



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA
UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE
COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA**

Irvin Isaac de León Barrios

Asesorado por el Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA
UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE
COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

IRVIN ISAAC DE LEÓN BARRIOS

ASESORADO POR EL MSC.ING. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Federico Mijangos Martínez
EXAMINADOR	Inga. María Martha Wolford Estrada
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha junio de 2021.

Irvin Isaac de Leon Barrios

Ref. EEPFI-0682-2021
Guatemala, 15 de junio de 2021

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

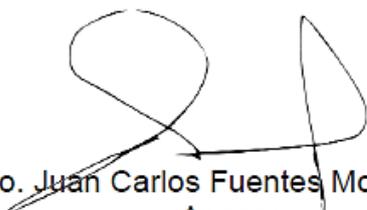
Estimado Ing. Urquizú:

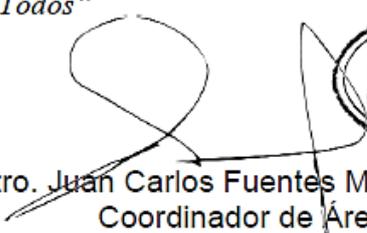
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante Irvin Isaac de León Barrios carné número 201220175, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

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

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Asesor
Isg. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Irvin Isaac de León Barrios**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2021



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 549.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST, UTILIZANDO RESIDUOS VEGETALES, EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ACATENANGO, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Irvin Isaac de León Barrios**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fuente de sabiduría infinita lo cual me permitió culminar esta meta.
Mis padres	Eliú de León y Verónica Barrios. Su amor será siempre mi inspiración.
Mis hermanos	Marvin y Sergio de León. Por ser una importante influencia y apoyo en mi carrera.
Mis abuelos	Rene Barrios, Olivia de León, Ramiro de León y Olivia González. Por ser ángeles a mi vida.
Mis primos	Por su cariño sincero y transparente que me han entregado durante todo el tiempo.
Mis tíos	Por la orientación que me han dado a lo largo de la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios que me ha permitido formarme con ética y alto compromiso social.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y apoyo necesario para culminar con la carrera.
Mis amigos	Por todas las experiencias vividas en este camino universitario.
Mi asesor	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Familia y amigos en general	Por ser una luz trascendental en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	19
7.1. Clasificación y características de los desechos	19
7.1.1. Por su estado	19
7.1.1.1. Sólidos	19
7.1.1.2. Líquidos	20
7.1.1.3. Gaseosos	20
7.1.2. Clasificación de los residuos por su composición ...	20
7.1.2.1. Orgánica	21

	7.1.2.2.	Inorgánica.....	21
7.1.3.		Por su naturaleza.....	21
7.1.4.		Por su origen	21
7.1.5.		Peligrosos	22
7.1.6.		Corrosivos.....	22
7.1.7.		Explosivos.....	22
7.1.8.		Inflamables	22
7.1.9.		Reactivos	22
7.1.10.		Tóxicos.....	23
7.1.11.		Infecciosos.....	23
7.2.		Gestión de residuos sólidos.....	23
7.2.1.		Técnico	25
7.2.2.		Social	25
7.2.3.		Económico	25
7.2.4.		Organizativo.....	25
7.2.5.		Salud.....	26
7.2.6.		Ambiental.....	26
7.3.		Aspectos por tomar en cuenta.....	27
7.3.1.		Generación por persona, trabajador o empresa	27
7.3.2.		Generación de residuos	27
7.3.3.		Composición de los residuos.....	27
7.4.		Almacenamiento	27
7.5.		Recolección y transporte	28
7.6.		Tratamientos	30
7.6.1.		Incineración	30
7.6.2.		Compostaje.....	31
7.6.3.		Reciclaje	33
7.7.		El compostaje	34
7.7.1.		Fases en el proceso del compostaje.....	34

	7.7.1.1.	Fase de descomposición.....	34
	7.7.1.2.	Fase mesófila	35
	7.7.1.3.	Fase termófila.....	35
	7.7.1.4.	Fase de maduración.....	35
	7.7.1.5.	Fase de enfriamiento.....	36
	7.7.1.6.	Fase de estabilización.....	36
7.8.		Parámetros del proceso.....	36
	7.8.1.	Temperatura	36
	7.8.2.	Aireación	38
	7.8.3.	Humedad y porosidad.....	39
	7.8.4.	pH.....	40
7.9.		Microorganismos eficientes	42
7.10.		Tipos de Microorganismos eficientes	42
	7.10.1.	Bacterias ácido lácticas	42
	7.10.2.	Bacterias fotosintéticas.....	43
	7.10.3.	Levaduras	43
7.11.		Aplicación de los microorganismos eficientes.....	43
	7.11.1.	En semillas.....	44
	7.11.2.	En plantas	44
	7.11.3.	En los suelos.....	44
7.12.		Técnicas de compostaje	45
	7.12.1.	Sistemas abiertos	45
	7.12.2.	Sistemas cerrados	46
7.13.		Usos del compost	47
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
9.		METODOLOGÍA	53
	9.1.	Tipo de estudio	53

