísicas y los recursos naturales en el área tales como: red hidrográfica y suelo.

El objeto de estudio fue la evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Chiquimula, con la finalidad de contribuir a la implementación de técnicas factibles, para la reducción de los impactos que provoca la generación de los residuos antes mencionados, la evaluación de modelos y métodos se desarrolló en un período de tres meses.

Para la evaluación de modelos y métodos de compostaje de los residuos sólidos orgánicos, se implementó la metodología tomando en cuenta la información de la cantidad de residuos que son generados por los domicilios de la ciudad de Chiquimula, de esta manera compostear la cantidad estimada, posteriormente se seleccionaron los modelos y métodos de compostaje a implementarse, para lo cual se utilizó el modelo estadístico de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial para la distribución de los tratamientos y continuar con la medición de parámetros como: temperatura,

potencial de hidrogeno (pH) y humedad; concluido los tres meses del experimentó se realizó un muestreo de suelos de cada tratamiento y repetición para ser enviadas al laboratorio del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-.

Así mismo se realizó un presupuesto parcial de cada uno de los tratamientos implementados para evaluar el rendimiento, costos variables, beneficio bruto, dominancia e indicadores financieros como: valor presente neto, tasa interna de retorno y relación beneficio costo de dichos tratamientos; conociendo los resultados anteriores se implementó la compostera domiciliar y método de compostaje en la ciudad de Chiquimula, donde se midió la aceptabilidad de las composteras a través de una encuesta.

Con la investigación se generó información sobre los tipos de modelos y métodos que existen para la descomposición de residuos sólidos orgánicos determinando que el modelo de forma rectangular y el método de descomposición por fermentación Takakura mostro mejores resultados en cuanto a su facilidad de manejo, rápida descomposición de los residuos sólidos orgánicos, mayor cantidad en nutrientes, buena aceptabilidad y tiene buena relación beneficio costo, al mismo tiempo se estableció el grado de aceptación por parte de los ciudadanos del casco urbano de Chiquimula.

2. ANTECEDENTES

La falta de manejo de los residuos sólidos orgánicos generados por la población en el municipio de Chiquimula, son consecuencias del poco conocimiento sobre los impactos negativos generados y sobre la reducción de los mismos, provocando de esta manera numerosos volúmenes de tales residuos, debido a las actividades domésticas los cuales son desechados mayormente en verteros no autorizados y otra parte a través del tren de aseo privado.

Según el Análisis y Diagnóstico de la situación actual de la gestión de los residuos en seis municipios de Chiquimula, realizado por la Mancomunidad del Nor-Oriente de Guatemala en el 2007, se generan alrededor de 499.5 toneladas/mes y 16.65 toneladas/día de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos por domicilios, se estima que la mayor fuente de generación de los residuos sólidos orgánicos se realiza a nivel domiciliario, debido a las actividades domésticas, los cuales son desechados mayormente en verteros no autorizados y otra parte a través del tren de aseo privado.

Según Hernández (2008), caracterizó y evaluó dos compost producidos a partir de residuos sólidos urbanos municipales, estos presentaron altas cantidades de K, Zn, Pb y Cd extraíbles, consideradas demasiado altas en base a normas establecidas para estos materiales, sin embargo ambos compost evaluados demostraron ser relativamente pobres en contenidos de nutrientes, pero 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.

Una de las tecnologías para la producción de abono orgánico es la lombricultura, a mediados de la década de 1930, Alberto Roth impulsó el desarrollo de la lombricultura en Argentina; en 1984 el milanés Kim Gagliardi inicia la lombricultura a nivel comercial en dicho país, una de las primeras personas que inicio la lombricultura en Guatemala fue por el señor Carlos Torrebiarte quien inició con una población de 2 millones de

lombrices que trajo directamente de los Estados Unidos, así mismo otro lombricultor importante es el señor Yovany Guevara, propietario del Beneficio de Café Húmedo Eben-Ezer en Olopa, Chiquimula, quien inició su proyecto en el 2,005 como anexo a dicho beneficio (Ordóñez, 2011).

3. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional en los núcleos urbanos y el aumento progresivo de consumo de productos alimenticios, ha provocado incremento en la generación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

En la ciudad de Chiquimula se genera gran cantidad de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; según Ayala (2009), indica que se generan 649.7 toneladas/mes, siendo 399.67 concernientes a desechos sólidos orgánicos y 21.36 toneladas/día de estos 13.14 corresponden a los desechos sólidos orgánicos.

La descomposición de residuos sólidos orgánicos puede generar efectos negativos como: la generación de lixiviados que pueden contaminar las aguas subterráneas y los ríos, a través de las escorrentías superficiales, además genera la formación de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono). Actualmente en el municipio de Chiquimula no se realiza ningún tipo de gestión para el manejo de esta problemática, por este motivo es necesaria la búsqueda y la implementación de acciones para el aprovechamiento de los desechos sólidos orgánicos domiciliarios, por medio de métodos viables y eficientes que ayuden a disminuir la contaminación que es generada a través de dichos residuos.

Un método que actualmente se está implementado en varios países del mundo para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos a nivel domiciliario, es la implementación de composteras, lo cual permite disminuir el volumen de los residuos orgánicos generados, a través de la degradación aeróbica (en presencia de oxígeno) de materia orgánica por la acción de microorganismos en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

El problema identificado a resolver es la contaminación que generan los residuos sólidos orgánicos, a través de la evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, con el objetivo de conocer el beneficio al momento de reducir o

dar mejor disposición a los residuos sólidos orgánicos, así como los beneficios económicos que representa su reducción y reutilización.

4. JUSTIFICACIÓN

Los residuos sólidos orgánicos constituyen un alto porcentaje del volumen de residuos generados, por ello es de suma importancia tomar acciones inmediatas y soluciones factibles que permitan minimizar los efectos nocivos que causa el inadecuado manejo y disposición final de estas sustancias contaminantes, para ello es indispensable la utilización de métodos, técnicas y procedimientos eficaces y sostenibles que orientados hacia el mejor desarrollo permitan mejorar los índices de salubridad de la población.

En la actualidad el tratamiento biológico se considera una de las estrategias más apropiadas para la gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos, debido a que se encuentran las diferentes clasificaciones de procesos que son aplicables a diferentes escalas, los cuales incluyen el compostaje, la digestión anaerobia, el tratamiento mecánico biológico o el biosecado térmico, y que se relaciona con aspectos clave de la ingeniería ambiental (Barrera, 2006).

El compostaje ha recibido mucha atención, como tecnología potencial para el tratamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos, asimismo, el compostaje se define como el proceso de fermentación aeróbica de materias orgánicas realizado en condiciones controladas de humedad y temperatura, buscando imitar a los procesos naturales de materiales de origen vegetal o animal, para luego ser incorporado al suelo como abono (Barrera, 2006).

Por lo anterior, la investigación consistió en la disminución de los volúmenes de residuos sólidos orgánicos en los domicilios y por ende en vertederos del municipio, de esta manera se contribuyó a la calidad de vida de la población en general, por medio de la disminución de agentes contaminantes que se generan del inadecuado manejo de este tipo de residuos, ya que al no ser tratados adecuadamente impactan las fuentes de agua superficiales y subterráneas, afectando los mantos freáticos que abastecen a un alto porcentaje de habitantes de la ciudad.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, en la ciudad de Chiquimula.

5.2. Objetivos específicos

- Evaluar modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Chiquimula.
- Realizar análisis económico de los tratamientos evaluados mediante el método de presupuestos parciales.
- Determinar la aceptabilidad del modelo de compostera domiciliar y método de compostaje que presentó mejores resultados para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, que se generan en los domicilios de la ciudad de Chiquimula.

6. HIPÓTESIS

- a) Los dos modelos de compostera evaluados son similares en cuanto a la calidad físico química del producto procesado.
- b) Los dos métodos de compostaje evaluados son similares en cuanto a la calidad físico química del producto procesado.
- c) No existe interacción entre los modelos de compostera evaluados y los métodos evaluados en cuanto a la calidad del producto procesado.

7. MARCO TEORICO

7.1. Residuos no biodegradables y biodegradables

7.1.1. Residuo

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Jaramillo y Zapata, 2008).

7.1.2. Los residuos no biodegradables o no degradables

Contempla toda materia muerta, cuya naturaleza inorgánica no entra en reacción química fácilmente con el ambiente en condiciones naturales durante periodos cortos de tiempo; sin embargo, existen algunos compuestos inorgánicos que sí reaccionan con el oxígeno, como el hierro, causando procesos químicos en lapsos moderados, que pueden ser causas de contaminación ambiental.

También existen dentro de esta categoría compuestos de origen orgánico, como lo son aquellos polímeros derivados del petróleo y muchos de éstos se componen de diferentes tipos de plásticos usados en el mercado de consumo (Villatoro, 2004).

7.1.3. Desechos biodegradables o degradables

Son de origen orgánico, se les designan como basura húmeda por estar compuestos por elementos que son capaces de sufrir, fácilmente, descomposición biológica. Se compone fundamentalmente por residuos de alimentos: cáscaras de frutas, vegetales, frutas descompuestas, sobrantes de comida entre otros (Villatoro, 2004).

7.2. Los residuos sólidos orgánicos y su clasificación

Los residuos sólidos orgánicos son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne,

huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada. Cómo se clasifican: Existen muchas formas de clasificación de los residuos sólidos orgánicos, sin embargo, las dos más conocidas están relacionadas con su fuente de generación y con su naturaleza y/o características físicas (Jaramillo Y Zapata, 2008).

Los residuos sólidos orgánicos según su fuente se clasifican en:

7.2.1. Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles

Consideramos dentro de esta fuente a los residuos almacenados también en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos. En este caso, sus posibilidades de aprovechamiento son un poco más limitadas, por la dificultad que representa llevar adelante el proceso de separación física.

7.2.2. Residuos sólidos orgánicos institucionales

Residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas. Se caracteriza mayormente por contener papeles y cartones y también residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.

7.2.3. Residuos sólidos de mercados

Son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.

7.2.4. Residuos sólidos orgánicos de origen comercial

Son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos últimos son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Requieren de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino (previo tratamiento).

7.2.5. Residuos sólidos orgánicos domiciliarios

Son residuos provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que mayormente contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles. Representa un gran potencial para su aprovechamiento en los departamentos del país (Jaramillo Y Zapata, 2008).

7.3. El Compostaje

Rosales (2011), indica que la materia orgánica de las plantas, frutas y verduras en la naturaleza sirve de alimento a los animales y estos a su vez son consumidos por el hombre. Todos estos seres vivos producen desechos, (ya sea por su metabolismo, los restos de sus presas o ellos mismos al morir) que van a parar al suelo. Allí una serie de microorganismos los degradan gracias a una serie de reacciones reducción-oxidación. Si estas reacciones se realizan en presencia de oxígeno se habló de fermentación, y si suceden en ausencia de oxígeno se llama putrefacción. Si el proceso es de fermentación las plantas pueden tomar sus nutrientes así se cierra el ciclo de materia orgánica llamado humificación.

Sucede que en las poblaciones urbanas este ciclo queda abierto en el momento en que arrojan los restos orgánicos. Estos en lugar de ir al suelo y ser degradados por los microorganismos se acumulan en vertederos o son incinerados y de esta manera salen del ciclo y no pueden reintegrarse. La técnica de compostaje busca imitar el proceso natural de la materia orgánica y cerrar artificialmente el ciclo que quedo abierto por el tratamiento inadecuado de estos residuos (Rosales, 2011).

Se define como compostaje al proceso de fermentación aeróbica de materias orgánicas realizado en condiciones controladas de humedad, temperatura y buscando imitar a los procesos naturales y convirtiéndose en una forma de reciclaje (Rosales, 2011).

El compost es el producto resultante de este proceso y está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, la cual no se reconoce su origen y está libre de patógenos y semillas de plantas. Al ser aplicado al suelo produce mejoras en sus características físicas, químicas y biológicas (Rosales, 2011).

Algunas de sus características son: color oscuro, casi negro, gran capacidad de retención de agua, olor parecido al de tierra húmeda, agrega nutrientes esenciales al suelo y no lo nitrifica, ni acidifica como los fertilizantes químicos (Rosales, 2011).

El proceso de descomposición de la materia orgánica dura aproximadamente entre 5 y seis meses, en dicho periodo se distinguen las siguientes fases (Rosales, 2011):

7.3.1. Fase de descomposición:

Se divide en dos, fase de latencia y crecimiento y fase termófila.

a. Fase de latencia y crecimiento: Es el tiempo que necesitan los microorganismos para aclimatarse a su nuevo medio y comenzar a multiplicarse. Esta fase suele durar de 2 a 4 días y al final de ella la temperatura alcanza más de 50°C.

El valor de pH se encuentra en torno a 6, debido a la reacción ácida de los jugos celulares y a la actividad bacteriana (incrementada por el aumento de la temperatura) con formación de ácidos provoca la disminución del pH hasta aproximadamente 5,5. En esta fase, bacterias y hongos mesófilos, disponen de todas las sustancias directamente asimilables contenidas en estado natural en el medio orgánico.

Estos microorganismos liberan ácidos a partir de la materia orgánica. Las bacterias son las que predominan en esta etapa. Son las responsables de la mayoría de los procesos de descomposición, ya que poseen un amplio rango de enzimas que degradan una gran variedad de materiales orgánicos, así como de la producción de energía calorífica en el compost. La mayoría de las bacterias mesofílicas son las que normalmente se encuentran en el suelo vegetal.

b. Fase termófila: Dependiendo del producto de partida y de las condiciones ambientales, este proceso suele durar aproximadamente una semana, en los

sistemas acelerados, y uno o dos meses en los de fermentación lenta. El aumento de la temperatura, como consecuencia de la intensa actividad, provoca la proliferación de las primeras especies termófilas presentes en los residuos en estado latente.

Especies de bacterias y de hongos termófilos entran en actividad hasta temperaturas de 65°C, en ese momento aumenta la actividad enzimática, la hidrólisis, transformación de las grasas y el ataque superficial de la celulosa y lignina formando sustancias orgánicas simples. Durante esta fase de altas temperaturas, se superan los 70°C durante dos o tres semanas, lo cual elimina gérmenes patógenos, larvas y semillas (Rosales, 2011).

Sólo sobreviven las bacterias termófilas, se debilita la actividad biológica y se produce la pasteurización y estabilización del medio. Esta es la fase que más se debe vigilar para asegurar una buena pasteurización y evitar una excesiva mineralización si se prolonga demasiado. Por encima de los 70°C cesa prácticamente la actividad microbiana. Cuando la temperatura vuelve a bajar reaparecen las formas activas (formas no esporuladas), y presentan entonces también mucha actividad los protozoos, que actúan como consumidores secundarios ingiriendo bacterias, hongos, nemátodos, miriápodos, etc. El medio se alcaliniza como consecuencia de la formación de amonio. Los valores máximos que se alcanzan se encuentran en torno a 8,5.

c. Fase de maduración:

Es un período de fermentación lenta, puede llegar a durar tres meses. Los microorganismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen otros, como hongos que continúan el proceso de descomposición: los basidiomicetes van degradando la lignina, los actinomicetes descomponen la celulosa, etc.

En esta fase, a partir de componentes orgánicos, se sintetizan coloides húmicos, hormonas, vitaminas, antibióticos y otros compuestos que favorecerán el desarrollo vegetal. Se agota la materia orgánica susceptible de aportar carbono,

disminuye la actividad biológica y presencia de bacterias termófilas, dando lugar a un descenso progresivo de las temperaturas. El pH disminuye tendiendo a la neutralidad en esta fase.

7.4. Condiciones del proceso de compostaje

Jaramillo y Zapata (2008), indica que en el proceso de compostaje, son los microorganismos los responsables de la transformación del sustrato, por lo tanto, todos aquellos factores que puedan inhibir su crecimiento y desarrollo, afectarán también sobre el proceso. Los factores más importantes que intervienen éste proceso biológico son: temperatura, humedad, pH, oxígeno, relación C/N y población microbiana.

7.4.1. Temperatura

Las fases mesófila y termófila del proceso, mencionadas anteriormente, tienen un intervalo óptimo de temperatura. Se ha observado que las velocidades de crecimiento se duplican aproximadamente con cada subida de 10 grados centígrados de temperatura, hasta llegar a la temperatura óptima.

Hacia los 70 °C grados centígrados se inhibe la actividad microbiana por lo que es importante la aireación del compost para disminuir la temperatura y evitar la muerte de los microorganismos. Durante estos cambios de temperatura las poblaciones bacterianas se van sucediendo unas a otras. Este ciclo se mantiene hasta el agotamiento de nutrientes, disminuyendo los microorganismos y la temperatura.

7.4.2. Humedad

En el compostaje es importante evitar la humedad elevada ya que cuando está muy alta, el aire de los espacios entre partículas de residuos se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio. Por otro lado, si la humedad es muy baja, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retarda. Se consideran niveles óptimos de humedades entre 40% - 60%, éstos dependen de los tipos de material a utilizar.

7.4.3. pH:

El compostaje permite un amplio intervalo de pH (3.0 – 7.0), sin embargo los valores óptimos están entre 5.5 y 7.0, porque las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido. El valor del pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento llegando a un valor de 6 a 7 en el compost maduro. La NTC 5167 de 200416 dice que si el producto se disuelve en agua, su disolución no debe desarrollar pH alcalino es decir mayor de 7.

7.4.4. Oxígeno

Los microorganismos deben disponer de oxígeno suficiente para que se dé el proceso aerobio, esto se logra mediante la aireación. Si se garantiza el oxígeno necesario para que se desarrolle el proceso, se puede obtener un compost rápido y de buena calidad, evitándose problemas de malos olores.

7.4.5. Nutrientes

Una relación C/N de 20 – 35 es la adecuada al inicio del proceso; pero si ésta relación es muy elevada, se disminuye la actividad biológica porque la materia orgánica a composta es poco biodegradable por lo que la lentitud del proceso no se deberá a la falta de nitrógeno sino a la cantidad de carbono (Jaramillo y Zapata, 2008).