9.2.	Definición de variables.....	53
9.3.	Fases del estudio.....	55
9.3.1.	Fase 1. Exploración bibliográfica.....	55
9.3.2.	Fase 2. Recolección de datos	55
9.3.2.1.	Entrevistas.....	55
9.3.2.2.	Encuestas.....	56
9.3.3.	Fase 3. Caracterización de los residuos vegetales. 56	
9.3.3.1.	Identificación y recolección de residuos.....	57
9.3.3.2.	Determinación de la composición física de los residuos	57
9.3.3.3.	Porcentaje en peso	58
9.3.3.4.	Porcentaje de volumen.....	59
9.3.4.	Fase 4. Elaboración de compostera.....	60
9.3.4.1.	Ubicación del área de compostera.....	60
9.3.4.2.	Construcción de las pilas	61
9.3.5.	Fase 5 Diseño experimental.....	61
9.3.6.	Fase 6. Análisis financiero.....	62
9.3.7.	Fase 7 Presentación y discusión de resultados.....	65
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	67
11.	CRONOGRAMA	69
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	79
13.	REFERENCIAS	81
14.	APÉNDICES	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Manejo integral de residuos sólidos	24
2.	Evolución de la temperatura en el compostaje	37
3.	Requerimientos para el proceso de composta	39
4.	Identificación de la humedad	40
5.	Etapas del compostaje	41
6.	Estructura de pilas de compostaje	46
7.	Sistema Cerrado de compostaje	47
8.	Método de cuarteo de muestras	57
9.	Identificación del área de compostera	60
10.	Cronograma de actividades	69

TABLAS

I.	Parámetros del compost	32
II.	Definición de variables	53
III.	Clasificación de residuos	58
IV.	Caracterización de los residuos	59
V.	Materiales e insumos necesarios	61
VI.	Comparativo de pilas de compost	62
VII.	Identificación de costos variables	62
VIII.	Identificación de costos fijos	63
IX.	Análisis financiero	64
X.	Indicadores financieros	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P	Fósforo
Ha	Hectárea
m	Metro
<i>m</i>³	Metro cúbico
ml	Mililitro
mm	Milímetro
me	Microorganismos eficientes
N	Nitrógeno
K	Potasio

GLOSARIO

Abono orgánico	El abono orgánico es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros.
Compost	Fertilizante compuesto de residuos orgánicos (desechos domésticos, hierbas y deyecciones animales) tierra y cal.
Microorganismos Eficientes	Un microorganismo efectivo se refiere a cualquiera de los organismos predominantemente anaeróbicos mezclados en enmiendas comerciales agrícolas, medicamentos y suplementos nutricionales, originalmente comercializado, como: EM, MI y ME.
Fase Mesófila	La temperatura está comprendida entre 10 y 40 °C.
Fase Termófila	La actividad microbiana comienza a generar calor y la temperatura aumenta hasta llegar a los 60-70 °C.
Recepa	La recepa es un método de rehabilitar cafetales que consiste en cortar el tallo principal a una altura de 0.40 m desde el nivel del suelo.

RESUMEN

Para que los residuos vegetales sean degradados a tal punto de convertirse en materia orgánica, requiere de procedimientos previos que garanticen su rapidez y calidad para la obtención de abonos orgánicos con alto valor nutricional. El presente diseño de investigación está basado en un tratamiento mediante el cual se requiere del uso de técnicas de compostaje y microorganismos eficientes con el objetivo de acelerar el proceso de degradación de la materia orgánica para la obtención de un compost con buenas características nutritivas.

Inicialmente se caracterizarán los residuos de las áreas de la finca, para determinar la composición física de los materiales dispuestos en el área y calcular el porcentaje en peso y volumen de cada uno de ellos. Posterior se emplearán técnicas de compostaje para la construcción de pilas o composteras, posteriormente se efectuará el diseño experimental en donde se evaluará por un periodo aproximado de 3 meses, diferentes concentraciones de microorganismos eficientes para poder identificar si presenta cambios significativos en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica.

Por último, se efectuará un análisis económico para comprobar si es económicamente viable la realización de este tipo de tratamientos de residuos vegetales para así poder ser implementado a escala real en los procesos operativos de la finca.

1. INTRODUCCIÓN

Existe poco interés del sector agrícola para emplear nuevas herramientas y tecnologías para la degradación de desechos, coexisten normas para regular el uso de productos químicos, pero no se ponen en práctica debido a la falta de herramientas y estudios que planteen la correcta utilización de tecnologías para la degradación de desechos, como una alternativa al manejo. Las técnicas tradicionales de agricultura utilizan métodos como la quema y roza, aplicación de productos químicos como herbicidas y el uso constante de coberturas como mulch mismas que son fabricadas a partir de polipropilenos causantes de daños a la flora y fauna.

Este trabajo presenta el uso de microorganismos eficientes (ME), para la obtención de abonos orgánicos, abundantes en micronutrientes y macronutrientes, esenciales para mejorar el cultivo tradicional. Al utilizar técnicas de compostaje y aplicaciones de ME en los residuos de maleza, se mejora el tiempo de descomposición y la disponibilidad de nutrientes en el producto final.

El compost obtenido en el proceso de descomposición aerobia puede sustituir a productos inorgánicos como fertilizantes orgánicos y herbicidas, cuya persistencia en el ambiente pueden causar severos daños. Estos tipos de fertilizantes orgánicos obtenidos como producto final del proceso de descomposición de la materia orgánica son una gran fuente de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio.

Se realizará un estudio técnico y financiero adecuado para el aprovechamiento de residuos naturales, que producirán un compost que contribuirá a la fijación de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantas. Se iniciará con una caracterización de los desechos orgánicos, seguido de un ensayo de producción de compost, aplicando microorganismos eficientes, implementando métodos de composteo, para llegar a un producto final utilizable. Luego del estudio, se brindará un documento donde se podrá identificar los residuos que se generan en la finca y el método para su aprovechamiento, utilizando ME para obtener abonos con buenas características físicas y químicas.

Para la realización del estudio, se tendrá una fase inicial de recolección de datos, donde se efectuarán entrevistas y encuestas para conocer la situación actual y la localización de los residuos. Posteriormente, se hará una toma de muestras de los residuos agrícolas, haciendo una caracterización de estos para su adecuado manejo, como parte del proceso se tendrán composteras para formar el proceso de digestión aerobia por medio de microorganismos eficientes. Para ello se experimentarán varias dosis de estos y se buscará la de mayor eficiencia.

Al terminar el proceso se hará un análisis del compost obtenido y sus características. Se presentará un análisis financiero del proceso y sus productos, para calcular la viabilidad de su uso.

En el capítulo 1, se presentarán los antecedentes más importantes para esta investigación. En el capítulo 2, se hará una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos de esta aplicación particular, tales como; la clasificación de los residuos sólidos, la gestión de los residuos agrícolas, el compostaje en general, los microorganismos especiales para el compostaje, el compostaje, sus técnicas y los usos de los productos del compostaje. En el capítulo 3, se mostrará

el proceso de obtención de la materia prima. En el capítulo 4, se dará el detalle de la preparación de la compostera para la digestión aerobia. En el capítulo 5, se mostrará el diseño del experimento a realizar. En el capítulo 6, se detallará el estudio financiero para la implementación industrial de la propuesta. En los capítulos 7 y 8 se presentarán los resultados más significativos de la investigación y la discusión de estos respectivamente. Finalmente se darán las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la continuidad de esta.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala no se encontraron investigaciones específicas respecto a estudios técnicos y financieros para la utilización de Microorganismo Eficientes (ME) en la elaboración de compost utilizando residuos vegetales, sin embargo, se sabe que a menudo se realizan estudios de degradación de residuos sólidos de animales y algunos cultivos específicos. Sin embargo, en Guatemala se encontraron investigaciones relacionadas en la parte técnica, que se presentan a continuación:

En la tesis “Efecto de actividades biológicas sobre la velocidad de descomposición de desechos orgánicos y su influencia en la calidad del abono obtenido” (Pec, 2015), se evaluaron tres activadores biológicos y su efecto en la descomposición de restos vegetales y animales, el estudio indica un aumento en la aceleración en el proceso de descomposición del 25 %, también estima la viabilidad financiera en los diferentes puntos: costos de producción, mano de obra e insumos para la degradación de desechos sólidos y la reducción de costos fue de un 20 %.

Según Meléndez (2016), con el tema de tesis “Evaluación del efecto de microorganismos Eficientes, en diferentes disoluciones y frecuencias de volteo sobre la descomposición de pulpa de café”, evaluó 45 montículos de desecho sólido, equivalente a 1 tonelada de material, obteniendo abonos con características de calidad comercial mejores a las de la lombricomposta, pero a un bajo costo de producción, alrededor del 40 % en la disminución de costos), alcanzando una mejora en la rentabilidad del proyecto. También evaluó la calidad del abono obtenido y lo comparó con 2 abonos orgánicos diferentes, los

resultados en cuanto a los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, fue de un 10 % más alto que los demás y un aumento del 22 % en elementos menores como: cobre, hierro, magnesio, zinc, manganeso y calcio.

De acuerdo a la tesis “Evaluación de un producto comercial de microorganismos eficientes aerobios en producción de compost” (Oliva, 2014), los primeros estudios de compostación iniciaron con una experiencia en el año 1925, en la India, donde se realizó la evaluación por medio de la descomposición aeróbica de desechos sólidos de hojas y estiércol que se acumulaban en pilas por un periodo de seis meses, este método se identificó como proceso indore y ha sufrido modificaciones con el tiempo, ahí lograron identificar que mediante métodos adecuados en el manejo de desechos se obtenía una aceleración en la descomposición de hasta 30 días, en comparación de un nulo manejo de estos.

En otros países se encontraron estudios relacionados al tema de investigación y se presentan a continuación:

En la publicación científica llevada a cabo por Morocho (2019), con el título “Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas”, se explica que en América latina se tienen nuevas experiencias para el manejo de compost, la necesidad de obtener fertilizantes orgánicos con un alto valor nutricional ha llevado a una mayor capacitación de técnicos y personal de campo para un proceso artesanal, plantas operadoras manualmente a nivel de pequeños y medianos municipios y a nivel de barrios. En áreas como Guatemala, Brasil, Chile y Colombia, se han utilizado prácticas de compostaje como una alternativa tecnológica a la creciente disposición y manejo de residuos domésticos en las áreas urbanas, la publicación identifica que los productos los abonos resultantes presentan beneficios en cuanto: germinación de semillas, floración de las plantas, crecimiento y desarrollo de frutos y mejoramiento de la estructura física del suelo,

especialmente haciendo aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, también incrementa la fertilidad química del suelo, aumentando la disposición fotosintética de los cultivos y la capacidad para retener humedad y nutrientes, los microorganismos eficientes también poseen la característica de mejorar la maduración de abonos orgánicos.

Figuroa (2016), en su trabajo de investigación realizado en Perú, con el título “Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes”, establece las bases generales para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, identificó que las temperaturas máximas en el proceso de descomposición son de 70 °C y determinó que en residuos vegetales y hortícolas (tubérculos y legumbres), el tiempo para la obtención de abono es de aproximadamente 102 días. Así mismo, realizó una comparación de los nutrientes obtenidos con la norma de calidad de compost del instituto nacional de normalización de Chile, donde evaluó el rango en que se encuentran este tipo de abonos, clasificándolos en, clase A, Clase B o Inmaduro. En Guatemala no se ha realizado un estudio técnico a profundidad para este tipo de prácticas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las nuevas tecnologías y buenas prácticas agrícolas han generado un camino para un adecuado tratamiento de residuos vegetales en el sector agrícola. Se puede obtener compost o abonos orgánicos con altos niveles de fósforo, nitrógeno y potasio a partir de malezas o residuos vegetales no aprovechables, pero el desconocimiento de un estudio técnico y financiero para la elaboración de compost a base de Microorganismos eficientes (ME), causa que el sector agrícola se vea forzado al uso de inadecuadas prácticas agrícolas para la utilización y transformación de estos.