7.4.6. Tamaño de partículas:

El tamaño de partículas no debe ser ni muy fina ni muy gruesa, porque si es muy fina, se obtiene un producto apelmazado, lo que impide la entrada de aire al interior de la masa y no se llevará a cabo una fermentación aerobia completa. Si las partículas son muy grandes, la fermentación aeróbica tendrá lugar, solamente en la superficie de la masa triturada. Aunque el desmenuzamiento del material facilita el ataque microbiano, no se puede llegar al extremo de limitar la porosidad, es por ello que se recomienda un tamaño de partícula de 1 a 5 cm (Jaramillo y Zapata, 2008).

7.5. El Compostador

De Santos y Urquiaga (2013), indica que se conocen una amplia gama de modelos de compostadores de diferentes materiales, tamaños y formas. Se recomiendan modelos

que sean desmontables en todas sus partes y abierto por la base. Estos compostadores deben disponer de agujeros, ranuras o aberturas laterales que facilitan la circulación de aire en su interior. Además deben disponer de una tapadera que les hace impermeable al agua de la lluvia y les hace guardar las temperaturas que se originan en el proceso. La materia prima recomendada es el plástico, por el grosor y las diversas ventajas hacen que estos modelos de compostadores sea un elemento muy duradero en el tiempo.

Todos los Compostadores tienen la misma función, la cual es servir como un medio o recipiente en el cual interactúan los microorganismos con la materia orgánica, en algunos casos también se conjugan con otro tipo de organismos como lo es con la Lombriz coqueta roja californiana, a estos últimos se le suelen llamar o denominar lombricompostadores, vermicompostadores o depósito de lombricompostaje (De Santos y Urquiaga, 2013).

Existe una diversidad de modelos de compostador que han sido creados para realizar este proceso, el cual es someter la materia orgánica a una transformación biológica por medio de microorganismos u organismos más grandes como los es la lombriz coqueta roja californiana, cada uno de ellos responden a diferentes situaciones, preferencias y materiales utilizados (De Santos y Urquiaga, 2013).

Por lo general los diseños más comunes son los de procesos discontinuos; pues estos requieren en algún momento de suspender temporalmente cuando los recipientes del compostador se han llenado, por lo cual resulta necesario detener la alimentación para cosechar el abono y reanudarlo nuevamente. También existen otras técnicas en donde el proceso es continuo, sin tener que suspender y reactivar el proceso (De Santos y Urquiaga, 2013).

La forma más simple de compostador es solo un pequeño depósito con drenaje al fondo al que se protege de la lluvia y el sol directo, pero se prefiere algunos modelos que son más comunes en nuestro medio, los cuales toman en cuenta que no debe llevar un sellado hermético, pues sería imposible que se realice el proceso, estos modelos se

mencionan a continuación: Cajas plásticas rectangulares, cajones de madera, piletas de cemento, block, ladrillo o piedra, cubetas plásticas, tinas recicladas y llantas recicladas. Es importante mencionar que las dimensiones de los compostadores pueden variar dependiendo la cantidad de materia orgánica que deseen transformar o bien de cuanta se genere en sus actividades; también el diseño es decisión de cada usuario porque también depende de la manera que lo utilizara o los materiales que tengan a su alcance, física y económicamente hablando (De Santos y Urquiaga, 2013).

7.6. Lombricultura

La lombricultura o vermicultura como también se le denomina, es una técnica o más bien una biotecnología, mediante la cual se puede producir proteína animal y un abono de excelente calidad a partir de desechos orgánicos, y que en muchos casos, representan un verdadero problema ecológico tanto por la cuantía como por la contaminación que los mismos representan.

Los desechos orgánicos en el suelo son descompuestos por micro y macro organismos. En el caso de la lombriz, más específicamente, como consecuencia de un proceso biotransformador que ocurre a todo lo largo y ancho del intestino de esta, no tan solo se obtiene el humus, sino que además con esta práctica se puede producir proteína animal la cual estaría conformada por el cuerpo de la lombriz 12 con un comprobado valor proteico y aminoácidos esenciales para la dieta humana y animal, y por último, se puede producir el denominado humus liquido utilizable a través del riego en plantaciones agrícolas y jardines (Ávila, 2010).

7.6.1. Actividad de la lombriz en la materia orgánica

La calidad del compost de lombrices debe ser conocida a fin que el mismo sea usado en forma adecuada como un abono orgánico. Este método de reciclaje es ideal para el tratamiento de las deyecciones animales, como también de los desechos domiciliarios de tipo orgánico, ya que acelera el proceso de obtención de abonos de calidad, evitando contaminación en el ambiente. El compostaje es un método alternativo de recuperación de recursos, siendo su principal ventaja los bajos costos operacionales además de minimizar la contaminación ambiental.

7.6.2. Humus de lombriz

El proceso de producción consiste en el paso por el intestino de las lombrices de la materia orgánica (100% estiércol maduro de ternera, oveja, conejo) a la que aporta microorganismos y fermentos. El humus es de color pardo oscuro, inodoro y no deja residuos al tacto. Se trata de un producto de alta calidad, con una gran riqueza orgánica, carente de fitotoxicidad y muy fácil de manipular. El humus de lombriz, es prácticamente neutro (pH entre 6.8 y 7.8) y contiene abundante flora bacteriana (miles de millones de colonias por gramo de producto). Presenta las siguientes propiedades:

- Apto para todo tipo de cultivo.
- Rico en extracto húmico y elementos minerales.
- Enriquece los suelos gracias a la formación de complejos arcillo-húmicos.
- Ayuda a la reestructuración de suelos degradados.
- Estimula y acelera la humificación de la materia orgánica.
- Aumenta la actividad biológica de los suelos
- Los excesos en su utilización no perjudica el cultivo de plantas, ni siquiera en los brotes más tiernos.
- El vermicompost contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fósforo, y dos veces y media más potasio que el mismo peso del estiércol de bovino.

7.6.3. Lombriz coqueta roja

Ordoñez (2011), define esta lombriz como “un anélido invertebrado, que tiene el cuerpo formado por numerosos anillos. Es un animal con un organismo adecuado para biodegradar desechos orgánicos. Es muy voraz, prolífico y dócil, capaz de vivir en grandes concentraciones y adaptable a distintos climas”.

Otros nombres que recibe esta lombriz son: *Eisenia fetida*, lombriz roja, lombriz californiana, lombriz roja californiana, y lombriz de tierra.

Características generales de la lombriz coqueta roja (Ordóñez, 2011):

- Es de color rojo oscuro, en estado adulto mide de 6 a 8 centímetros y pesa en promedio 1.00 gramo.
- Tienen un buen desarrollo de sus sistemas: nervioso, circulatorio, digestivo, excretor, muscular y respiratorio.
- Los rayos ultravioleta la pueden dañar seriamente, debido a que es fotofóbica.
- Se alimenta de distintos tipos de desechos agropecuarios (algunas clases de estiércol, residuos agrícolas, frutas y tubérculos que no son de consumo humano), y de desechos orgánicos de la industria (tales como restos de serrerías, desperdicios de mataderos, basura, etcétera.) Estos desechos deben estar parcial o totalmente descompuestos.
- Son totalmente inmunes al medio contaminado en que viven.
- Le hace daño la excesiva humedad, la acidez del medio y la incorrecta alimentación.
- Ingiere al día lo equivalente a su peso y expulsa aproximadamente el 80%. Esta deyección es el humus. Es decir, si se tienen 240,000 toneladas de residuos orgánicos, las lombrices las pueden convertir aproximadamente en 192,000 toneladas de humus.
- Es muy prolífera, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida. Su capacidad reproductiva es bastante alta; la población puede duplicarse cada 45-60 días. Al cabo de un año, 1, 000,000 de lombrices ya se han convertido en aproximadamente 12, 000,000 y en dos años 144, 000,000. Bajo ciertas condiciones, una lombriz puede producir hasta 1,300 lombrices al año.

- Son hermafroditas, no se autofecundan.
- Viven aproximadamente de 4 - 16 años.

7.7. Método Takakura

Honobe (2013), indica que el método Takakura es un tipo de compost que utiliza microorganismos que descomponen la basura orgánica y lo hace en menor tiempo. Esta alternativa reduce la cantidad de desechos orgánicos que se producen en los hogares ciudadanos y en las labores que se realizan en el campo.

El Método Takakura se originó en el Asia, en la ciudad de Surabaya, Indonesia, en donde el tratamiento de la basura orgánica e inorgánica fue grave problema ya que su producción sobrepasó la capacidad de la comunidad para gestionarla. En el 2004 Surabaya emitió 1500 toneladas de basura al día lo que provocó que sus botaderos sean insuficientes. La basura se encontraba en las calles y ríos lo que ocasionó enfermedades infecciosas, sobre todo en los niños. Una de las estrategias que se usó para reducir la cantidad de basura fue la aplicación del método.

El proceso se desarrolló participativamente y de manera voluntaria, a través de talleres y visitas puerta a puerta se compartió con las familias las bondades del método. Para el 2009, la ciudad de Surabaya producía mil toneladas de basura al día. Al comparar las cifras de los años 2004 y 2009 se demostró que la ciudad redujo aproximadamente el 35% de la basura generada al día. Las estadísticas también revelaron que las enfermedades infecciosas desaparecieron y los habitantes de Surabaya mejoraron su entorno al fertilizar sus plantas con el nuevo compost.

En la naturaleza, los microorganismos se clasifican en: aeróbicos que necesitan oxígeno para sobrevivir y los anaeróbicos que pueden funcionar con poco o incluso sin oxígeno, estos últimos son los responsables de la putrefacción de los desechos y el mal olor de los mismo.

Para descomponer los residuos orgánicos, el Método Takakura utiliza principalmente los microorganismos aeróbicos. Esta transformación se fortalece por el constante movimiento del compost; es decir, el movimiento da más fuerza a los microorganismos aeróbicos y disminuye la acción de los microorganismos anaeróbicos.

Los microorganismos del Método Takakura se alojan en los alimentos fermentados (queso, yogurt, levadura y vinos, entre otros) y en la materia orgánica de los bosques (hojarasca, hongos y moho); cada uno de éstos descomponen alimentos específicos; por ejemplo: los microorganismos de los alimentos fermentados descomponen carbohidratos, proteínas y grasas y los microorganismos encontrados en el bosque descomponen principalmente, las fibras y las ligninas que son las partes más duras de la comida.

La principal diferencia entre un compost normal y el Método Takakura es que éste último descompone los desechos orgánicos en menor tiempo. Además, requiere de espacios reducidos para su elaboración y no produce olores, por lo que pueden aplicarse en el sector urbano, sin ningún problema (Honobe, 2013).

7.7.1. Ventajas del Método Takakura:

a) Rápido: Descomponen los residuos orgánicos en un tiempo de corto (24 hrs aproximadamente).

b) Fácil: No es necesario tener conocimientos técnicos sobre agricultura o técnicas de creación de abonos.

c) Económico: Para su elaboración se utilizan los desechos orgánicos que se producen en casa.

8. MARCO REFERENCIAL

8.1. Ubicación del área de estudio

El municipio de Chiquimula, tiene una extensión de 370 km², dentro de la cual se encuentra el área de estudio del proyecto de investigación, cuyos límites son: al Norte: departamento de Zacapa; al Este los municipios de Jocotán, San Juan Ermita y San Jacinto; al Sur los municipios de San José La Arada, San Jacinto y el departamento de Jalapa y al Oeste los municipios de Huité y Cabañas pertenecientes al departamento de Zacapa (Anexo 1).

La ciudad de Chiquimula, según censo realizado por la municipalidad, el número de viviendas por zonas es el siguiente: zona uno, 2,307 viviendas, zona dos, 1,623 viviendas, zona tres, 1,052 viviendas, zona cuatro, 2,386 viviendas, zona cinco, 841 viviendas, zona seis, 458 viviendas, zona siete, 733 viviendas, haciendo un total de 9400 viviendas (Ayala, 2009).

8.2. Vías de acceso

La ciudad de Chiquimula está a una distancia de 170 kilómetros o dos horas y media, de la Ciudad Capital de Guatemala, utilizando la vía Carretera Centroamericana, CA-9 y CA-10 y de 200 kilómetros o tres horas utilizando la Carretera Centroamericana CA-1 Oriente, RD-04 de Jutiapa y RD-06 de Chiquimula. Se encuentra a una distancia de 62 kilómetros de la Frontera con Honduras y a 50 kilómetros de la frontera con El Salvador, (Ayala, 2009).

8.3. Características biofísicas del área de estudio

8.3.1. Clima y zona de vida

Basado en el Sistema Holdridge, la ciudad de Chiquimula se ubica en la zona de vida Bosque seco Subtropical, en esta zona de vida las condiciones climáticas se caracterizan por días claros y soleados durante los meses que no llueve y parcialmente nublados durante la época lluviosa. La época de lluvias corresponde a los meses de junio a octubre. Las precipitaciones varían entre 500 mm a 1,000 mm, y un promedio de

855 mm. La biotemperatura media anual para esta zona oscila entre los 19 °C y 24 °C (De La Cruz, 1976).

De acuerdo a los registros de la estación climática de CUNORI, la precipitación promedio anual es de 825 mm y la temperatura promedio es de 27.5 °C, con mínimas de 20 °C y máximas de 39°C, ver anexo 2 y 3 (Girón, 2011).

8.3.2. Recursos naturales

a. Red hidrológica

La red hidrológica de la ciudad de Chiquimula esta comprendía por los Ríos San José que se ubica en dirección Este, el Río Taco que está ubicado en dirección Norte del Centro de la ciudad, el Río Shusho que está ubicado en dirección Sur del Centro de la ciudad, el Río Sasmó que está ubicado en dirección Sur pero que ha sido incorporado al sistema de drenajes de la ciudad y sus corrientes son irregulares la mayor parte del año abastecido únicamente por las descargas del sistema de drenajes y el río Shutaque ubicado el Este de 33 la ciudad y desemboca en el río San José en los límites de la ciudad de Chiquimula como lo enuncia, ver anexo 4 (García, 2010).

b. Suelo

El territorio de la ciudad de Chiquimula está principalmente constituido por suelos inceptisoles, los cuales son de origen relativamente reciente, caracterizados por tener la menor diferenciación de horizontes; únicamente un pequeño porcentaje (ubicado entre las zonas 4 y 6) consta de suelos entisoles, los cuales están definidos por la ausencia de horizontes que reflejan claramente los procesos de formación del suelo. La geología corresponde principalmente a una secuencia aluvial (Qal), y en menor grado a rocas basálticas (Qb) y rocas ígneas (KTi). Según su clasificación fisiográfica geomorfológica se trata de un “abanico aluvial”, originado a partir de la sedimentación de la carga sólida transportada por corrientes fluviales, ver anexo 5 (Girón, 2011).

8.4. Investigaciones relacionadas con el tema

8.4.1. Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos

La investigación se realizó sobre la evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos, en la Neuquén provincia situada en la Región Patagónica de la República de Argentina (Arrigoni, 2011).

Para la realización de la investigación se diseñaron y evaluaron tres prototipos de compostadores, construidos a partir de materiales reutilizados (tambores metálicos) y materiales reciclados (tablas de plástico) (Arrigoni, 2011).

La experiencia de compostaje se desarrolló en un yacimiento hidrocarburífero, con los residuos generados en un comedor que presta servicio a 65 personas diariamente. Se estudió el proceso de compostaje y se determinaron las siguientes variables en el producto final (enmienda orgánica o compost): nitrógeno total, fósforo total, fósforo extractable, pH, materia orgánica y conductividad eléctrica (Arrigoni, 2011).

Los resultados confirmaron la eficacia de este sistema de compostaje para transformar los residuos orgánicos en compost. En comparación con el sistema tradicional (pilas e hileras), se determinó un mayor contenido de nutrientes y materia orgánica, como así también elevados valores de pH y conductividad eléctrica. Existieron diferencias significativas en estas variables al compararse los diferentes prototipos evaluados.

8.4.2. Efecto ambiental del uso de las composteras en el manejo integral de los residuos sólidos domésticos en una comuna urbano-rural

Morales (2005), determinó el efecto ambiental del uso de las composteras en el manejo integral de los residuos sólidos domésticos en una comuna urbano-rural, en la ciudad de Santiago de Chile.

Este estudio se llevó a cabo en el período primavera-verano el cual permitió cuantificar la pérdida de masa que sufre el componente orgánico de los residuos en el proceso de compostificación. En forma paralela, para demostrar la eficiencia de las composteras desde la perspectiva de remoción de materia orgánica desde los RSD, se realizó un muestreo de basura en viviendas que tenían este artefacto y en viviendas que no lo tenían tanto en la zona urbana como rural de Talagante, esto además permitió verificar la variación en el peso y composición de los residuos que posteriormente van al sistema de recolección.

Dentro de los resultados obtenidos se identificó que la compostera produjo compost, se demoró aproximadamente tres meses en formarse y se determinó que el proceso de compostificación reduce en promedio un 36% la masa original del componente orgánico.

Así mismo el muestreo de los residuos arrojó que más del 50% de los residuos generados por esta comuna son de tipo orgánico y que las viviendas que no compostan eliminan un 28.3% y un 77,5% más de residuos que las que si compostan en la zona urbana y rural respectivamente.

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1. Evaluación de modelos de composteras y métodos de compostaje a nivel de campo

9.1.1. Selección del tamaño de recipientes utilizados en los modelos evaluados

El tamaño de los recipientes utilizados estuvo en función de la cantidad de residuos sólidos orgánicos producidos por las familias típicas de la cabecera departamental de Chiquimula. Ayala (2009), indica que en el municipio de Chiquimula se generan 13.14 toneladas de residuos sólidos orgánicos cada día y por domicilio se generan aproximadamente 3.087 lb/domicilio/día.

Como parte de la presente investigación en el año 2015 se realizó una colecta y cuantificación de los residuos sólidos orgánicos en 14 domicilios de la ciudad de Chiquimula, por un periodo de 5 días consecutivos, en el cual se determinó que la generación promedio de los residuos sólidos orgánicos en los domicilios es de 1.85 lb/domicilio/día.

Para construir los modelos de composteras se utilizaron recipientes plásticos, por ser material de alta durabilidad, rigidez, higiene y estética, para ello se seleccionaron dos recipientes horizontales tipo caja y dos recipientes verticales de forma cilíndrica. Un tipo de caja poseía paredes con orificios y otras con paredes herméticas, lo mismo con los recipientes cilíndricos. Las cajas rectangulares tenían una capacidad de 15 galones y las cubetas 5 galones, en la figura 1, se muestran las dimensiones de los dos tipos de recipientes utilizados.

A continuación se presentan las dimensiones de los modelos de composteras domiciliarias utilizadas:

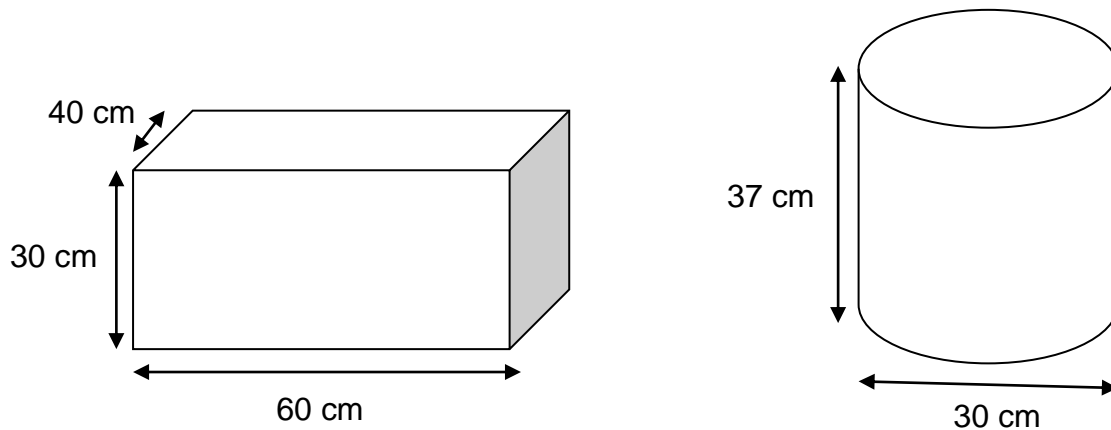


Figura 1. Dimensiones de los modelos de composteras de forma rectangular y cilíndrica.

9.1.2. Métodos de compostaje evaluados

Los métodos evaluados para la descomposición de residuos sólidos orgánicos fueron los siguientes:

- a) Lombricompost con la lombriz Coqueta Roja (*Eisenia fetida*)
- b) Descomposición por fermentación (Takakura): Según Honobe, Y. 2013, los pasos para la elaboración del método de descomposición por fermentación Takakura son los siguientes:

- Paso 1: Preparación de las soluciones de fermentación
 - ✓ Solución salada: Para la solución salada, fue necesario un recipiente con tapadera, con capacidad de 15 litros, donde se colocaron cáscaras de verduras y frutas, combinadas con 2 libras de sal y 10 litros de agua.
 - ✓ Solución dulce: Para la solución dulce, se utilizaron ingredientes como queso fresco, levadura, yogurt natural, cerveza, azúcar, agua y un recipiente con tapadera, con capacidad de 10 litros.



Figura 2. Ingredientes para la solución salada y dulce, del método Takakura.

- ✓ Procedimiento: Cada una de las soluciones se mezclan por separado en sus respectivos recipientes, agitándolos 2 veces por día, durante un periodo de 7 días consecutivos.

- Paso 2: Preparación del sustrato utilizado
 - ✓ Se obtienen los materiales, siendo estas cascarillas de arroz, pulpa de café previamente composteada y afrecho.
 - ✓ Se elaboran dos lienzos de papel periódico.
 - ✓ Procedimiento: Los materiales fueron mezclados y además se incorporó la solución salada y dulce previamente fermentada, tratando de humedecer los materiales con dichas soluciones. Luego de mezclar y humedecer correctamente los materiales se colocaron sobre un lienzo de papel periódico a reposar y el segundo lienzo sobre la mezcla, con la finalidad de evitar el daño por insectos (moscas y hormigas), dejando reposar durante un período de 7 días.



Figura 3. Preparación de la activación de los microorganismos aeróbicos (Takakura).

Durante los siete días de fermentación, se monitoreó diariamente para verificar el proceso y aparición de microorganismos, siendo identificados con una apariencia blancuzca de moho y de tela de araña. Esto indicó que el método de descomposición aeróbico por fermentación “Takakura”, está listo para iniciar a descomponer los residuos sólidos orgánicos domiciliarios.



Figura 4. Aparición de microorganismos aeróbicos (Takakura).


9.1.3. Tratamientos evaluados

En el cuadro 1, se muestra la descripción e ilustración de los cuatro tratamientos evaluados:

Cuadro 1. Descripción de tratamientos y modelos que fueron evaluados.

Tratamientos	Descripción	Ilustración de tratamientos
Tratamiento T1	Constituida por 2 recipientes plásticos horizontales, apilados una sobre otra. El recipiente inferior fue un reservorio de humus líquido, para ello tuvo un drenaje de ½ pulgada, el recipiente superior contenía 1 kg de Lombriz Coqueta Roja y residuos sólidos orgánicos domiciliarios, esta tenía orificios en la parte del fondo de 1/8 de pulgada.	<p>Caja 2. Lombriz Coqueta Roja, Residuos sólidos orgánicos y pulpa de café.</p> <p>Caja 1. Reservorio de humus líquido.</p> <p>Drenaje de Humus líquido.</p>

<p>Tratamiento T2</p>	<p>Constituida por 2 recipientes verticales apilados una sobre otro. El recipiente inferior (No. 1), se utilizó como reservorio de humus líquido, con un drenaje de $\frac{1}{2}$ pulgada, el recipiente (No. 2) fue constituido por un sustrato con 1 kilogramo de Lombriz Coqueta Roja y residuos sólidos orgánicos domiciliarios, se realizaron orificios en el fondo del recipiente 2 de $\frac{1}{8}$ de pulgada.</p>	
<p>Tratamiento T3</p>	<p>Constituida por un recipiente plástico horizontal con orificios alrededor de sus lados y parte inferior. El recipiente fue forrado de cartón en la parte interior, donde fue colocado el método Takakura, siendo 6 libras de sustrato preparado, así mismo se colocó una manta como tapadera, sujeta en la parte superior con elástico.</p>	

<p>Tratamiento T4</p>	<p>Compostera constituida por 1 recipiente cilíndrico con orificios en sus paredes. El recipiente se forró con cartón en la parte interior, debido a que el método utilizado para este modelo es aeróbico denominado Takakura, compuesto de 6 libras de los materiales, así mismo se colocó una tapadera de manta con elástico alrededor para sostenerla, con la finalidad que de esta manera se tuviera la aireación necesaria y de igual forma prevenir el contacto con insectos, principalmente moscas, las cuales afectarían el proceso de descomposición del compostaje.</p>	
-----------------------	---	--

9.1.4. Ubicación del área experimental

La evaluación en campo de los dos modelos y dos métodos de compostaje se estableció en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula (Anexo 6).

9.1.5 Tratamientos evaluados

Cuadro 2. Número de tratamientos y factores evaluados.

Tratamientos	Factores a evaluar	
	Modelo de compostera	Método de compostaje
T1	Horizontal	Lombricompost
T2	Vertical	Lombricompost
T3	Horizontal	Takakura
T4	Vertical	Takakura

9.1.6. Diseño experimental y modelo estadístico

Para la investigación se utilizó el diseño experimental en Bloques Completos al Azar (BCA) con arreglo bifactorial 2x2, conformado por 4 tratamientos y 5 repeticiones (Reyes, 2009).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

- Y_{ijk} = La puntuación del i sujeto bajo la combinación del j valor del factor A y el k valor del factor B.
- μ = Media común a todo los datos del experimento.
- α_j = Efecto o impacto del j nivel de la variable del factor A.
- β_k = Efecto del k valor de la variable de tratamiento B.
- $(\alpha\beta)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j valor de A y el k valor de B.
- ε_{ijk} = Error experimental o efecto aleatorio de muestreo.

Cada unidad experimental constituida por una compostera correspondiente según su método de compostaje, el área experimental fue de 72 m² (9 m de ancho por 8 m de largo), donde se utilizaron calles de 1 metro de ancho, con el propósito que facilitara el acceso a trabajar con carreterillas, cajas, herramientas o cualquier movimiento, a continuación se muestra la distribución de los tratamientos en la figura 5.

Modelos	Métodos	Tratamientos	Repeticiones				
			R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
Modelo 1 (Rectangular)	Método 1 (Lombricompost)	T ₁	T ₁ R ₁	T ₁ R ₂	T ₁ R ₃	T ₁ R ₄	T ₁ R ₅
Modelo 2 (Cilíndrico)	Método 1 (Lombricompost)	T ₂	T ₂ R ₁	T ₂ R ₂	T ₂ R ₃	T ₂ R ₄	T ₂ R ₅
Modelo 1 (Rectangular)	Método 2 (Takakura)	T ₃	T ₃ R ₁	T ₃ R ₂	T ₃ R ₃	T ₃ R ₄	T ₃ R ₅
Modelo 2 (Cilíndrico)	Método 2 (Takakura)	T ₄	T ₄ R ₁	T ₄ R ₂	T ₄ R ₃	T ₄ R ₄	T ₄ R ₅

Figura 5. Distribución de los tratamientos y repeticiones.

9.1.7. Manejo del experimento

Los residuos sólidos orgánicos utilizados para evaluar los modelos y métodos de compostaje, se obtuvieron de 20 domicilios de la ciudad de Chiquimula, los cuales se recolectaron diariamente por un período de tres meses, tiempo que duró la prueba previa. Dichos residuos se prepararon utilizando una picadora de motor, con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas y de homogenizar la materia, lo cual aportó a la descomposición y aprovechamiento de los mismos, según el método de compostaje.

Para el funcionamiento de los tratamientos T1 y T2 fueron colocados en los recipientes superiores una capa de estiércol y sobre ésta una capa de residuos sólidos orgánicos domiciliarios debidamente triturados y para finalizar en la parte superior se agregó el sustrato. En los recipientes inferiores de ambos tratamientos, tuvieron la función de resguardar el humus líquido que fue generada por la actividad del recipiente superior en cada tratamiento.

Para los tratamientos T3 y T4, fueron colocadas una capa de residuos sólidos orgánicos domiciliarios debidamente triturados y la otra capa de material fue el método Takakura, ambos materiales se mezclaron para que se realizara la descomposición de los residuos antes mencionados.

Se regaron los tratamientos de acuerdo a la necesidad de humedad, realizando volteos diariamente luego de ingresar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios y de esta manera incorporarlos con cada uno de los métodos que se evaluaron.

9.1.8. Determinación de parámetros físicos en el proceso de compostaje

Para analizar el proceso de compostaje de los diferentes tratamientos se determinaron parámetros físicos y químicos los cuales fueron:

- **Temperatura:** Fueron determinadas con un termómetro en grados C° durante un período de tres meses.
- **pH:** Fueron determinados todos los días durante un período de 3 meses, a través de un potenciómetro.

- **Humedad:** El parámetro de humedad fue determinado a través de un medidor de humedad, durante 3 meses consecutivos.

Los parámetros de temperatura, pH y humedad, medidos durante el proceso de compostaje domiciliario, se realizaron por las mañanas, por un período de 3 meses de manera consecutiva en que se realizó la evaluación de los modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje.

9.1.9. Determinación de parámetros físicos y químicos

Se tomó una muestra de compost de cada uno de los tratamientos evaluados y se secó al aire, dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de CUNORI.

- ✓ Macronutrientes : Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio
- ✓ Micronutrientes: Hierro, Cobre, Zinc,
- ✓ Propiedades químicas: Conductividad eléctrica, Humedad, Materia orgánica y Relación carbono nitrógeno.
- ✓ Propiedades físicas: Densidad aparente, Densidad real y Espacio poroso total

9.1.10. Análisis de resultados

Los resultados de las variables monitoreadas durante el proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios y además los resultados del laboratorio del compost, se identificó el modelo y método de compostaje apto para implementarse en los domicilios de la ciudad de Chiquimula.

Se realizó un análisis descriptivo del proceso general de compostaje con base a temperatura, humedad y pH del proceso, además se realizó el análisis estadístico mediante el análisis de varianza (ANDEVA) de las propiedades físicas químicas obtenidas en el laboratorio para cada uno de los tratamientos, para lo anterior se utilizó el programa InfoStat, tanto para el análisis de varianza como para el test de comparaciones múltiples LSD Fisher.

9.2. Evaluación económica de los tratamientos a través del método de presupuestos parciales.

Se elaboró una comparación de gastos e ingresos de cada uno de los tratamientos, con el fin de identificar el modelo y método de mayor rentabilidad y más eficaz.

9.3. Determinar el grado de aceptación

Para la implementación del tratamiento seleccionado en catorce domicilios de la Ciudad de Chiquimula, con las familias que apoyaron la implementación del proceso de compostaje se realizó una reunión en donde se dio a conocer el manejo adecuado del modelo y método de compostaje a emplearse, se estableció un compromiso con las familias seleccionadas para el manejo de las mismas y se monitoreó semanalmente el proceso.

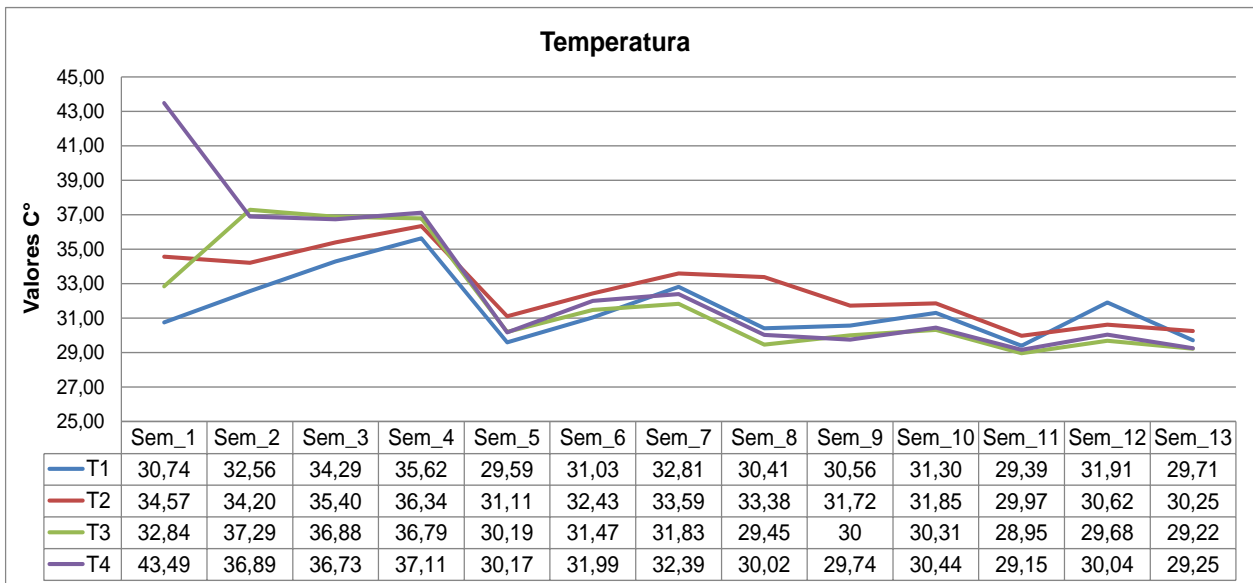
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Análisis del proceso de compostaje con base a la temperatura, pH y humedad

Durante el proceso de compostaje de 90 días (13 semanas) se midieron diariamente los parámetros temperatura, potencial de hidrógeno (pH) y humedad. Estos parámetros fueron esenciales para analizar el comportamiento del proceso de compostaje.

10.1.1. Temperatura en el proceso de compostaje

En la gráfica 1, se muestran los promedios de temperatura para cada uno de los cuatro tratamientos. El proceso de compostaje en la etapa mesófila que se caracteriza por el aumento rápido de la temperatura de los materiales compostados a temperatura ambiente, donde se observa un aumento normal de la temperatura en las dos primeras semanas para todos los tratamientos, exceptuando el tratamiento T4 que inició con una temperatura de 43.49 °C; la elevada temperatura en dicho tratamiento se debió al tipo de recipiente utilizado (modelo vertical cilíndrico) que provocaba apilamiento vertical del material en comparación con la forma horizontal de los tratamientos T1 y T3.



Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura en los cuatro tratamientos evaluados.

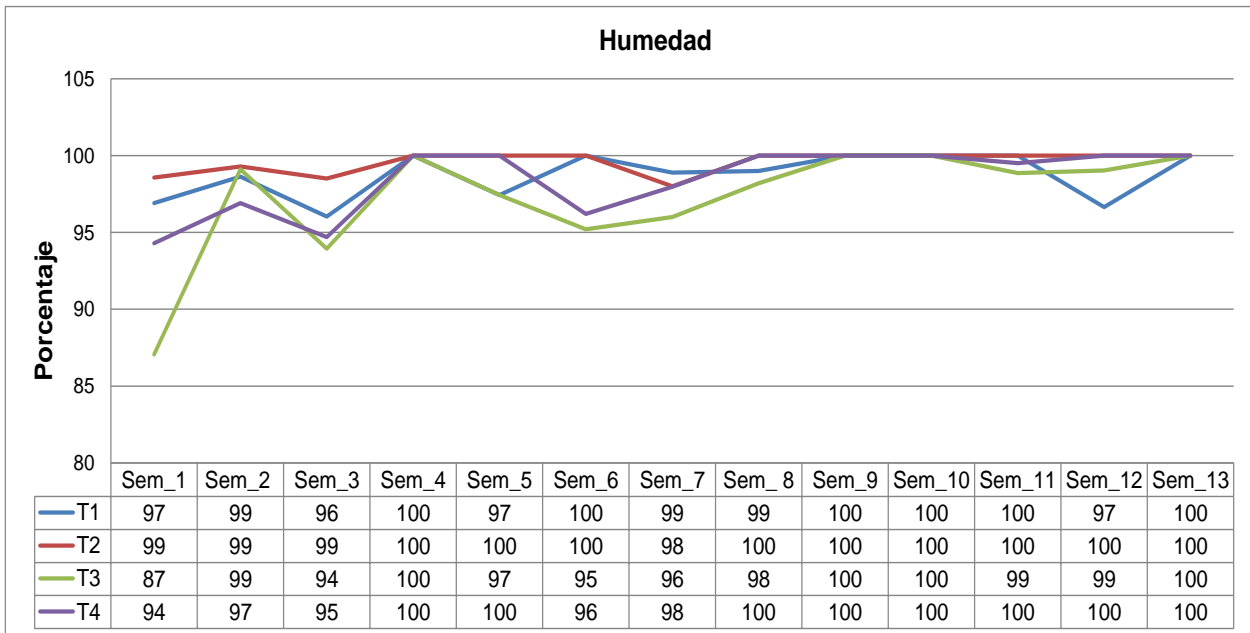
Se observó un aumento de la temperatura hasta la cuarta semana, que coincide con la fase termófila del proceso de compostaje, en esta fase se esperan temperaturas superiores a los 45 °C y cercanas a los 60 °C, sin embargo en el presente estudio no superaron los 40 °C, debido a la humedad de los materiales cercanas al cien por ciento debido a la precipitación que se presentó en período de evaluación.