Una de las causas del desconocimiento de estudios técnicos y financieros para la utilización de Microorganismos, es debido al poco interés del sector agrícola para emplear nuevas herramientas y tecnologías que ayuden a la descomposición de desechos, gran parte de este sector utiliza productos inorgánicos para el deterioro y eliminación de malezas. Actualmente se cuentan con normas para regular el uso de productos químicos, pero la mayoría de los agricultores y empresas no las ponen en práctica debido a la falta de herramientas y publicaciones que plantean la correcta utilización de métodos para la descomposición de residuos.

Los daños ambientales que ocasiona la falta de guías técnicas para estudios de manejo de residuos en el sector agrícola conllevan a métodos como: la quema y roza, aplicaciones de herbicidas químicos y el constante uso de coberturas como el mulch, que son fabricadas a partir de polipropileno, causando daños en la flora y fauna que integra los entornos y ecosistemas de las diferentes regiones.

Las capacitaciones en el campo para la implementación de tratamientos y manejo de desperdicios orgánicos y acumulaciones de vegetación son necesidades en cualquier área productiva o de subsistencia agrícola, sin ellas las personas no tienen un entendimiento claro sobre los beneficios de las técnicas para la elaboración de productos con un alto nivel nutricional para el suelo y las plantas. Cuando no se capacita a las personas, es común que asuman dificultades para adaptarse y entender nuevas prácticas. Si bien pueden ser capaces de llevar a cabo su trabajo del día a día, generalmente incurren en malas acciones que contaminan el suelo o acumulan material orgánico en áreas específicas sin ningún uso. Todas las actividades del ser humano provocan una afluencia y exceso de desechos orgánicos e inorgánicos en determinadas áreas, en el sector agrícola ocasiona el uso de productos químicos y malas prácticas agrícolas.

Por años en la región se ha realizado la costumbre de la quema y roza de material vegetal, con el fin de poder deshacerse de cantidades consideradas de materia verde, estas prácticas inducen un aumento de la contaminación del aire, a la pérdida de nutrientes del suelo y al uso de productos químicos dañinos para la salud de las personas y el entorno del sitio.

La acumulación de grandes cantidades de desechos vegetales en el sector agroindustrial tiene como resultado que una gran porción de material que puede ser destinado para la producción de abonos ricos en nutrientes, no se esté realizando, debido a la ignorancia del uso de nuevos métodos y tecnologías para el manejo, radicando en técnicas deficientes para la gestión de los desechos.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio:

¿Cómo se puede evaluar la utilización de microorganismos eficientes en la elaboración de compost?

Para responder esta pregunta, se debe responder las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué caracterización de residuos vegetales existe actualmente en la finca?
- ¿Cuál es la dosis óptima de Microorganismos eficientes a utilizar para la elaboración de compost?
- ¿Cuál es la eficiencia y la calidad del compost obtenido con la aplicación de microorganismos eficientes?
- ¿Cuál es la viabilidad financiera de la elaboración de compost a partir de residuos vegetales?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento de residuos en el área de gestión ambiental de la maestría en energía y ambiente. Este trabajo expone mejorar las prácticas para el manejo eficiente y sostenible de residuos vegetales, haciendo uso de microorganismos eficientes (ME), con la finalidad de tener una producción agrícola más limpia, consiguiendo abonos orgánicos abundantes en nutrientes, con un efecto positivo en el cultivo tradicional.

Al utilizar ME en los residuos de maleza para la realización de pilas de compost, se contribuye a mejorar la fertilidad de suelo, ya que aumenta las propiedades físicas de este elemento. El compost obtenido en el proceso de descomposición aeróbica puede sustituir a productos inorgánicos como fertilizantes o herbicidas que causan severos daños al medio ambiente, adicional a ello son una gran fuente de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio. En la presente investigación también se realizará un estudio técnico y financiero que permita identificar la viabilidad de utilizar e implementar estos productos y procedimientos para el tratamiento de desechos, también se obtendrá información útil como: metodologías a realizar, eficiencia del uso de microorganismos eficientes, la calidad del compost obtenido y las características físicas y químicas del producto final.

Se beneficiará a todo el sector agrícola de pequeñas, medianas y grandes empresas, contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente y al recurso suelo que los rodea, obteniendo un producto beneficio para el aporte de nutrientes con muy buenas características para ser usado como fertilizante orgánico.

La investigación favorecerá a un importante sector agrícola de Guatemala y al medioambiente, ya que plantea la utilización de tecnologías sostenibles para la solución de la acumulación de malezas y desechos, aportando para un futuro nuevas técnicas para el manejo de desechos en la agricultura sostenible y de producción.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar técnica y financieramente la utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost, utilizando residuos vegetales.

5.2. Específicos

- Caracterizar y cuantificar los residuos sólidos generados en la finca.
- Identificar la dosis óptima de microorganismos eficientes para la obtención de compost.
- Estimar la eficiencia y la calidad del compost obtenido.
- Determinar la viabilidad financiera de la elaboración de compost a partir de residuos vegetales.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se presenta una deficiencia en el manejo de residuos sólidos vegetales en una finca agrícola en el municipio de Acatenango a raíz del desconocimiento de un estudio técnico y financiero para la elaboración de compost a base de Microorganismos eficientes, el problema también afecta de manera perjudicial a gran parte del sector agrario del mismo municipio, por ello se propone un manejo integrado, que permita disminuir la cantidad de desechos vegetales en las áreas de producción. Para esto se identificarán las características de los residuos que se generan en la finca, labor que es muy importante debido a que aporta la metodología y la caracterización que puede ser usada en áreas similares.

La causa de la inexperiencia en el manejo integrado de residuos vegetales reside principalmente en el poco interés del sector agrícola para el uso de los remanentes de cultivos anteriores y de las malezas que crecen en los alrededores de la finca. También de la inexistencia de guías técnicas para el manejo adecuado de desechos orgánicos, lo que estimula una falta en la clasificación de residuos. El estudio brindará los lineamientos necesarios para la gestión de los residuos, empezando por el conocimiento de los restos generados en el área de producción de la finca, la dosis óptima de ME a utilizar, la recolección de desechos, clasificación de estos, hasta el compost final.