En la etapa final del compostaje la temperatura descendió y al finalizar el proceso en la semana 13, la temperatura máxima fue de 29.71 °C en el tratamiento T2, seguido por los tratamientos T1 con 29.71 °C, tratamiento T4 con 29.25 °C y el tratamiento T3 siendo 29.22 °C, se puede concluir que los resultados de los tratamientos en cuanto a temperatura se encontraron dentro del rango aceptable al finalizar el proceso.

10.1.2. Porcentaje de humedad en el proceso de compostaje

El porcentaje de humedad adecuado en el proceso de compostaje es 55%; en la gráfica 2, se observa que la humedad en los tratamientos evaluados superan el 55%, siendo la humedad menor al inicio del proceso de compostaje de 87% correspondiente al tratamiento T3, la mayor humedad se presentó en los tratamientos T1 (97%), tratamiento T2 (99%) y tratamiento T4 (94%).

La alta humedad en los tratamientos se debe a dos factores: El experimento se estableció bajo casa sombra, y la época lluviosa fue intensa durante la fase de campo. Por lo tanto fue necesario tapar los contenedores utilizando nylon, ello provocó una alta concentración de humedad en cada tratamiento al evaluar.



Gráfica 2. Comportamiento del porcentaje de humedad en el proceso de compostaje.

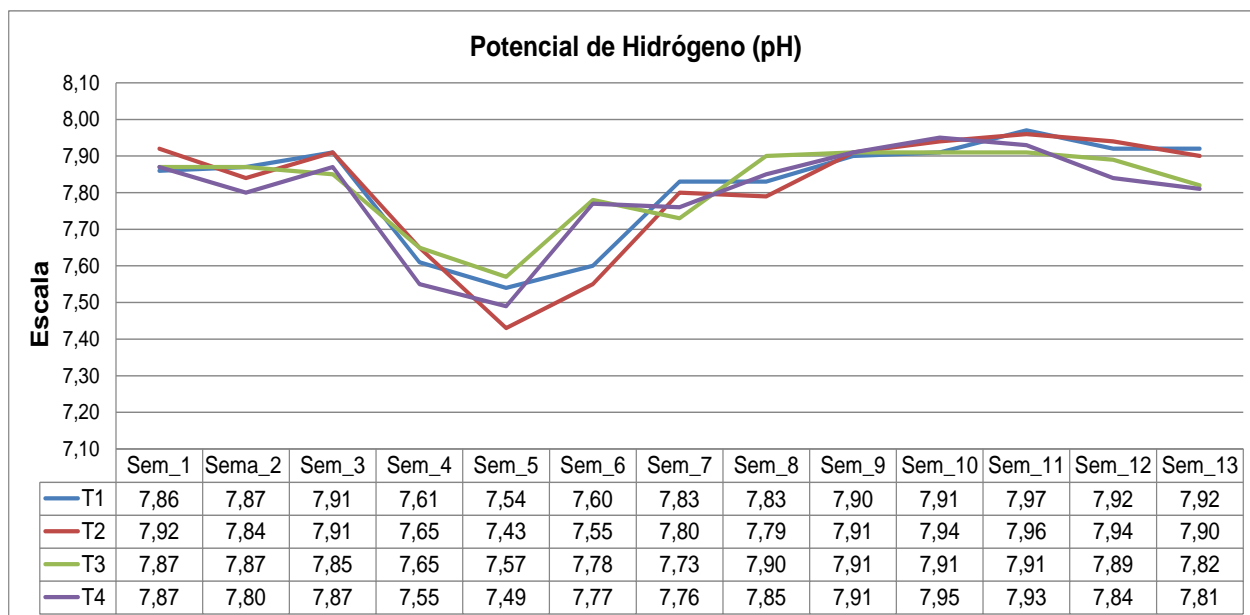
El contenido de humedad es crítico en el proceso de compostaje, debido a las intensas lluvias presente en el período de investigación que fue normal comparado con años anteriores donde se presentó sequia; sin embargo debido a que todos los tratamientos fueron sometidos a las mismas condiciones ambientales los resultados se consideran confiables.

10.1.3. Potencial de hidrógeno (pH) en el proceso de compostaje

El rango adecuado del pH en el proceso de compostaje varía de 4.5 a 8.5 unidades; en la primera etapa de descomposición se espera un pH ácido debido a la generación de ácidos orgánicos, sin embargo los tratamientos evaluados presentaron pH de 7.86 a 7.92 unidades, que corresponden a la etapa mesófila del proceso, esto posiblemente se debe a la temperatura que no superaron los 50 °C y al alto nivel de humedad (Gráfica 3).

Al inicio de la fase termófila, entre las semanas 2 y 5 el proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos, tiende a disminuir el pH, debido a las altas temperaturas

en este período, siendo en promedio 7.43 a 7.91 unidades, asimismo en la fase de enfriamiento el parámetro de pH tiende a neutralizarse y terminando en la última semana con un rango promedio de 7.81 a 7.92 unidades, con estos valores se puede concluir que tienen un rango aceptable para el compost obtenido, además los 4 tratamientos evaluados tuvieron en cada una de las fases del proceso de compostaje el mismo comportamiento (Gráfica 3).



Gráfica 3. Comportamiento del potencial de hidrógeno (pH) de los tratamientos evaluados.

El proceso de compostaje fue afectado por las lluvias en el período de evaluación; las lluvias que se presentaron en esta época fueron muy frecuentes, lo que no permitió anticiparse a la colocación del experimento bajo una cubierta impermeable; sin embargo, todos los tratamientos fueron sometidos a las mismas condiciones medio ambientales y se considera que no existe un sesgo para favorecer ningún tratamiento.

10.1.4. Calidad física - química del compost

Se determinaron las propiedades físicas y químicas del compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios; los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente (CUNORI).

a. Características físicas generales del compost

En el cuadro 3, se presentán los valores promedio de las propiedades físicas del compost para cada uno de los tratamientos:

Cuadro 3. Propiedades físicas del compost de los tratamientos evaluados.

Propiedades físicas		Rangos	Tratamientos			
			T1	T2	T3	T4
Densidad aparente g/cc	Da	<0,40	0,68	0,72	0,28	0,27
Densidad real g/cc	Dr	1,45 - 2,65	1,38	1,14	1,19	1,21
Espacio poroso total g/cc	EPT	>85	50,56	36,56	76,51	77,32

La densidad real en los cuatro tratamientos presentaron valores inferiores al rango permisible siendo 1.45 – 2.65 g/cc, lo cual indica que los materiales procesados tienen bajo peso debido al tipo de material orgánico procesado. Los resultados del espacio poroso total para los tratamientos T3 (76.51%) y T4 (77.32%), muestran ser aceptables, por lo que los tratamientos T1 (50.56%) y T2 (36.56) son inferiores al rango, presentando valores apropiados los tratamientos con el método “Takakura”.

Los tratamientos T1 y T4 exceden los valores de densidad aparente deseados, esto debido probablemente a que el método de lombricultura se mostró un poco más lento para el proceso de compostaje de los desechos utilizados. Los tratamientos T3 con (0.28 g/cc) y T4 (0.27 g/cc) están en el rango adecuado considerando el método “Takakura” como el que presentó mejores resultados, debido a la rápida descomposición de los residuos al finalizar el proceso.

Cuadro 4. Análisis de varianza de las propiedades físicas del compost obtenido de los tratamientos evaluados.

Propiedades físicas	Coeficiente de variación (%)	F.V.				Prueba de comparación de medias			
		Valor de probabilidad (p-valor)							
		Bloques	Modelos	Métodos	Combinación de modelos/métodos				
Densidad aparente (Da)	16,77	0,3298	0,6317	<0,0001	<0,0001	(a) T2	(a) T1	(b) T3	(b) T4
Densidad real (Dr)	4,84	0,0261	0,0015	0,0468	0,0004	(a) T1	(b) T4	(b) T3	(b) T2
% Espacio poroso total (EPT)	13,39	0,2735	0,0926	<0,0001	0,0628	(a) T4	(a) T3	(b) T1	(c) T2

Los valores de probabilidad (p-valor) para modelos métodos y combinación entre modelos y métodos de las propiedades físicas (densidad aparente, densidad real y % espacio poroso total) mostraron diferencias significativas debido a ser inferiores a valor de significación de (0.05), sin embargo para los métodos evaluados en densidad aparente y porcentaje de espacio poroso total tienen diferencia altamente significativa.

En la comparación de medias, la densidad aparente en los tratamientos T1 y T2 mostraron ser mayores a diferencia de los demás tratamientos evaluados, sin embargo ambos tratamientos no mostraron tener diferencia significativa.

Los resultados de medias de la densidad real, indican que el valor más alto corresponde al tratamiento T1, indicando diferencia significativa a comparación de los tratamientos T2, T3 y T4.

Las medias con diferencia significativa del porcentaje del espacio poroso total, corresponden a los tratamientos T4 y T3, las cuales no muestran ser significativamente diferentes, sin embargo las medias de los tratamientos T1 y T2, tienen diferencia significativa y ambos tratamientos se encuentran por debajo de los resultados de medias de los demás tratamientos (Cuadro 4) (Anexo 27 al 34).

b. Características químicas

Las propiedades químicas generales del compost obtenido para cada tratamiento se presentan a continuación:

Cuadro 5. Propiedades químicas generales del compost obtenido.

Propiedades químicas		Rangos			Tratamientos			
		Bajo	Medio	Alto	T1	T2	T3	T4
Conductividad eléctrica S/cm	CE	0 - 1,000	1,000 - 2,000	2,000	1.648	0.485	1.687	1.912
Humedad %	H°	10.0 - 25.0	25 - 50	50	12.98	14.02	18.94	18.55
Materia orgánica %	MO	35 - 50	50 - 65	65 - 80	47.77	46.01	71.96	71.74
Relación Carbono/Nitrógeno	Relación C/N	25 - 35			13	11	15	15

De manera general el compost obtenido en los tratamientos evaluados presentan características químicas aceptables; la conductividad eléctrica en todos los tratamientos es baja, esto se debe al tipo de material utilizado para compostaje que pueda ser bajo en cationes y aniones presentes como nutrientes, así mismo los porcentajes de humedad se encuentran bajos, con un nivel cerca del 19%, lo anterior debido al tiempo transcurrido desde la toma de muestras hasta el análisis de laboratorio.

La materia orgánica se ve influenciada por el tipo de tratamiento, como es observado en el cuadro 5, los tratamientos T2 y T1 se encuentran bajos y el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de materia orgánica con un 71.96%, seguido del tratamiento T4 con 71.74%.

Los tratamientos con menor cantidad de materia orgánica son los tratamientos T1 y T2, ambos con el método de lombricompost, esto posiblemente al consumo de materia orgánica por las lombrices, las cuales se quitaron al momento de realizar el análisis y los tratamientos T3 y T4 con el método "Takakura" presentaron alto contenido de materia orgánica por el tipo de preparación, que conlleva cascarilla de arroz, afrecho, pulpa de café y hojarasca, que son de difícil descomposición en comparación con restos de frutas y verduras.

La relación carbono nitrógeno de los tratamientos es bajo, con resultados de 12 a 15, lo anterior muestra un desbalance de estos elementos, posiblemente se requeriría más tiempo para una mejor descomposición de los residuos.

Considerando la humedad, conductividad eléctrica y la relación carbono-nitrógeno se encuentran inferiores al rango deseado para todos los tratamientos, se utilizó el porcentaje de materia orgánica como factor de selección de los tratamientos, siendo seleccionados los tratamientos T3 y T4.

Cuadro 6. Análisis de varianza de las propiedades químicas de los tratamientos.

Propiedades químicas	Coeficiente de variación (%)	F.V.				Prueba de comparación de medias			
		Valor de Probabilidad (p-valor)							
		Bloques	Modelos	Métodos	Combinación de modelos/métodos				
Conductividad eléctrica (CE)	16,62	0,5336	0,0009	<0,0001	<0,0001	(a) T4	(a) T3	(a) T1	(b) T2
% Humedad	5,14	0,1594	0,3997	<0,0001	0,0764	(a) T3	(a) T4	(b) T2	(b) T1
% Materia orgánica (MO)	7,72	0,3021	0,3021	<0,0001	0,7139	(a) T3	(a) T4	(b) T1	(b) T2

Se observa que existe diferencia altamente significativa en el modelo y para la combinación del modelo y del método de compostaje en la conductividad eléctrica; también existe diferencia altamente significativa en los métodos para el caso de la humedad y el porcentaje de materia orgánica, asimismo se observa que el método “Takakura” es mayor al lombricompost en cuanto a sus propiedades químicas.

Las medias de las propiedades químicas indican que los tratamientos T3 y T4 tienen diferencia significativa en cuanto a los tratamientos T1 y T2, sin embargo, las medias del tratamiento T3 y tratamiento T4 no son significativamente diferentes (Cuadro 5 y 6) (Anexo 21 al 26).

c. Contenido de macronutrientes y micronutrientes

En el cuadro 7, se presenta el contenido de macronutrientes y micronutrientes de cada tratamiento evaluado:

Cuadro 7. Contenido de (macronutrientes y micronutrientes) de los tratamientos.

Contenido de nutrientes		Rangos			Tratamientos			
		Bajo	Medio	Alto	T1	T2	T3	T4
Macronutrientes %	N	0,5 - 1,5	1,5 - 3	3	2,32	2,63	3,17	3,13
	P	0,5 - 1	1,0 - 2,0	2	0,05	0,06	0,08	0,81
	K	0,02 - 0,16	0,15 - 0,3	0,3	2,58	1,18	2,79	3,01
	Ca	0,6 - 1,5	1,5 - 3,5	3,5	0,25	0,26	0,22	0,01
	Mg	0,1 - 0,25	0,25 - 0,4	0,4	0,001	0,001	0,002	0,002
Micronutrientes ppm	Fe	1,000 - 8,000	8,000 - 13,000	15,000	611,94	611,94	963,25	847
	Cu	100 - 600	600 - 1,200	>1,200	0	0	0	0
	Zn	100 - 1,200	1,200 - 2,000	>1,200	4,12	4,51	32,39	111,64

De manera general, el compost obtenido en los tratamientos evaluados presentan características químicas aceptables; la conductividad eléctrica en todos los tratamientos es baja, esto se debe al tipo de material utilizado para compostaje que pueda ser bajo en cationes y aniones presentes como nutrientes, asimismo los porcentajes de humedad se encuentran bajos, con un nivel cerca del 19%, lo anterior debido al tiempo transcurrido desde la toma de muestras hasta el análisis de laboratorio.

La materia orgánica se ve influenciada por el tipo de tratamiento, como es observado en el cuadro 5, los tratamientos T2 y T1 se encuentran en un rango bajo y el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de materia orgánica con un 71.96%, seguido del tratamiento T4 con 71.74%.

Los tratamientos con menor cantidad de materia orgánica son los tratamientos T1 y T2, ambos con el método de lombricompost, esto posiblemente al consumo de material orgánica por las lombrices, las cuales se quitaron al momento de realizar el análisis y los tratamientos T3 y T4 con el método "Takakura" presentaron alto contenido de materia orgánica por el tipo de preparación, que conlleva cascarilla de arroz, afrecho, pulpa de café y hojarasca, que son de difícil descomposición en comparación con restos de frutas y verduras.

La relación carbono nitrógeno de los tratamientos se encuentra por debajo del rango bajo, con un valor de 13 como mínimo del tratamiento T1 y 15 como máximo de los tratamientos T3 y T4; lo anterior muestra un desbalance de estos elementos, posiblemente se requeriría más tiempo para una mejor descomposición de los residuos.

Considerando que la humedad, la conductividad eléctrica y la relación carbono-nitrógeno presentaron valores bajos, se utilizó el contenido de materia orgánica para seleccionar el tratamiento con mejores propiedades químicas siendo esto los tratamientos T3 y T4.

El contenido de macro y micronutrientes en el compost obtenido de los tratamientos, está relacionado con el tipo de sustrato compostado, es decir que, los elementos encontrados como el fósforo, calcio, magnesio, hierro y zinc, se comportaron ligeramente similar en los tratamientos evaluados (Cuadro 6).

Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de macronutrientes y micronutrientes con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Nutrientes		Coeficiente de variación (%)	F.V.				Prueba de comparación de medias			
			Valor de probabilidad (p-valor)							
			Bloques	Modelos	Métodos	Combinación de modelos/método				
Macronutrientes	Fósforo	9,29	0,5332	0,4787	<0,0001	0,4442	(a) T3	(a) T4	(b) T2	(b) T1
	Potasio	10,67	0,0350	0,0002	<0,0001	<0,0001	(a) T4	(ab) T3	(b) T1	(c) T2
	Calcio	23,07	0,6335	0,0132	0,0013	0,0003	(a) T4	(b) T1	(b) T3	(b) T2
	Magnesio	28,28	0,1187	0,5226	<0,0001	0,7077	(a) T4	(a) T3	(b) T2	(b) T1
Micronutrientes	Hierro	11,71	0,5943	0,1661	0,0004	0,4611	(a) T4	(a) T3	(b) T2	(b) T1
	Cobre	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
	Zinc	7,51	0,1683	<0,0001	<0,0001	<0,0001	(a) T4	(b) T3	(c) T2	(c) T1

Los coeficientes de variación (CV) para los macronutrientes y micronutrientes, se encuentran dentro del rango permisible debido a que el máximo es de 25% para este tipo de investigaciones con los cual se concluye que los resultados obtenidos del laboratorio son confiables y que se realizó un adecuado manejo del experimento en la fase de evaluación de los modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje.