Se proporcionará un estudio técnico y financiero adecuado para el aprovechamiento de residuos naturales, mejorando la imagen de la finca, proliferación de roedores, plagas y enfermedades, evitando la acumulación del remanente agrícola en las diferentes áreas de siembra, además, aportará un compost que permitirá contribuir a la fijación de nitrógeno, fósforo y potasio, a las

plantas. Esto se logrará por medio de una adecuada caracterización de los desechos orgánicos, aplicaciones de microorganismos eficientes, métodos de composteo y el producto final obtenido.

Los beneficiarios directos serán los trabajadores de la empresa y la institución en sí, pues tendrán las directrices para un manejo integrado de residuos sólidos, así mismo la finca estará cumpliendo con sus compromisos ambientales, evitando el uso de productos químicos y colaborando con la producción de fertilizantes orgánicos con altos valores de micro y macro nutrientes, también servirá como un antecedente para empresas que quieran implementar el manejo de residuos vegetales con características similares.

Al finalizar el estudio, se brindará un documento donde podrán identificar los residuos que se generan en las áreas de la empresa, con esto, lograrán contar con una alternativa sobre la utilización de microorganismos en los restos vegetales, para obtener abonos con buenas características físicas y químicas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Clasificación y características de los desechos

Los residuos sólidos están integrados por todos los restos y desperdicios que desechan los seres humanos después de un determinado uso, en general, los residuos no aportan algún valor extra a las personas, pero cuando estos son administrados de forma adecuada, forman parte de un significativo aporte económico para la sociedad, los desechos se componen por lo general por todos los materiales que se utilizan en la fabricación de bienes, servicios y el consumo del día a día de los individuos (Collazos, 2008).

Domínguez (1996), estableció que los desechos se pueden clasificar de varias formas, siendo estas:

7.1.1. Por su estado

Según el estado físico en que estos se encuentren se pueden clasificar en:

7.1.1.1. Sólidos

Son todos los desechos de la vida cotidiana del ser humano, en sí los desechos sólidos tienen una forma definida y determinada, ocupando un espacio en la superficie de la tierra, por lo que es necesario que sean incorporados en procesos ecológicos y productivos que eviten aglomeraciones en diferentes zonas.

7.1.1.2. Líquidos

Aquí se engloban residuos provenientes de tareas realizadas por individuos en el sector industrial, el hogar, centros educativos, lugares de servicios como: hospitales y plantas de energía, se identifican del tipo; tóxicos, inflamables, explosivos, corrosivos, biológicos, aceites, combustibles y radiactivos (Torres, 2008).

7.1.1.3. Gaseosos

Estos son generados a partir de fincas, fábricas y plantas procesadoras de productos, están contenidos todas las emisiones gaseosas que son transportadas directamente a la atmósfera, por lo general, se generan por actividades agrícolas e industriales, mediante conversiones químicas o bioquímicas, se destacan gases como anhídridos sulfurosos, sulfúricos y óxidos de nitrógeno, que son los causantes de las lluvias ácidas (Torres, 2008).

El sector de hidrocarburos también emite contaminación del aire por medio de dioxinas que son liberadas al ambiente por la industria petrolera, la incineración de residuos también es causante de una secuencia de gases contaminantes, como el dióxido de carbono emitido en los diferentes procesos de combustión (Fernández, 2007).

7.1.2. Clasificación de los residuos por su composición

Fernández (2007), identificó que los residuos se clasifican por su composición:

7.1.2.1. Orgánica

Son todos los residuos que pueden sufrir un proceso de descomposición natural, se componen por restos de animales, plantas, comidas y papeles.

7.1.2.2. Inorgánica

Por lo general, los residuos inorgánicos son producidos o fabricados por el hombre a través de procesos químicos, se pueden identificar, metales, vidrios y plásticos.

7.1.3. Por su naturaleza

- Reutilizables
- No reutilizables

7.1.4. Por su origen

- Domésticos
- Institucionales
- Comerciales
- Industriales
- Agrícolas
- De construcción
- Municipales
- Por tipo de manejo

7.1.5. Peligrosos

Aquí se integran todos los residuos que pueden provocar complicaciones de salud a personas, animales y plantas, provocando incluso la muerte, por ejemplo: los residuos de hospitales.

7.1.6. Corrosivos

Todos los residuos que son utilizados en el sector de la industria química como: ácidos, fenoles, bromos o ingredientes utilizados para el mantenimiento de tuberías de sanitarios.

7.1.7. Explosivos

Generados en la industria química-industrial, como los cloratos, peróxidos, ácidos pícricos y TNT, por lo general son componentes que en contacto con otros elementos pueden ser explosivos.

7.1.8. Inflamables

Como resultado de las actividades en la industria de combustibles y limpieza, se generan y producen este tipo de residuos que están integrados por los diferentes tipos de alcoholes, hidrocarburos aromáticos, acetonas y éteres, este tipo de componentes son los que más daños causan en empresas, fábricas y viviendas.

7.1.9. Reactivos

Elementos como los metales alcalinos, magnesio y nitratos.

7.1.10. Tóxicos

El sector agrícola tiene un efecto importante en desechos tóxicos, gran parte de los plaguicidas, herbicidas e insecticidas están elaborados por compuestos tóxicos como sales, anilinas y cianuros.

7.1.11. Infecciosos

Son todos los desechos provenientes de laboratorios médicos, es el equipo utilizado para exámenes de sangre, muestras de orinas, jeringas, tejidos, órganos y partes que se remueven de personas y animales.