De acuerdo al análisis de varianza que se presenta en el cuadro 8, el valor de probabilidad (p-valor) para nutrientes presentan diferencia altamente significativa para métodos son fósforo, potasio, magnesio y zinc, exceptuando hierro y calcio que obtuvieron diferencia significativa, asimismo el valor de probabilidad para modelos da como resultado para el contenido de zinc diferencia altamente significativa y para la combinación entre modelos y métodos existe diferencia altamente significativa en potasio, calcio y zinc.

En ninguno de los tratamientos se encontró cobre en los análisis de compost efectuados en el laboratorio del Centro Universitario de Oriente (Cuadro 7) (Anexo 8 al 21).

10.2. Análisis económico

10.2.1. Presupuesto parcial

Para determinar el presupuesto parcial de cada tratamiento, se utilizó el rendimiento lo cual permitió identificar los ingresos, así mismo se determinaron los costos variables, para luego obtener el beneficio bruto y los beneficios netos; como se muestra en el cuadro 9:

Cuadro 9. Presupuesto parcial de los tratamientos evaluados.

No.	Indicadores	T1	T2	T3	T4
1	Rendimiento qq/año/tratamiento	5.1	4.6	4.9	4.7
2	Ingreso total Q/año/tratamiento	409.00	368.00	390.00	378.00
3	Costos Variables Totales (Q)	180.00	180.00	168.00	168.00
4	Lombriz	40.00	40.00	—	—
5	Pulpa de café	20.00	20.00	—	—
6	Microorganismos (Takakura)	—	—	48.00	48.00
7	Limpias del terreno	120.00	120.00	120.00	120.00
8	Beneficio Bruto (Q) (2 - 3)	229.00	188.00	222.00	210.00
9	Cotos Fijos (Q)	247.50	177.50	121.50	116.50
10	Beneficios Netos Totales (Q) (9 - 10)	-18.50	10.50	100.50	93.50
El precio del qq de compost en el año fue de Q.80.00; Medidas de capacidad de los recipientes: T1 y T3 (caja rectangular) = 0.072 m ³ , T2 y T4 (cubeta cilíndrica) = 0.026 m ³ .					

Según los resultados del cuadro anterior, los tratamientos que presentan mayor ingreso son los tratamientos T1 (Q. 409.00) seguido por el tratamiento T3 (Q390.00), los tratamientos T2 y T4 fueron inferiores. Asimismo los costos variables fueron calculados por los costos de mantenimiento y gastos del método de descomposición utilizado, siendo los tratamientos de menor inversión los tratamientos T3 y T4, ambos con los mismos costos (Q. 168.00). Los costos fijos fueron los costos de materiales, equipo y herramientas utilizadas permanentemente para la implementación de las composteras domiciliarias, para lo cual el tratamiento T1 obtuvo la mayor cantidad de gasto fijo de (Q.247.50), seguido por el tratamiento T3 (Q. 204.00) y los tratamientos de menor costo fijo son el tratamiento T2 con (Q.177.50) y el tratamiento T4 (Q.199.00).

El tratamiento T1 es el que mayor beneficio bruto presentó, obteniéndose Q.229.00, seguido del tratamiento T3 con Q.222.00, tratamiento T4 con Q.210.00 y tratamiento T2 con Q.188.00.

El tratamiento T3 fue el mayor beneficio neto (Q.18.00) y el tratamiento T1 es el de menor beneficio neto (Q.-18.50); el valor negativo indica que en este tratamiento se obtienen pérdidas, porque los costos de producción son superiores a los ingresos; por lo tanto el tratamiento T3, presenta mejores beneficios que el resto.

10.2.2. Dominancia

Obteniendo los resultados del presupuesto parcial como costos variables y los beneficios netos, se calculó la dominancia de cada tratamiento evaluado.

Cuadro 10. Dominancia de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Costos variables	Beneficio neto	Dominancia
T3	168.00	100.50	ND
T4	168.00	93.50	D
T2	180,00	10,50	D
T1	180.00	-18.50	D

El análisis de dominancia indica que los tratamientos T1, T2 y T4 son dominados, el tratamiento T3 no está dominado, ya que este tiene el menor costo variable y los mayores beneficios netos, por lo tanto es el que mejor ventaja económica.

10.2.3. Indicadores Financieros

A cada uno de los tratamientos se le determinó el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo. Los resultados se muestran en el cuadro 11, donde se observa que el tratamiento T3, es el de mayor valor presente neto, mayor tasa interna de retorno y mayor beneficio costo.

Cuadro 11. Indicadores financieros por tratamiento evaluado.

No. Tratamiento	VPN (Q)	TIR	Relación B/C
T1	452.65	45%	1.69
T2	336.08	44%	1.52
T3	543.37	75%	1.70
T4	502.93	73%	1.66

10.3 Implementación y aceptabilidad de la compostera rectangular y el método de compostaje “Takakura”

10.3.1. Características generales de los entrevistados

De acuerdo a los resultados anteriores, para determinar la aceptabilidad del modelo y el método, se seleccionó el tratamiento T3, que corresponde un modelo de compostera rectangular y al método de compostaje “Takakura”. Para ello se identificaron 14 domicilios de las 7 zonas en la ciudad de Chiquimula (Anexo 7), en los cuales se implementó este tratamiento, para el manejo de los desechos sólidos orgánicos domiciliarios, dicho tratamiento se implementó por espacio de dos meses en cada domicilio, indicándole a los habitantes la forma de manejo y uso de este tratamiento.

Posteriormente mediante el uso de una encuesta, se evaluó la aceptabilidad de este tratamiento por parte de los usuarios (ver anexo 48); en dicho ejercicio participaron 14 personas, donde el 21% fueron hombres y el 79% fueron mujeres.

En el cuadro 12, se muestra el porcentaje de personas que participaron en la evaluación de acuerdo al rango de edad y género.

Cuadro 12. Variables de edad y género de personas que colaboraron en el uso y manejo de composteras domiciliarias utilizando el método Takakura en la ciudad de Chiquimula.

Variable de género		
Rango de edades	Género	
	Femenino	Masculino
20-30	50%	7,14%
30-40	7,14%	0%
40-50	0%	0%
50-60	7,14%	7,14%
60-70	14,29%	7,14%
Porcentaje	79%	21,42%
Total	100%	

Cuadro 13. Nivel de escolaridad y situación laboral de los participantes en el uso y manejo de las composteras domiciliarias.

Variable de características socioeconómicas						
Variables	Nivel de escolaridad				Trabaja	
	Primaria	Básico	Diversificado	Universidad	Si	No
Porcentaje	7.14%	7.14%	21.43%	64.29%	78.57%	21.43%
Total	100%				100%	

En el cuadro 13, se muestra las características socioeconómicas de los participantes en el ejercicio, donde se puede observar el nivel de escolaridad y su condición laboral.

10.3.2. Uso de la compostera y proceso de compostaje

En el cuadro 14, se presentan los resultados de las 10 preguntas formuladas a los 14 usuarios para evaluar su percepción con respecto al uso de este modelo y método de compostaje.

Cuadro 14. Resultados de preguntas con respecto al uso de la compostera y al proceso de compostaje implementado.

No.	Preguntas respecto al uso de la compostera y al proceso de compostaje	Si		No	
		No. Personas	%	No. Personas	%
1	¿Antes del uso de la compostera sus residuos sólidos presentaron problemas de insectos (moscas y hormigas) o malos olores?	14	100%	0	0%
2	¿Le parece que el manejo propuesto de la compostera requiere muchas horas semanales para realizarlo?	0	0%	14	100%
3	¿Le parece que el manejo propuesto de la compostera requiere mucho esfuerzo para realizarlo?	1	7.14%	13	92.86%
4	¿Se presentaron problemas de insectos (moscas y hormigas) en la compostera durante el tiempo de evaluación?	1	7.14%	13	92.86%
5	¿Se presentó presencia de malos olores en la compostera durante el tiempo de evaluación?	0	0%	14	100%
6	¿Considera útil el método Takakura para manejar adecuadamente los residuos sólidos orgánicos de su hogar?	14	100%	0	0%
7	¿El recipiente utilizado para el compostaje fue suficiente para procesar todos los residuos orgánicos de su hogar durante el tiempo evaluado?	14	100%	0	0%
8	¿Estaría dispuesto(a) a comprar una compostera igual a la utilizada en la evaluación por un monto de Q 100?	13	92.86%	1	7.14%
9	¿Le gustaría continuar utilizando la compostera por lo menos un año más?	13	92.86%	1	7.14%
10	¿Recomendaría el uso de la compostera a un vecino o familiar suyo?	14	100%	0	0%

Los resultados anteriores muestran que el 100% de las personas manifestó que este método es útil para el manejo de los residuos sólidos orgánicos en el hogar, así mismo aproximadamente el 93% están dispuestos a adquirir la compostera con estas características.

El 100% de las personas manifestó no tener problema con los malos olores a pesar del proceso de descomposición de los residuos sólidos orgánicos que se incorporaron, debido a que fueron provenientes de las actividades domésticas en los domicilios de las personas participantes.

CONCLUSIONES

1. El modelo y método de compostaje que presentó mayor facilidad para el manejo de residuos sólidos orgánicos domiciliarios, durante la fase de monitoreo y evaluación fue el tratamiento T3, conformado por el modelo de forma rectangular y el método de descomposición por fermentación “Takakura”.
2. Los resultados del laboratorio muestran que los tratamientos T3 (modelo rectangular y método “Takakura” y T4 (modelo cilíndrico y método de “Takakura”), son los que presentaron altos niveles de nutrientes como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y mayor porcentaje de materia orgánica.
3. De acuerdo al análisis de presupuestos parciales, el modelo rectangular y método “Takakura”, presentó altos beneficios netos totales; por su buen rendimiento de abono orgánico y el bajo costo de implementación.
4. El 100% de los entrevistados manifestó que el método Takakura, es útil para el manejo de los residuos sólidos orgánicos y el modelo de compostera rectangular es el indicado para manejar la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se producen en el hogar.
5. El 92% de los entrevistados manifestó que está dispuesto a continuar utilizando el modelo rectangular y método “Takakura”, y están dispuestos a pagar por este modelo y método.

RECOMENDACIONES

1. Divulgar los resultados de la investigación a nivel de barrios, colonias, zonas de la ciudad de Chiquimula, así como con instituciones gubernamentales y no gubernamentales.
2. El tratamiento T3, identificado por el modelo rectangular y por el método de descomposición por fermentación “Takakura”, es una herramienta eficaz para la descomposición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios (RSOD).
3. Para el manejo de desechos sólidos orgánicos a nivel domiciliario, utilizar un modelo de compostera rectangular y el método de descomposición Takakura, el cual demostró ser eficaz para dicho propósito.
4. Continuar con el desarrollo de investigaciones que permitan mejorar la eficiencia en el manejo adecuado de los residuos sólidos orgánicos a nivel domiciliario.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrigoni, JP. 2011. Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos (en línea). Tesis M.Sc. Neuquén, Universidad Nacional del Comahue. 126 p. Consultado 17 oct. 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Arrigoni/publication/230787246_Evaluacion_del_Desempeno_de_Diferentes_Prototipos_de_Compostadores_en_el_Tratamiento_de_Residuos_Organicos/links/09e415046178481314000000/Evaluacion-del-Desempeno-de-Diferentes-Prototipos-de-Compostadores-en-el-Tratamiento-de-Residuos-Organicos.pdf
- Ávila Herrera, BA. 2010. Trabajo de graduación desarrollado en el tema de transferencia de la técnica de manejo y producción a base de pulpa de café, con pequeños caficultores de la aldea las coles, San Pedro Necta, Huehuetenango (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 112 p. Consultado 3 oct. 2016. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2574.pdf
- Ayala Ruiz, G. 2009. Análisis del rol de la municipalidad en el manejo de los desechos sólidos domiciliarios en la ciudad de Chiquimula, Guatemala. Tesis M.Sc. Guatemala, USAC. 82 p. Consultado 10 oct. 2016. Disponible en: <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Godofredo-Ayala-Ruiz.pdf>
- Barrena Gómez, R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos: aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso (en línea). Tesis Dr. España, UAB. 315 p. Consultado 24 oct. 2015. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf;jsessionid=A54C18F4389DEF4960EC9641B795A74E.tdx1?sequence=1>

De La Cruz S, R. 2013. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema de Holdridge (en línea). Ortega A, JL (ed.). Guatemala, USAC-CUNORI. 28 p. Consultado 20 feb. 2017. Disponible en http://www.academia.edu/10497202/CLASIFICACION%3%93N_DE_ZONAS_DE_VIDA_DE_GUATEMALA

De Santos, S; Urquiaga, R. 2013. Compostaje y vermicompostaje domésticos (en línea). España, CENEAM. 10 p. Consultado 28 ene. 2017. Disponible en https://www.mapama.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2013-04-santos-urquiaga_tcm30-163607.pdf

García Alvares, JR. 2010. Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrológica superficial de la ciudad de Chiquimula (en línea). Tesis M.Sc. Guatemala, USAC. 87 p. Consultado 5 oct. 2016. Disponible en <http://postgrado.fausac.gt/wp-content/uploads/2016/09/Jos%C3%A9-Ramiro-Garc%C3%ADa-%C3%81lvarez.pdf>

Girón Y Girón, DE. 2011. Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula, 2009 (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 96 p. Consultado 4 oct. 2016. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Girn.D.2009.Evaluacin_Mapeo_AguaSubternea_Chiquimula.pdf

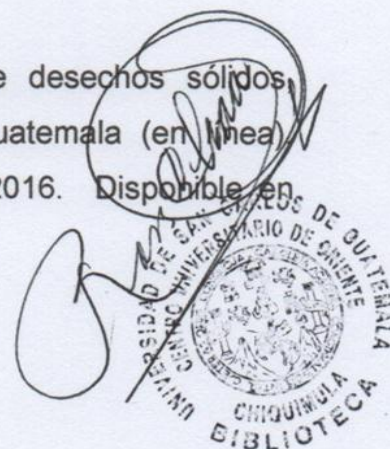
Hernández Solares, HL. 2008. Experiencias en la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos provenientes de mercados de la ciudad capital y su valor agronómico (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 47 p. Consultado 24 oct. 2015. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2457.pdf

- Honobe, Y. 2013. El método Takakura, herramienta de responsabilidad ambiental (en línea). Quito, Ecuador. 18 p. Consultado 20 feb. 2017. Disponible en https://issuu.com/fonag/docs/m_todo_takakura_1
- Jaramillo Henao, G; Zapata Márquez, LM. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia (en línea). Tesis M.Sc. Colombia, UA. 116 p. Consultado 27 sep. 2016. Disponible en <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Mancomunidad del Nor-Oriente de Guatemala. 2007. Plan de gestión integral de residuos (en línea). Chiquimula, Guatemala. 11 p. Consultado 24 oct. 2015. Disponible en <http://infoambiental.org/biblioteca/DESECHOSSOLIDOSCHIQUIMULA.pdf>
- Morales Aravena, VI. 2005. Efecto ambiental del uso de las composteras en el manejo integral de los residuos sólidos domésticos en una comuna urbano-rural (en línea). Tesis M.Sc. Santiago de Chile, Universidad de Chile. 143 p. Consultado 17 oct. 2016. Disponible en <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Morales%20Victoria.pdf>
- Ordóñez Palencia, CR. 2011. Costos de producción de la lombriz coqueta roja a través del método de órdenes específicas de engorde en una granja de lombricultura (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 147 p. Consultado 3 oct. 2016. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3750.pdf
- Reyes Mazariegos, MS. 2009. Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 189 p. Consultado 27 feb. 2017. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1138_Q.pdf

Rosales, AJ. 2011. Estudio de factibilidad técnica y económica de la producción de composteras domiciliarias (en línea). Tesis Lic. Córdoba, UNC. 72 p. Consultado 24 oct. 2015. Disponible en www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/acuerdos_trabajo/DTR2.pdf

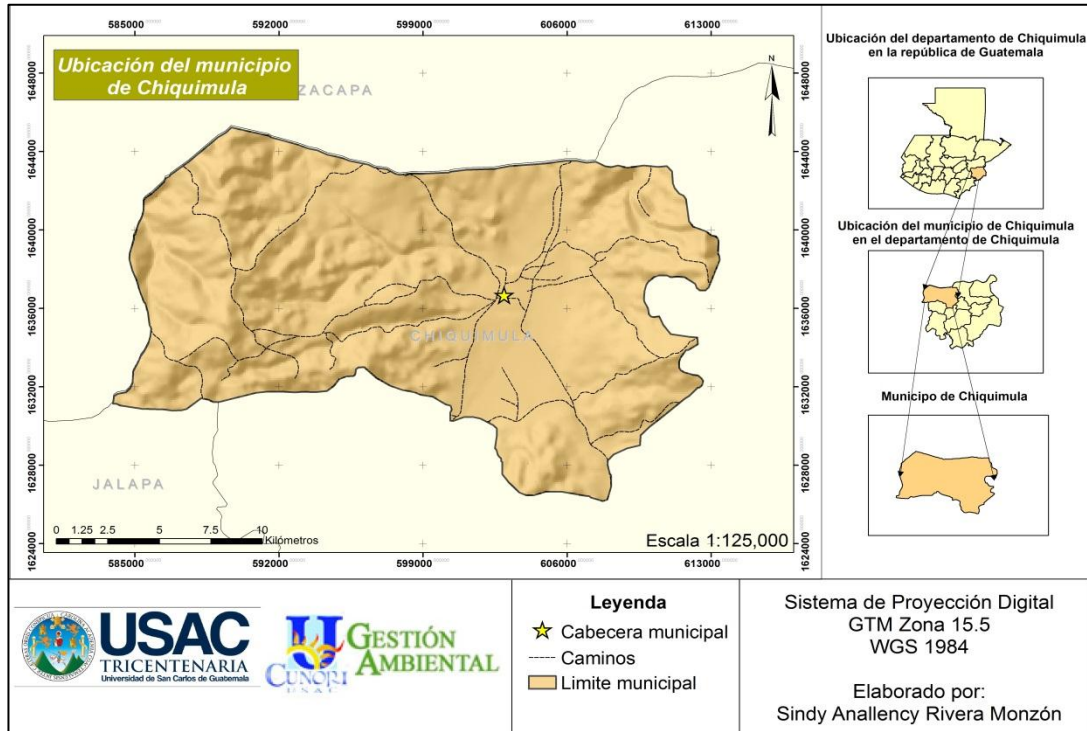
Sepúlveda Villada, LA; Alvarado Torres, JA. 2013. Manual de compostaje: manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá (en línea). Colombia, Acodal, Área Metropolitana Valle de Aburrá. 88 p. Consultado 27 oct. 2015. Disponible en <http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Cartillas/Manual%20Compostaje.pdf>

Villatoro Herrera, RR. 2004. Propuesta para el manejo de desechos sólidos generados en el asentamiento Tecún Umán, Chinautla, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Guatemala, USAC. 102 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2400_C.pdf

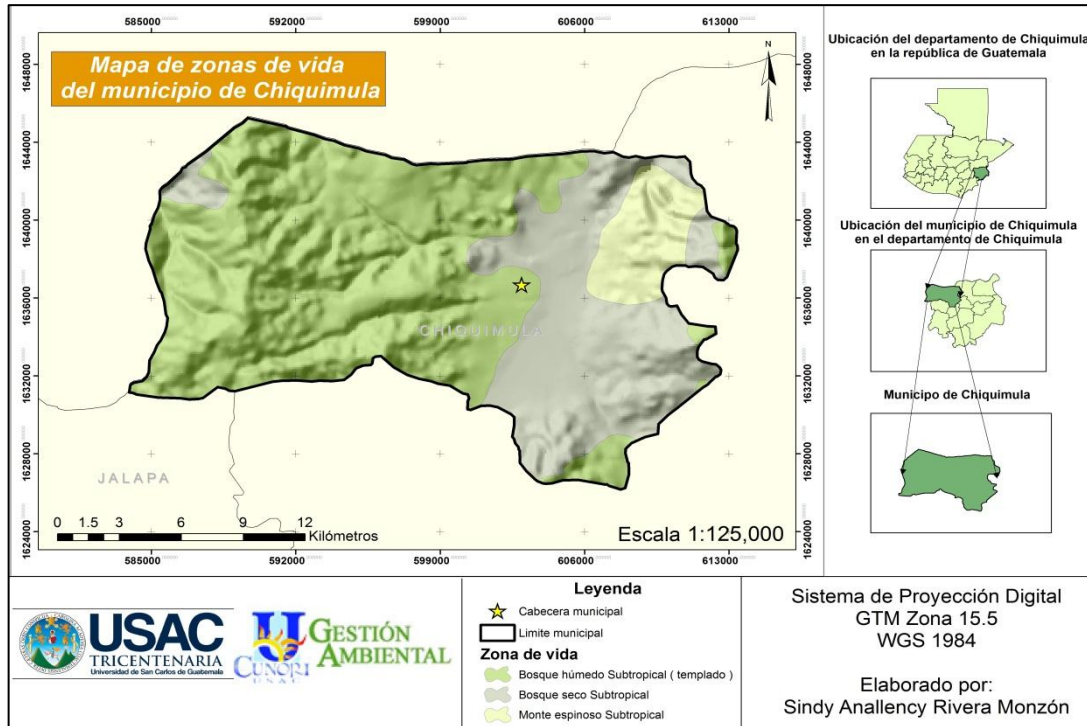


ANEXOS

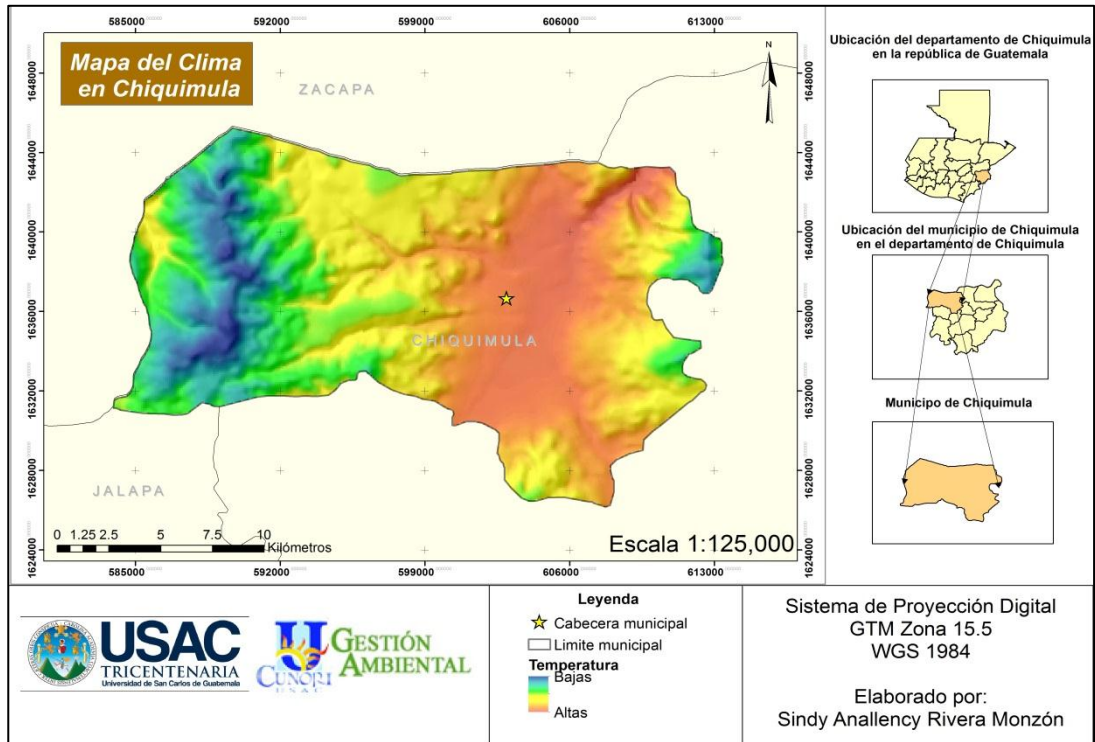
Anexo 1. Mapa de la ubicación del municipio de Chiquimula



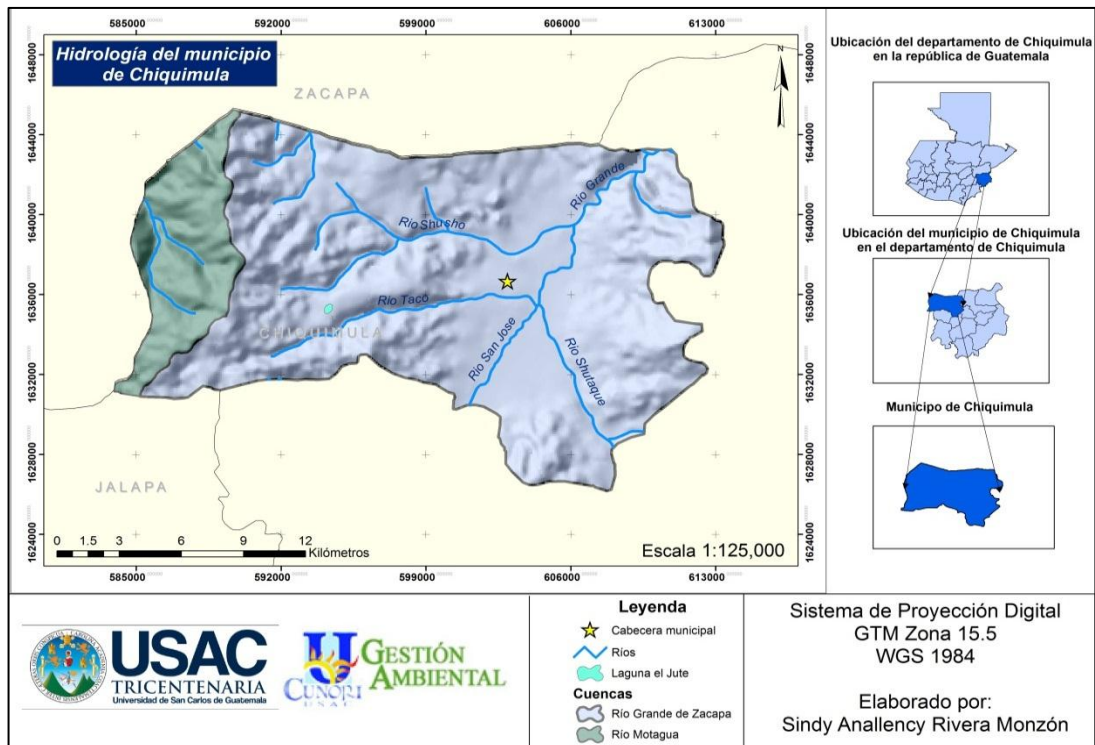
Anexo 2. Mapa de zonas de vida del municipio de Chiquimula.



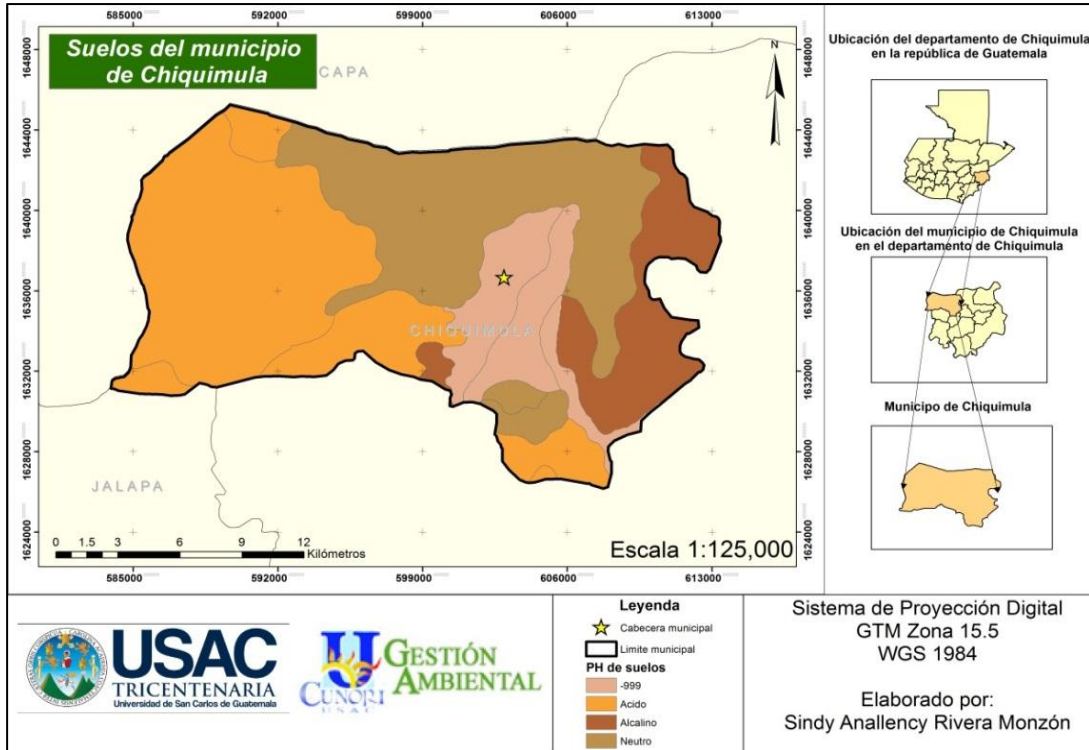
Anexo 3. Mapa del clima del municipio de Chiquimula.



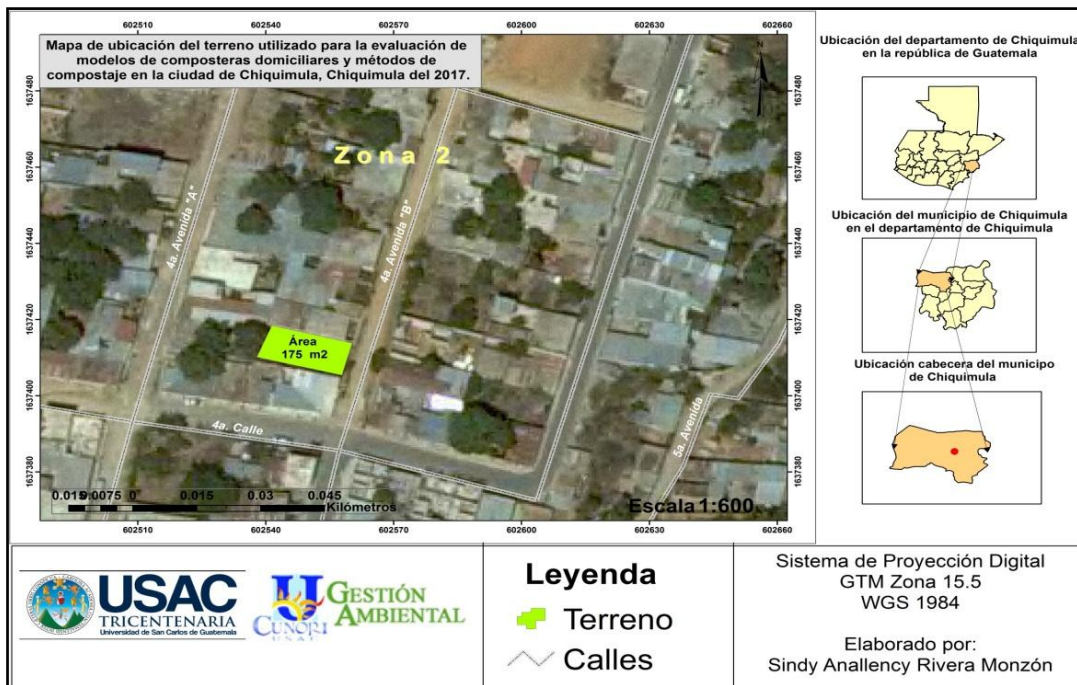
Anexo 4. Mapa de la red hidrológica del municipio de Chiquimula.



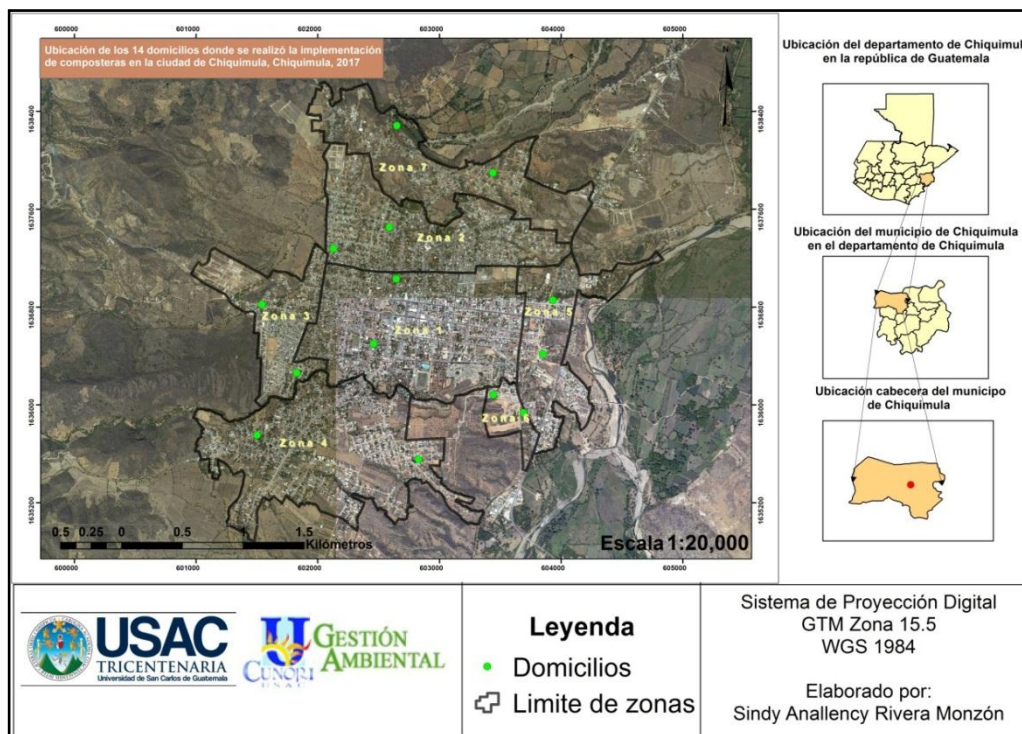
Anexo 5. Mapa de suelos del municipio de Chiquimula.



Anexo 6. Mapa de ubicación del terreno utilizado para la evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje en la ciudad de Chiquimula, Chiquimula del 2017.



Anexo 7. Mapa de ubicación de los 14 domicilios donde se realizó la implementación de composteras en la ciudad de Chiquimula, Chiquimula, 2017.



Anexo 8. Análisis de varianza del nutriente Fósforo (P).

Coeficiente de variación = 9,29 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	13311,73	4	3327,93	0,83	0,5332
Factor A	2152,81	1	2152,81	0,53	0,4787
Factor B	304427,81	1	304427,81	75,61	<0,0001
Factor A * Factor B	2520,01	1	2520,01	0,63	0,4442
Error	48317,93	12	4026,49		
Total	370730,31	19			

Anexo 9. Prueba de comparación de medias de fósforo con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 3	1,00	2,00	806,94	5	28,38	A
Tratamiento 4	2,00	2,00	805,24	5	28,38	A
Tratamiento 2	2,00	1,00	580,94	5	28,38	B
Tratamiento 1	1,00	1,00	537,74	5	28,38	B

Anexo 10. Análisis de varianza del nutriente Potasio (K).

Coeficiente de variación = 10,67 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	95874443,62	4	23968610,91	3,69	0,0350
Factor A	172688298,83	1	172688298,83	26,6	0,0002
Factor B	516058152,36	1	516058152,4	79,48	<0,0001
Factor A * Factor B	327468070,80	1	327468070,80	50,44	<0,0001
Error	77912317,71	12	6492693,14		
Total	1190001283,32	19			

Anexo 11. Prueba de comparación de medias de potasio con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2,00	2,00	30,068.50	5	1,139.53	A
Tratamiento 3	1,00	2,00	27,852.56	5	1,139.54	A B
Tratamiento 1	1,00	1,00	25,786.06	5	1,139.55	B
Tratamiento 2	2,00	1,00	11,816.38	5	1,139.56	C

Anexo 12. Análisis de varianza del nutriente Calcio (Ca).