7.2. Gestión de residuos sólidos

La administración integral de residuos sólidos (GIRS), es una herramienta necesaria para: captación, traslado, proceso y disposición de desechos, de forma que se relaciona con el bienestar hacia las distintas comunidades aledañas, con los aspectos económicos, de conservación del entorno, el ornato de la ciudad y los aspectos ambientales y de carácter público que puedan englobarse (Torres, 2008).

El proceso de administración de residuos debe de realizarse tomando en cuenta varias características y normas de la región donde se efectúe, involucrando a diferentes grupos de personas necesarias para su ejecución, como lo son municipalidades, población en general, organizaciones internacionales, COCODES, personal a cargo de la recolección de basura, personal a cargo del reciclado e individuos informales que se identifican en esta rama laboral, todos ellos deben de ser capacitados en las acciones que ayuden a un eficiente y eficaz manejo de los residuos, ayudando a facilitar la

sostenibilidad y beneficios que pueden ser aportados con estas práctica (Domínguez, 1996) .

La administración integral de residuos sólidos o como sus siglas lo identifican GIRS, se constituye como la selección y aplicación de conocimientos, tecnologías y medios aptos para garantizar las metas y los objetivos que se engloban en la GIRS (Torres, 2008).

El manejo integral se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 1. **Manejo integral de residuos sólidos**



Fuente: Fernández (2007). Guía para la gestión integral de los desechos sólidos urbanos.

La figura anterior es de suma importancia para los aspectos por tomar en cuenta para una adecuada gestión de residuos sólidos.

Tchobanoglous (1997), hace mención que se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos para una correcta administración de los desechos sólidos:

7.2.1. Técnico

Debe de ser un método simple de efectuar, por medio de una correcta operación y un buen mantenimiento, para una implementación eficiente, es necesario que se utilicen recursos humanos, materiales y equipos provenientes de la zona donde se llevará a cabo el proyecto.

7.2.2. Social

Debe fomentar y educar a la comunidad, con hábitos positivos y promover la participación íntegra de los individuos de una determinada zona.

7.2.3. Económico

Costos de implementación bajos y una operatividad que puedan estar al alcance de la comunidad ya que son ellos quienes tendrán que pagar los servicios.

7.2.4. Organizativo

La operatividad y gestión de los servicios deben de ser eficientes y eficaces, esto con el fin de que el ciclo del proceso se cierre en el menor tiempo posible.

7.2.5. Salud

Es necesario una adecuada integración de programas de prevención de enfermedades, ya que cuando existe un inadecuado manejo de desechos se generan enfermedades y daños a la salud.

7.2.6. Ambiental

Impedir la contaminación del suelo, agua y el aire, durante el proceso. Así se evitarán daños a los seres vivos que son parte del entorno natural.

7.2.7. Generación de la fuente

Desde inicios de la humanidad, los seres humanos generan residuos, la generación de residuos es una actividad del proceso de vida de las personas, gran parte de estos están directamente relacionados al estilo de vida de cada una de las personas, el entorno económico en la que se encuentra, el área geográfica en la que habita y el tipo de actividad económica en el que se desarrollan. Como generalidad, todas las fuentes de residuos sólidos pueden identificarse como; áreas de trabajo, hogares, centros educativos, siembras, ganadería, hospitales y mercados (Cantanhede, 2003).

La administración integral de desechos sólidos propone abordar la correcta reducción en los diferentes tipos de fuente, como la forma más eficaz de disminuir los costos asociados al manejo de estos y daños medioambientales que pueden producir. La disminución de los residuos puede ser mediante el diseño, fabricación y la utilización de los recursos de manera eficiente, en los hogares, comercios, supermercados e industrias, se pueden lograr mediante la compra de productos específicos y el reúso o técnicas de reciclaje (Jaramillo, 1997).

7.3. Aspectos por tomar en cuenta

Independientemente si se desea implementar o mejorar un sistema de residuos sólidos o alguna limpieza en una determinada región, es necesario que se tomen en cuenta ciertos aspectos, los cuales se enlistan a continuación (Domínguez, 1996).

7.3.1. Generación por persona, trabajador o empresa

Esta acción es necesaria para una estimación de la cantidad de residuos que se pueden producir en los hogares o una región en particular.

7.3.2. Generación de residuos

Es necesario para el cálculo del número de contenedores, recipientes, tamaños y la frecuencia de acumulación, para poder obtener o estimar los requerimientos del área de trabajo.

7.3.3. Composición de los residuos

Es necesario un muestreo del área a utilizar, ya que de esa manera se pueden evaluar las posibles opciones de manejo y procesamiento, clasificándose en: reciclado, compostaje o incineración.

7.4. Almacenamiento

Esta etapa es muy importante, ya que los residuos son almacenados en un lugar en específico, procurando que no ocasionen contaminación al ambiente, daños a la flora o fauna y evitando la acumulación prolongada de las áreas

públicas, este proceso es necesario hasta que los residuos sean transportados hacia una zona específica (Cantanhede, 2003).

Los aspectos en tomar en cuenta para el almacenamiento de los residuos vegetales deben de ser los siguientes (Jaramillo, 1997):

- Acorde al volumen y a las características de los residuos.
- Conforme al sistema de recolección utilizado.
- De acuerdo con la frecuencia de recolección.
- Que protejan la salud de las personas.

También es necesario que el lugar utilizado para el almacenamiento cuente con características como:

- Deben de ser un lugar de fácil manejo y mantenimiento.
- Los recipientes por utilizar para el almacenamiento deben ser resistentes.
- No ser inflamables.
- Impermeables.
- Sin bordes astillados o afilados.

7.5. Recolección y transporte

Los servicios de transporte representan alrededor del 50 % de los costos en el manejo de residuos sólidos, en este punto surge la importancia de su adecuada operación (Domínguez, 1996).