Coeficiente de variación = 23,07 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	7,04	4	1,76	0,66	0,6335
Factor A	22,62	1	22,62	8,45	0,0132
Factor B	46,79	1	46,79	17,47	0,0013
Factor A * Factor B	66,74	1	66,74	24,92	0,0003
Error	32,14	12	2,68		
Total	175,32	19			

Anexo 13. Prueba de comparación de medias de calcio con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2,00	2,00	11,51	5	0,73	A
Tratamiento 1	1,00	1,00	6,33	5	0,73	B
Tratamiento 3	1,00	2,00	5,73	5	0,73	B
Tratamiento 2	2,00	1,00	4,80	5	0,73	B

Anexo 14. Análisis de varianza del nutriente Magnesio (Mg).

Coeficiente de variación = 28,28 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	167,62	4	41,91	2,30	0,1187
Factor A	7,91	1	7,91	0,43	0,5226
Factor B	923,23	1	923,23	50,65	<0,0001
Factor A * Factor B	2,69	1	2,69	0,15	0,7077
Error	218,75	12	18,23		
Total	1320,2	19			

Anexo 15. Prueba de comparación de medias de magnesio con LSD Fisher (a=0,05).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2,00	2,00	22,89	5	1,91	A
Tratamiento 3	1,00	2,00	20,90	5	1,91	A
Tratamiento 2	2,00	1,00	8,57	5	1,91	B
Tratamiento 1	1,00	1,00	8,04	5	1,91	B

Anexo 16. Análisis de varianza del nutriente Hierro (Fe).

Coeficiente de variación = 11,71 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	20215,46	4	5053,86	0,72	0,5943
Factor A	15252,59	1	15252,59	1,17	0,1661
Factor B	161699,54	1	161699,54	23,05	0,0004
Factor A * Factor B	4066,67	1	4066,67	0,58	0,4611
Error	84180,6	12	7015,05		
Total	285414,86	19			

Anexo 17. Prueba de comparación de medias de hierro con LSD Fisher (a=0,05).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2,00	2,00	847,00	5	37,46	A
Tratamiento 3	1,00	2,00	763,25	5	37,46	A
Tratamiento 2	2,00	1,00	638,65	5	37,46	B
Tratamiento 1	1,00	1,00	611,94	5	37,46	B

Anexo 18. Análisis de varianza del nutriente Cobre (Cu).

Coeficiente de variación = sd					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,00	4	0,00	sd	sd
Factor A	0,00	1	0,00	sd	sd
Factor B	0,00	1	0,00	sd	sd
Factor A * Factor B	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	12	0,00		
Total	0,00	19			

Anexo 19. Análisis de varianza del nutriente Zinc (Zn).

Coeficiente de variación = 7,51 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	48,08	4	12,02	1,94	0,1683
Factor A	12409,54	1	12409,54	2003,05	<0,0001
Factor B	16645,73	1	16645,73	2686,82	<0,0001
Factor A * Factor B	12216,01	1	12216,01	1971,81	<0,0001
Error	74,34	12	6,20		
Total	41393,7	19			

Anexo 20. Prueba de comparación de medias de zinc con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento	2,00	2,00	111,64	5	1,11	A
Tratamiento	1,00	2,00	12,39	5	1,11	B
Tratamiento	2,00	1,00	4,51	5	1,11	C
Tratamiento	1,00	1,00	4,12	5	1,11	C

Anexo 21. Análisis de varianza del contenido de conductividad eléctrica (CE).

Coeficiente de variación = 16,62 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	18,75	4	4,69	0,83	0,5336
Factor A	109,80	1	109,80	19,34	0,0009
Factor B	268,51	1	268,51	47,31	<0,0001
Factor A * Factor B	240,96	1	240,96	42,45	<0,0001
Error	68,11	12	5,68		
Total	706,13	19			

Anexo 22. Prueba de comparación de medias de conductividad eléctrica con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2,00	2,00	19,12	5	1,07	A
Tratamiento 3	1,00	2,00	16,87	5	1,07	A
Tratamiento 1	1,00	1,00	16,48	5	1,07	A
Tratamiento 2	2,00	1,00	4,85	5	1,07	B

Anexo 23. Análisis de varianza del % humedad.

Coeficiente de variación = 5,14 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	5,48	4	1,37	2,00	0,1594
Factor A	0,52	1	0,52	0,76	0,3997
Factor B	137,56	1	137,56	200,22	<0,0001
Factor A * Factor B	2,58	1	2,58	3,76	0,0764
Error	8,24	12	0,69		
Total	154,39	19			

Anexo 24. Prueba de comparación de medias del % humedad con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 3	1	2	18,94	5	0,37	A
Tratamiento 4	2	2	18,55	5	0,37	A
Tratamiento 2	2	1	14,02	5	0,37	B
Tratamiento 1	1	1	12,98	5	0,37	B

Anexo 25. Análisis de varianza del % materia orgánica.

Coeficiente de variación = 7,72 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	115012	4	28,78	1,37	0,3021
Factor A	4,84	1	4,84	0,23	0,64
Factor B	3115,51	1	3115,51	148,13	<0,0001
Factor A * Factor B	2,96	1	2,96	0,14	0,7139
Error	252,39	12	21,03		
Total	3490,82	19			

Anexo 26. Prueba de comparación de medias del % Materia Orgánica con LSD Fisher ($\alpha=0,05$)

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 3	1	2	71,96	5	2,05	A
Tratamiento 4	2	2	71,74	5	2,05	A
Tratamiento 1	1	1	47,77	5	2,05	B
Tratamiento 2	2	1	46,01	5	2,05	B

Anexo 27. Análisis de varianza de la Densidad Aparente

Coeficiente de variación = 16,77					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,03	4	0,01	1,28	0,3298
Factor A	0,0016	1	0,0016	0,24	0,6317
Factor B	0,90	1	0,90	134,19	<0,0001
Factor A * Factor B	0,0024	1	0,0024	0,36	0,5590
Error	0,08	12	0,01		
Total	1,02	19			

Anexo 28. Prueba de comparación de medias de la densidad aparente LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 2	2,00	1,00	0,72	5	0,04	A
Tratamiento 1	1,00	1,00	0,68	5	0,04	A
Tratamiento 3	1,00	2,00	0,28	5	0,04	B
Tratamiento 4	2,00	2,00	0,27	5	0,04	B

Anexo 29. Análisis de varianza de la densidad real.

Coeficiente de variación = 4,84 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,06	4	0,01	4,07	0,0261
Factor A	0,06	1	0,06	16,75	0,0015
Factor B	0,02	1	0,02	4,91	0,0468
Factor A * Factor B	0,08	1	0,08	23,46	0,0004
Error	0,04	12	0,0035		
Total	0,26	19			

Anexo 30. Prueba de comparación de medias de la densidad real.

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 1	1,00	1,00	1,38	5	0,03	A B B B
Tratamiento 4	2,00	2,00	1,21	5	0,03	
Tratamiento 3	1,00	2,00	1,19	5	0,03	
Tratamiento 2	2,00	1,00	1,14	5	0,03	

Anexo 31. Análisis de varianza del % espacio poroso total.

Coeficiente de variación = 13,39 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	381,02	4	95,26	1,46	0,2735
Factor A	217,33	1	217,33	3,34	0,0926
Factor B	5562,02	1	5562,02	85,46	<0,0001
Factor A * Factor B	273,78	1	273,78	4,21	0,0628
Error	780,96	12	65,08		
Total	7215,12	19			

Anexo 32. Prueba de comparación de medias del % espacio poroso total.

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 4	2	2	77,32	5	3,61	A A B C
Tratamiento 3	1	2	76,51	5	3,61	
Tratamiento 1	1	1	50,56	5	3,61	
Tratamiento 2	2	1	36,56	5	3,61	

Anexo 33. Análisis de varianza del % base seca.

Coeficiente de variación = 0,73 %					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	3,08	4	0,77	1,93	0,1699
Factor A	0,34	1	0,34	0,85	0,3752
Factor B	75,99	1	75,99	190,61	<0,0001
Factor A * Factor B	1,47	1	1,47	3,69	0,0790
Error	4,78	12	0,40		
Total	85,66	19			

Anexo 34. Prueba de comparación de medias del % base seca con LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
Tratamiento 1	1,00	1,00	88,52	5	0,28	A
Tratamiento 2	2,00	1,00	87,71	5	0,28	A
Tratamiento 4	2,00	2,00	84,36	5	0,28	B
Tratamiento 3	1,00	2,00	84,07	5	0,28	B

Anexo 35. Cálculo costos fijos tratamiento T1.

Costos variables tratamiento T1					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Insumos	Lombriz	Kilogramo	1	40	40,00
	Pulpa de café	Lbs.	1	20	20,00
Costos de mantenimiento	Limpias del terreno	Jornal/día	4	30	120,00
Total					180,000

Anexo 36. Cálculo cotos variables del tratamiento T2.

Costos variables tratamiento T2					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Insumos	Lombriz	Kilogramo	1	40	40,00
	Pulpa de café	Lbs.	1	20	20,00
Costos de Mantenimiento	Limpias del terreno	Jornal/día	4	30	120,00
Total					180,000

Anexo 37. Cálculo costos variables del tratamiento T3.

Costos variables tratamiento T3					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Insumos	Microorganismos (Takakura)	Kilogramo	1	48	48,00
Costos de Mantenimiento	Limpias del terreno	Jornal/día	4	30	120,00
Total					168,000

Anexo 38. Cálculo costos variables del tratamiento T4.

Costos variables tratamiento T4					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Insumos	Microorganismos (Takakura)	Kilogramo	1	48	48,00
Costos de Mantenimiento	Limpias del terreno	Jornal/día	4	30	120,00
Total					168,000

Anexo 39. Cálculo costos fijos del tratamiento T1.

Costos fijos tratamiento T1					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Materiales	Saran	m ²	20	6,00	24,00
	Postes de bambú	Unidad	4	1,00	4,00
	Cajas plásticas	Unidad	1	100,00	100,00
	Block	Unidad	4	3,75	15,00
Equipo	Chorros de dispensador	Unidad	1	25,00	25,00
	Cinchas	Unidad	1	2,00	2,00
	Base metálica	Unidad	1	50,00	50,00
Herramientas	Azadón	Unidad	1	10,00	10,00
	Rastrillo	Unidad	1	8,75	8,75
	Machete	Unidad	1	8,75	8,75
Total					247,50

Anexo 40. Cálculo costos fijos del tratamiento T2.

Costos fijos tratamiento T2					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Materiales	Saran	m ²	20	6,00	24,00
	Postes de bambú	Unidad	4	1,00	4,00
	Cubetas plásticas	Unidad	1	30,00	30,00
	Block	Unidad	4	3,75	15,00
Equipo	Chorros de dispensador	Unidad	1	25,00	25,00
	Cinchas	Unidad	1	2,00	2,00
	Base metálica	Unidad	1	50,00	50,00
Herramientas	Azadón	Unidad	1	10,00	10,00
	Rastrillo	Unidad	1	8,75	8,75
	Machete	Unidad	1	8,75	8,75
Total					177,50

Anexo 41. Cálculo costos fijos del tratamiento T3.

Costos fijos tratamiento T3					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Materiales	Saran	m ²	4	6,00	24,00
	Postes de bambú	Unidad	4	1,00	4,00
	Cajas plásticas	Unidad	1	35,00	35,00
	Block	Unidad	4	3,75	15,00
	Manta	Yarda	1	6,00	6,00
	Elástico	Yarda	1	3,00	3,00
	Carton	Lbs.	1	5,00	5,00
Equipo	Cinchas	Unidad	1	2,00	2,00
Herramientas	Azadón	Unidad	1	10,00	10,00
	Rastrillo	Unidad	1	8,75	8,75
	Machete	Unidad	1	8,75	8,75
Total					121,50

Anexo 42. Cálculo costo fijos del tratamiento T4.

Costos fijos tratamiento T4					
Concepto		Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total/año
Materiales	Saran	m ²	4	6,00	24,00
	Postes de bambú	Unidad	4	1,00	4,00
	Cubetas plásticas	Unidad	1	30,00	30,00
	Block	Unidad	4	3,75	15,00
	Manta	Yarda	1	6,00	6,00
	Elástico	Yarda	1	3,00	3,00
	Carton	Lbs.	1	5,00	5,00
Equipo	Cinchas	Unidad	1	2,00	2,00
Herramientas	Azadón	Unidad	1	10,00	10,00
	Rastrillo	Unidad	1	8,75	8,75
	Machete	Unidad	1	8,75	8,75
Total					116,50

Anexo 43. Flujo de caja (VAN, TIR, relación B/C) del tratamiento T1.

No.	Concepto	AÑOS										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mano de obra	Q 60,00	Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
1.1	Arrendamiento del terreno	Q 60,00										
1.2	Encargado (a) de monitoreo		Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
2	Materiales	Q 143,00										
2.1	Saran	Q 24,00										
2.2	Postes de bambú	Q 4,00										
2.3	Cajas plásticas con tapadera	Q 100,00										
2.4	Bock	Q 15,00										
3	Equipo	Q 76,00										
3.1	Chorro dispensado para drenaje	Q 25,00										
3.2	Sinchas plásticas	Q 1,00										
3.3	Bases metálicas	Q 50,00										
4	Herramientas	Q 27,50										
4.1	Azadones	Q 10,00										
4.2	Machete	Q 8,75										
4.3	Rastrillo	Q 8,75										
5	Insumos	Q 60,00	Q 66,00	Q 72,60	Q 79,86	Q 87,85	Q 96,63	Q 106,29	Q 116,92	Q 128,62	Q 141,48	
5.1	Lombriz (Coqueta Roja)	Q 40,00	Q 44,00	Q 48,40	Q 53,24	Q 58,56	Q 64,42	Q 70,86	Q 77,95	Q 85,74	Q 94,32	
5.2	pulpa de café	Q 20,00	Q 22,00	Q 24,20	Q 26,62	Q 29,28	Q 32,21	Q 35,43	Q 38,97	Q 42,87	Q 47,16	
6	Costos de mantenimiento	Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95	
6.1	Limpias del terreno	Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95	
7	Insumos control de plagas	Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94	
7.1	Folidol	Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94	
	COSTOS TOTALES	Q 306,50	Q 242,00	Q 266,20	Q 292,82	Q 322,10	Q 354,31	Q 389,74	Q 428,72	Q 471,59	Q 518,75	Q 570,62
8	Ingresos	Q 409,00	Q 449,90	Q 494,89	Q 544,38	Q 598,82	Q 658,70	Q 724,57	Q 797,03	Q 876,73	Q 964,40	
8.1	Venta de Compost	Q 409,00	Q 449,90	Q 494,89	Q 544,38	Q 598,82	Q 658,70	Q 724,57	Q 797,03	Q 876,73	Q 964,40	
9	Utilidad bruta	Q (306,50)	Q 167,00	Q 183,70	Q 202,07	Q 222,28	Q 244,50	Q 268,96	Q 295,85	Q 325,44	Q 357,98	Q 393,78
9.1	ISR (31%)	Q 51,77	Q 56,95	Q 62,64	Q 68,91	Q 75,80	Q 83,38	Q 91,71	Q 100,89	Q 110,97	Q 122,07	
10	Utilidad neta	Q 115,23	Q 126,75	Q 139,43	Q 153,37	Q 168,71	Q 185,58	Q 204,14	Q 224,55	Q 247,01	Q 271,71	
	FLUJO DE EFECTIVO	Q (306,50)	Q 115,23	Q 126,75	Q 139,43	Q 153,37	Q 168,71	Q 185,58	Q 204,14	Q 224,55	Q 247,01	Q 271,71
	Ingresos Totales descontados	Q 355,65	Q 340,19	Q 325,40	Q 311,25	Q 297,72	Q 284,77	Q 272,39	Q 260,55	Q 249,22	Q 238,39	
	Costos totales descontados	Q 210,43	Q 201,29	Q 192,53	Q 184,16	Q 176,16	Q 168,50	Q 161,17	Q 154,16	Q 147,46	Q 141,05	
	tasa de descuento	15%										
	VPN	Q452,65										
	TIR	45%										
	Relacion Beneficio Costo	1,69										

Anexo 44. Flujo de caja (VAN, TIR, relación B/C) del tratamiento T2.

1,1		AÑOS										
No.	Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mano de obra	Q 60,00	Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
1,1	Arrendamiento del terreno	Q 60,00										
1,2	Encargado (a) de monitoreo		Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
2	Materiales	Q 73,00										
2,1	Saran	Q 24,00										
2,2	Postes de bambú	Q 4,00										
2,3	Cubetas plásticas	Q 30,00										
2,4	Bock	Q 15,00										
3	Equipo	Q 77,00										
3,1	Chorro dispensado para drenaje	Q 25,00										
3,2	Sinchas plásticas	Q 2,00										
3,3	Bases metálicas	Q 50,00										
4	Herramientas	Q 27,50										
4,1	Azadones	Q 10,00										
4,2	Machete	Q 8,75										
4,3	Rastrillo	Q 8,75										
5	Insumos		Q 60,00	Q 66,00	Q 72,60	Q 79,86	Q 87,85	Q 96,63	Q 106,29	Q 116,92	Q 128,62	Q 141,48
5,1	Lombriz (Coqueta Roja)		Q 40,00	Q 44,00	Q 48,40	Q 53,24	Q 58,56	Q 64,42	Q 70,86	Q 77,95	Q 85,74	Q 94,32
5,2	pulpa de café		Q 20,00	Q 22,00	Q 24,20	Q 26,62	Q 29,28	Q 32,21	Q 35,43	Q 38,97	Q 42,87	Q 47,16
6	Costos de mantenimiento		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
6,1	Limpías de terreno		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
7	Insumos control de plagas		Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94
7,1	Folidol		Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94
	COSTOS TOTALES	Q 237,50	Q 242,00	Q 266,20	Q 292,82	Q 322,10	Q 354,31	Q 389,74	Q 428,72	Q 471,59	Q 518,75	Q 570,62
8	Ingresos		Q 368,00	Q 404,80	Q 445,28	Q 489,81	Q 538,79	Q 592,67	Q 651,93	Q 717,13	Q 788,84	Q 867,72
8,1	Ingresos por Venta de Compost		Q 368,00	Q 404,80	Q 445,28	Q 489,81	Q 538,79	Q 592,67	Q 651,93	Q 717,13	Q 788,84	Q 867,72
9	Utilidad bruta	Q (237,50)	Q 126,00	Q 138,60	Q 152,46	Q 167,71	Q 184,48	Q 202,92	Q 223,22	Q 245,54	Q 270,09	Q 297,10
9,1	ISR (31%)		Q 39,06	Q 42,97	Q 47,26	Q 51,99	Q 57,19	Q 62,91	Q 69,20	Q 76,12	Q 83,73	Q 92,10
10	Utilidad neta		Q 86,94	Q 95,63	Q 105,20	Q 115,72	Q 127,29	Q 140,02	Q 154,02	Q 169,42	Q 186,36	Q 205,00
	FLUJO DE EFECTIVO	Q (237,50)	Q 86,94	Q 95,63	Q 105,20	Q 115,72	Q 127,29	Q 140,02	Q 154,02	Q 169,42	Q 186,36	Q 205,00
	Ingresos Totales descontados	Q	320,00	306,09	292,78	280,05	267,87	256,23	245,09	234,43	224,24	214,49
	Costos totales descontados	Q	210,43	201,29	192,53	184,16	176,16	168,50	161,17	154,16	147,46	141,05
	tasa de descuento		15%									
	VPN		Q336,08									
	TIR		44%									
	Relacion Beneficio Costo		1,52									

Anexo 45. Flujo de caja (VAN, TIR, relación B/C) del tratamiento T3.