La actividad en tiene como objetivo principal la evacuación de los residuos de la zona donde se producen, con la finalidad que se integren en una instalación

donde puedan procesarse, como: vertederos, centros de reciclaje, áreas para composteo o espacios para incineración (Tchobanoglous, 1997).

Para la recolección es necesario utilizar diferentes tipos de vehículos, por ejemplo: en las zonas urbanas se suelen utilizar camiones de volteo, en el área rural se suelen utilizar pick up o camiones pequeños, dentro de fincas, es común la utilización de tractores o carretas. La optimización del transporte está determinada en gran parte por el vehículo o la herramienta utilizada para esta actividad, también es necesario tomar en cuenta factores como: rutas o vías de transporte, el periodo de recolección y el método utilizado para recolectar los desechos (Cantanhede, 2003).

Según Fernández (2007), “es importante que los residuos no se acumulen por más de 1 semana, la acumulación de los desechos sin ser tratados puede generar malos olores y la aparición de insectos y roedores” (p. 54).

En mercados; la recolección debe realizarse todos los días, ya que esas zonas están propensas a plagas y animales que generen enfermedades, la recolección en los hogares; depende de la cantidad de desechos que cada familia produce, con un promedio de recolección de 2 veces por semana; la recolección en las áreas de producción industrial deben de realizarse todos los días, previo a una extracción, se recomienda clasificar los desechos; para las zonas agrícolas, la recolección debe generarse cada vez que se aplican realizan actividades como: chapeos, rotación de cultivos o en la extracción de frutos u hortalizas (Fernández, 2007).

7.6. Tratamientos

El tratamiento es uno de los procesos más importantes en la GIRS, ya que tiene como objetivo principal: disminuir los diferentes tipos de contaminación que hoy afectan el medioambiente, daños provocados a la salud y el ornato de las áreas urbanas y rurales, a continuación, se enlistan algunos métodos utilizados para un adecuado manejo (Jaramillo, 1997):

- Incineración
- Compostaje
- Reciclaje y reutilización
- Transformación

7.6.1. Incineración

Consiste en degradar la materia orgánica por medio de altas temperaturas, los residuos son quemados o incinerados, esta práctica genera contaminación del aire y es muy común en zonas donde el manejo es escaso, en este proceso grandes cantidades de dióxido de carbono son liberadas al ambiente, el objetivo de este método es obtener un volumen menor al producto inicial. La incineración es común en regiones o áreas donde existe una poca disponibilidad de espacios, por ello los rellenos sanitarios resultan ser una vía de difícil acceso, es necesario tomar en cuenta que los costos de operación de este proceso son relativamente elevados (Jaramillo, 1997).

La principal desventaja del proceso de incineración es el impacto adverso que genera a la atmósfera, ocasionada por los gases de combustión, cenizas y dióxido de carbono que se genera en el proceso, si la práctica se realiza en un ambiente controlado, la contaminación ambiental puede disminuirse

considerablemente, esto es viable colocando controladores de efluentes gaseosos como filtros electrostáticos y lavadores de gases (Torres, 2008).

Existen residuos que son tratados mediante la incineración, ya que es el método que mejor encaja para estos productos, como los desechos hospitalarios o materiales que son propensos a la transmisión de enfermedades (Torres, 2008).

7.6.2. Compostaje

Es un método de degradación de los desechos de forma aeróbica, este proceso suele ser controlado, dependiendo de la metodología a utilizar se obtienen diferentes tipos de abonos, con cualidades físicas y químicas específicas, estos abonos son usados para diferentes propósitos como el área agrícola, forestal y ornamental.

Algunos de los elementos y nutrientes que aportan los abonos orgánicos son: nitrógeno, fósforo y potasio y un gran número de micronutrientes (Oliva, 2010).

En la siguiente tabla se muestran algunos elementos generales de la composición de los abonos provenientes de residuos orgánicos.

Tabla I. **Parámetros del compost**

Parámetro	Unidad	Rango	Rango
pH	-	-	1/5
Contenido de humedad	-	-	
Fósforo	%	0.2-1.5	-
Potasio	%	0.4-1.3	-
Manganeso	PPM	430-600	-
Nitrógeno	%	0.6-1.7	-
material orgánico	%	20%- 40%	-
Relación C:N	-	-	20-25:1

Fuente: Lucero (2010). *Ensayo sobre el efecto de la adición de microorganismos en la descomposición de gallinaza pura.*

Del compost, se obtienen una gran cantidad de beneficios, como ser un importante aporte microbiano para diferentes ámbitos, esta actividad suele mejorar la estructura del suelo, aumentando la capacidad para retención de agua, adicional a ello, se aporta una gran cantidad de micronutrientes y macronutrientes al suelo, estos elementos ayudan a la desintegración aeróbica de materia orgánica, iniciando los métodos importantes para el aporte de nutrientes (Palma, 2012).

Este método es muy importante en GIRS, especialmente para zonas de cultivo en donde se obtiene una alta cantidad de desechos al finalizar el ciclo productivo de las siembras, a su vez, se puede aplicar esta práctica para ciudades pequeñas y medianas, previo a una adecuada clasificación de estos (Oliva, 2010).

7.6.3. Reciclaje

El reciclaje es sin duda una de las actividades más importantes en la gestión integral de residuos, ya que abarca actividades como (Domínguez, 1996):

- Separación de los desechos sólidos
- Reutilización
- Reciclaje
- Reducción

El reciclaje es muy importante para minimizar la cantidad de elementos que serán enviados al relleno sanitario, también ayuda a disminuir la demanda de recursos necesario para la fabricación de productos que pueden ser reutilizables. En la región centroamericana, la práctica del reciclaje se lleva a cabo desde hace algunos años, practicante es una actividad reciente, los materiales son recolectados por personas informales y en algunos casos por empresas que se encargan de segregar los desechos, los materiales que más se colectan son: papel, vidrio, aluminio, plástico y cartón (Cantanhede, 2005).