1,1		AÑOS										
No.	Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mano de obra	Q 60,00	Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
1,1	Arrendamiento del terreno	Q 60,00										
1,2	Encargado (a) de monitoreo		Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
2	Materiales	Q 78,00										
2,1	Saran	Q 24,00										
2,2	Postes de bambú	Q 4,00										
2,3	Cajas plásticas con rajaduras	Q 35,00										
2,4	Bock	Q 15,00										
2,5	Manta	Q 6,00										
2,6	Elastico	Q 3,00										
2,7	Carton	Q 5,00										
3	Equipo	Q 2,00										
3,1	Sinchas plásticas	Q 2,00										
4	Herramientas	Q 110,00										
4,1	Azadones	Q 40,00										
4,2	Machete	Q 35,00										
4,3	Rastrillo	Q 35,00										
5	Insumos		Q 48,00	Q 52,80	Q 58,08	Q 63,89	Q 70,28	Q 77,30	Q 85,03	Q 93,54	Q 102,89	Q 113,18
5,1	Microorganismos		Q 48,00	Q 52,80	Q 58,08	Q 63,89	Q 70,28	Q 77,30	Q 85,03	Q 93,54	Q 102,89	Q 113,18
6	Costos de mantenimiento		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
6,1	Limpías del terreno		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
7	Insumos control de plagas		Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94
7,1	Folidol		Q 11,00	Q 12,10	Q 13,31	Q 14,64	Q 16,11	Q 17,72	Q 19,49	Q 21,44	Q 23,58	Q 25,94
	COSTOS TOTALES	Q 250,00	Q 230,00	Q 253,00	Q 278,30	Q 306,13	Q 336,74	Q 370,42	Q 407,46	Q 448,20	Q 493,03	Q 542,33
8	Ingresos		Q 390,00	Q 429,00	Q 471,90	Q 519,09	Q 571,00	Q 628,10	Q 690,91	Q 760,00	Q 836,00	Q 919,60
8,1	Venta de Compost		Q 390,00	Q 429,00	Q 471,90	Q 519,09	Q 571,00	Q 628,10	Q 690,91	Q 760,00	Q 836,00	Q 919,60
9	Utilidad bruta	Q (250,00)	Q 160,00	Q 176,00	Q 193,60	Q 212,96	Q 234,26	Q 257,68	Q 283,45	Q 311,79	Q 342,97	Q 377,27
9,1	ISR (31%)		Q 49,60	Q 54,56	Q 60,02	Q 66,02	Q 72,62	Q 79,88	Q 87,87	Q 96,66	Q 106,32	Q 116,95
10	Utilidad neta		Q 110,40	Q 121,44	Q 133,58	Q 146,94	Q 161,64	Q 177,80	Q 195,58	Q 215,14	Q 236,65	Q 260,32
	FLUJO DE EFECTIVO	Q (250,00)	Q 110,40	Q 121,44	Q 133,58	Q 146,94	Q 161,64	Q 177,80	Q 195,58	Q 215,14	Q 236,65	Q 260,32
	Ingresos Totales descontados		Q 339,13	Q 324,39	Q 310,28	Q 296,79	Q 283,89	Q 271,54	Q 259,74	Q 248,45	Q 237,64	Q 227,31
	Costos totales descontados		Q 200,00	Q 191,30	Q 182,99	Q 175,03	Q 167,42	Q 160,14	Q 153,18	Q 146,52	Q 140,15	Q 134,06
	tasa de descuento		15%									
	VPN	Q 471,63										
	TIR	52%										
	Relacion Beneficio Costo	1,70										

Anexo 46. Flujo de caja (VAN, TIR, relación B/C) del tratamiento T4.

1.1		AÑOS										
No.	Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Mano de obra	Q 60,00	Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
1.1	Arrendamiento del terreno	Q 60,00										
1.2	Encargado (a) de monitoreo		Q 51,00	Q 56,10	Q 61,71	Q 67,88	Q 74,67	Q 82,14	Q 90,35	Q 99,38	Q 109,32	Q 120,26
2	Materiales	Q 73,00										
2.1	Saran	Q 24,00										
2.2	Postes de bamboo	Q 4,00										
2.3	cubetas	Q 30,00										
2.4	Bock	Q 15,00										
2.5	Manta	Q 6,00										
2.6	Elastico	Q 3,00										
2.7	Carton	Q 5,00										
3	Equipo	Q 2,00										
3.2	Sinchas plásticas	Q 2,00										
4	Herramientas	Q 110,00										
4.2	Azadones	Q 40,00										
4.4	Machete	Q 35,00										
4.5	Rastrillo	Q 35,00										
5	Insumos		Q 48,00	Q 52,80	Q 58,08	Q 63,89	Q 70,28	Q 77,30	Q 85,03	Q 93,54	Q 102,89	Q 113,18
5.1	Microorganismos		Q 48,00	Q 52,80	Q 58,08	Q 63,89	Q 70,28	Q 77,30	Q 85,03	Q 93,54	Q 102,89	Q 113,18
6	Costos de mantenimiento		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
6.1	Limpias del terreno		Q 120,00	Q 132,00	Q 145,20	Q 159,72	Q 175,69	Q 193,26	Q 212,59	Q 233,85	Q 257,23	Q 282,95
7	Insumos control de plagas		Q 9,00	Q 9,90	Q 10,89	Q 11,98	Q 13,18	Q 14,49	Q 15,94	Q 17,54	Q 19,29	Q 21,22
7.3	Folidol		Q 9,00	Q 9,90	Q 10,89	Q 11,98	Q 13,18	Q 14,49	Q 15,94	Q 17,54	Q 19,29	Q 21,22
	COSTOS TOTALES	Q 245,00	Q 228,00	Q 250,80	Q 275,88	Q 303,47	Q 333,81	Q 367,20	Q 403,92	Q 444,31	Q 488,74	Q 537,61
8	Ingresos		Q 378,00	Q 415,80	Q 457,38	Q 503,12	Q 553,43	Q 608,77	Q 669,65	Q 736,62	Q 810,28	Q 891,30
8.1	Venta de Compost		Q 378,00	Q 415,80	Q 457,38	Q 503,12	Q 553,43	Q 608,77	Q 669,65	Q 736,62	Q 810,28	Q 891,30
9	Utilidad bruta	Q (245,00)	Q 150,00	Q 165,00	Q 181,50	Q 199,65	Q 219,62	Q 241,58	Q 265,73	Q 292,31	Q 321,54	Q 353,69
9.1	ISR (31%)		Q 46,50	Q 51,15	Q 56,27	Q 61,89	Q 68,08	Q 74,89	Q 82,38	Q 90,62	Q 99,68	Q 109,64
10	Utilidad neta		Q 103,50	Q 113,85	Q 125,24	Q 137,76	Q 151,53	Q 166,69	Q 183,36	Q 201,69	Q 221,86	Q 244,05
	FLUJO DE EFECTIVO	Q (245,00)	Q 103,50	Q 113,85	Q 125,24	Q 137,76	Q 151,53	Q 166,69	Q 183,36	Q 201,69	Q 221,86	Q 244,05
	Ingresos Totales descontados		Q 251,34	Q 183,83	Q 134,46	Q 98,34	Q 71,93	Q 52,61	Q 38,48	Q 28,14	Q 20,59	Q 15,06
	Costos totales descontados		Q 151,60	Q 110,88	Q 81,10	Q 59,32	Q 43,39	Q 31,73	Q 23,21	Q 16,98	Q 12,42	Q 9,08
	tasa de descuento	15%										
	VPN	Q 432,92										
	TIR	50%										
	Relacion Beneficio Costo	1,66										

Anexo 47. Boleta para recolección de datos de parámetros físicos (temperatura, humedad y pH).

Fecha de recolección de datos: _____ Día N°: _____

Tratamiento T1 (modelo rectangular_lombicompost)				
Tratamiento/repetición	Temperatura (T°)	Humedad (H)	Potencial de hidrógeno (pH)	Olor
T1R1				
T1R2				
T1R3				
T1R4				
T1R5				

Tratamiento 2 (modelo cilíndrico_lombicompost)				
Tratamiento/repetición	Temperatura (T°)	Humedad (H)	Potencial de hidrógeno (pH)	Olor
T2R1				
T2R2				
T3R3				
T3R4				
T3R5				

Tratamiento 3 (modelo rectangular_takakura)				
Tratamiento/repetición	Temperatura (T°)	Humedad (H)	Potencial de hidrógeno (pH)	Olor
T3R1				
T3R2				
T3R3				
T3R4				
T3R5				

Tratamiento 4 (modelo cilíndrico_takakura)				
Tratamiento/repetición	Temperatura (T°)	Humedad (H)	Potencial de hidrógeno (pH)	Olor
T4R1				
T4R2				
T4R3				
T4R4				
T4R5				

Anexo 48. Encuesta para evaluar la aceptabilidad de la implementación del modelo de compostera domiciliar y método de compostaje.

ENCUESTAS PARA DETERMINAR LA ACEPTABILIDAD DE LAS COMPOSTERAS EN LOS DOMICILIOS

Nº de encuesta:

Lugar y fecha:

Nombre del encuestado:

Sexo:

Nivel de escolaridad:

Actividad o profesión:

Sección 1: Preguntas generales sobre el grupo familiar.

Nombre	Edad (años)	Sexo		Lee y escribe		Trabaja		Lugar de trabajo	Nivel de escolaridad
		M	F	Si	No	Si	No		

Sección 2: Ahora le voy a hacer preguntas respecto al uso de la compostera y al proceso de compostaje.

No.	Preguntas respecto al uso de la compostera y al proceso de compostaje	Si	No
1	¿Antes del uso de la compostera sus residuos sólidos presentaron problemas de insectos (moscas y hormigas) o malos olores?		
2	¿Le parece que el manejo propuesto de la compostera requiere muchas horas semanales para realizarlo?		
3	¿Le parece que el manejo propuesto de la compostera requiere mucho esfuerzo para realizarlo?		
4	¿Se presentaron problemas de insectos (moscas y hormigas) en la compostera durante el tiempo de evaluación?		
5	¿Se presentó presencia de malos olores en la compostera durante el tiempo de evaluación?		
6	¿Considera útil el método Takakura para procesar adecuadamente los residuos sólidos orgánicos de su hogar?		
7	¿El recipiente utilizado para el compostaje fue suficiente para procesar todos los residuos orgánicos de su hogar durante el tiempo evaluado?		
8	¿Estaría dispuesto(a) a comprar una compostera igual a la utilizada en la evaluación por un monto de Q 100?		
9	¿Le gustaría continuar utilizando la compostera por lo menos un año más?		
10	¿Recomendaría el uso de la compostera a un vecino o familiar suyo?		

!!!Muchas gracias por su ayuda!!!

Anexo 49. Certificado de análisis del compost de los tratamientos evaluados.



LABORATORIO AMBIENTAL
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-
 CARRERA DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
 Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula
 Tel. 78730300

No.	Identificación	Humedad (%)	Base Seca (%)	Base seca (%)	Potasio (K) Agua	Potasio (K) Extracto	Calcio(Ca) Agua	Calcio(Ca) Extracto	Magnesio (Mg) Agua	Magnesio (Mg) Extracto	Hierro (Fe) Agua	Hierro (Fe) Extracto	Zinc (Zn) Agua	Zinc (Zn) Extracto	Cobre (Cu) Agua	Cobre (Cu) Extracto
1	T1R1	12.86	88.60	0.89	22107.50	26763.44	9.32	7.24	4.74	6.18	441.56	589.06	3.20	3.99	0.00	0.00
2	T1R2	12.93	88.55	0.89	23060.63	28160.31	3.57	5.10	3.96	9.77	613.44	640.00	2.03	5.09	0.00	0.00
3	T1R3	14.35	87.45	0.87	23941.88	27876.88	4.40	5.18	3.10	5.01	430.00	639.06	2.79	6.08	0.00	0.00
4	T1R4	12.40	88.97	0.89	16130.00	22580.31	4.34	5.84	1.56	4.74	432.19	541.56	1.48	1.59	0.00	0.00
5	T1R5	12.35	89.01	0.89	17333.44	23549.38	7.35	8.28	6.50	14.52	565.00	650.00	2.43	3.86	0.00	0.00
6	T2R1	12.96	88.53	0.89	9925.00	16666.25	5.11	5.57	1.30	7.34	576.25	1678.25	2.76	4.35	0.00	0.00
7	T2R2	15.84	86.33	0.86	2416.56	8056.88	2.29	7.89	1.20	11.68	517.81	602.81	0.66	4.85	0.00	0.00
8	T2R3	13.79	87.88	0.88	9569.06	15944.38	3.30	4.13	1.02	3.56	577.19	597.50	3.03	6.08	0.00	0.00
9	T2R4	12.49	88.90	0.89	1669.69	5422.19	8.20	10.97	1.11	15.58	527.50	697.81	0.54	4.88	0.00	0.00
10	T2R5	15.03	86.93	0.87	5648.44	12992.19	2.47	4.46	1.90	4.68	592.81	616.88	0.00	2.40	0.00	0.00
11	T3R1	19.28	83.84	0.84	23184.69	29605.94	3.17	4.71	1.65	20.28	688.13	1678.75	6.63	7.84	0.00	0.00
12	T3R2	19.22	83.88	0.84	22223.44	28312.19	3.75	6.29	2.46	23.17	568.44	640.94	4.85	20.28	0.00	0.00
13	T3R3	19.25	83.86	0.84	21960.63	29639.06	3.70	4.28	1.56	20.21	682.50	783.75	8.29	9.30	0.00	0.00
14	T3R4	18.71	84.24	0.84	11252.81	22523.44	7.70	7.77	3.42	23.45	761.56	879.38	8.63	11.13	0.00	0.00
15	T3R5	18.26	84.56	0.85	21770.00	29182.19	2.00	5.63	0.69	17.39	726.88	833.44	8.65	113.41	0.00	0.00
16	T4R1	19.20	83.89	0.84	22904.38	31027.50	2.57	26.64	3.35	25.94	717.81	725.00	9.04	110.29	0.00	0.00
17	T4R2	19.13	83.94	0.84	24537.50	27338.13	2.47	30.15	0.90	28.70	643.75	968.44	7.91	114.05	0.00	0.00
18	T4R3	19.01	84.02	0.84	24690.63	29781.25	18.28	19.00	2.32	10.92	645.00	780.31	7.93	111.03	0.00	0.00
19	T4R4	17.75	84.93	0.85	24662.50	29801.88	5.15	11.54	0.38	25.27	665.00	809.38	6.65	110.79	0.00	0.00
20	T4R5	17.65	85.00	0.85	26109.38	32393.75	4.77	13.25	0.30	23.61	708.44	951.88	10.74	112.04	0.00	0.00

Licda. Vilma Leticia Ramos López
 Responsable Laboratorio



Anexo 50. Fotografías del proceso de evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios.

Fotografía 1. Preparación del terreno, ubicado en la zona 2, Colonia Ruano de la ciudad de Chiquimula.



Fotografía 2. Posteo y colocación de sarán para la implementación de los modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje.



Fotografía 3. Preparación de las cajas, sustratos e incorporación de lombriz coqueta roja en el tratamiento T1 y T2.



Fotografía 4. Ingredientes para la preparación de solución salada y dulce, para la generación de microorganismos aeróbicos por fermentación (Takakura).



Fotografía 5. Cascarilla de arroz, afrecho, pulpa de café y hojarasca combinados con las soluciones previamente fermentadas, para la generación de microorganismos aeróbicos por fermentación (Takakura), en un lapso de 7 días.



Fotografía 6. Microorganismos aeróbicos por fermentación (Takakura) listos para el inicio de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.



Fotografía 7. Preparación del tratamiento 3, compuesto por el modelo rectangular y el método Takakura.



Fotografía 8. Preparación del tratamiento 4, compuesto por el modelo cilíndrico y el método de compostaje Takakura.



Fotografía 9. Implementación de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, 7 de Abril del 2017, en la colonia Ruano, zona 2 de la ciudad de Chiquimula.



Fotografía 10. Pesaje y trituración de residuos sólidos orgánicos recolectados de los domicilios, para la incorporación a composteras domiciliarias y métodos de compostaje.



Fotografía 11. Incorporación de residuos sólidos orgánicos domiciliarios al tratamiento T3, compuesto por el modelo de forma rectangular y el método Takakura.



Fotografía 12. Medición y recolección de parámetros físicos (temperatura, potencial de hidrógeno y humedad) de las composteras domiciliarias y los métodos de compostaje evaluados.



Fotografía 13. Toma de muestras del compost generado por tratamiento y sus respectivas repeticiones, utilizados para realizar el análisis del contenido de nutrientes, propiedades químicas y físicas.



Fotografía 14. Preparación del tratamiento T3 (modelo de forma rectangular con el método Takakura), para la implementación en los 14 domicilios en la ciudad de Chiquimula.



Fotografía 15. Explicación sobre el manejo y entrega de composteras a los 14 domicilios, donde se evaluará la aceptabilidad de la misma, en la ciudad de Chiquimula.



Fotografía 16. Encuesta realizada a familias participantes sobre la evaluación de la aceptabilidad del modelo de compostera y método de compostaje empleado, durante 2 meses, en la ciudad de Chiquimula.