Para los proyectos de reciclaje es muy importante tomar en cuenta lo siguiente:

- El precio de lo que se está reciclando.
- El uso o la demanda de los materiales reciclados.
- Volumen de lo que se segrega.
- Tecnologías por utilizar.
- Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento.

7.7. El compostaje

La práctica del compostaje es un proceso biológico muy importante para una gestión de residuos óptima, ya que se desencadenan varias acciones para un adecuado proceso de degradación, siendo por medio de compostajes, digestión aeróbica, el biosecado térmico o mediante aplicaciones de microorganismos eficientes (Lucero, 2010).

En los procesos de compostaje se tiene una fuerte relación con los microorganismos en actividades de desintegración de materia orgánica, por lo tanto, su desarrollo es esencial para llevar a cabo dicho proceso (Solares, 2008).

7.7.1. Fases en el proceso del compostaje

En todos los procesos de compostaje se pueden apreciar por lo menos 2 etapas, las cuales son la fase de descomposición y la fase de maduración (Solares, 2008).

7.7.1.1. Fase de descomposición

Esta fase contempla que las moléculas se degradan en orgánicas e inorgánicas más simples, este proceso se genera debido a las altas temperaturas que ocurren en el ciclo de descomposición (proceso exotérmico), debido a la constante actividad microbiana. La descomposición se divide en 2 fases: fase mesófila, con una temperatura aproximada de 45 grados centígrados y una fase termófila, con una temperatura promedio de 70 grados centígrados (Franco, 2018).

7.7.1.2. Fase mesófila

En el inicio de la descomposición, se generan varios microorganismos mesófilos que dan marcha a la descomposición de moléculas más sencillas y fáciles de degradar. En esta fase se inicia la generación calor, llegando a temperaturas aproximadas de 45 grados Celsius, debido a las altas cantidades de energía que se libera al degradar elementos que componen el material orgánico, así mismo se estimula la generación de la Microflora denominada mesófila (Palma, 2018).

7.7.1.3. Fase termófila

Cuando se alcanzan temperaturas por encima de los 45 grados centígrados, los microorganismos mesofílicos mueren o permanecen en un estado de hibernación, en este punto empiezan a desarrollarse microorganismos llamados termófilos, que se encargan de sintetizar componentes más complejos, en general, estos microorganismos degradan elementos como el nitrógeno a elementos como el amoníaco, en sí, la energía aumenta y la temperatura puede alcanzar niveles por encima de los 75 grados centígrados, en donde los agentes patógenos son eliminados (Franco, 2018).

7.7.1.4. Fase de maduración

Al igual que la fase de maduración, esta etapa se divide en dos partes; la fase de enfriamiento y la fase de estabilización (Solares, 2008).

7.7.1.5. Fase de enfriamiento

La fase de enfriamiento oscila con temperaturas de 40 grados centígrados y la temperatura ambiente, esta etapa suele llevarse a cabo en zonas de volteo y no es necesario un sistema de aireación, ni someter el compost a constantes movimientos (Franco, 2018).

7.7.1.6. Fase de estabilización

Es de los últimos cambios en el compost, se desarrolla a temperaturas de su entorno natural y la acción microbiana desciende de manera exponencial, por lo general aparecen mejores elementos llamados organismos superiores (Palma, 2018).

7.8. Parámetros del proceso

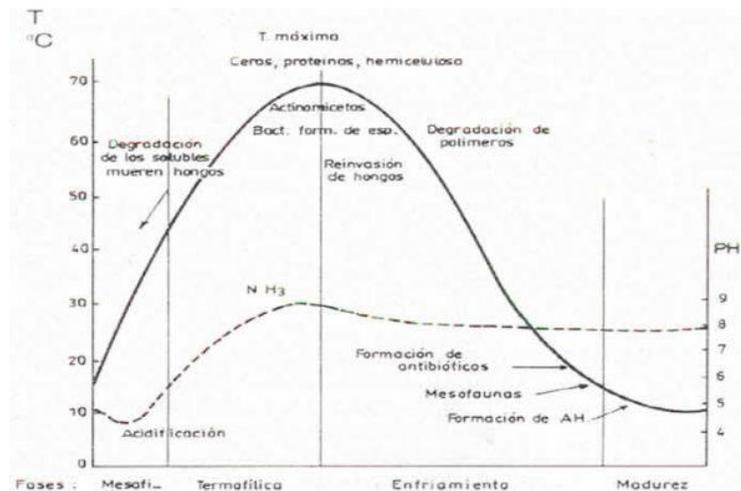
Para que el composteo pueda llevarse a cabo en óptimas condiciones, se han identificado parámetros ideales de temperatura, aireación, humedad, porosidad y pH (Solares, 2008).

7.8.1. Temperatura

La temperatura juega un papel muy importante, ya que es el primer indicador de que el proceso se desarrolla correctamente, por ejemplo, cuando la temperatura incrementa en el inicio del proceso, significa que el residuo orgánico se encuentra constituido por materiales degradables y su entorno, es el ideal (Franco, 2018).

En sí, el calor se genera cuando las moléculas contienen altas cantidades de energía entre sus enlaces y estos se liberan al momento en que está se degrada y se convierte en otras más sencillas. Mantener una elevada temperatura asegura que el compost presenta características limpias, pero si la temperatura tiende a ser demasiada alta (mayor a 80 °C), existe la posibilidad que los microorganismos mueran (Palma, 2018).

Figura 2. **Evolución de la temperatura en el compostaje**



Fuente: Tchobanglous (1994). *Gestión Integral de residuos sólidos*.

En la gráfica anterior se puede identificar diferentes comportamientos de temperatura en el proceso de compostaje, cuando esta se mantiene en un rango de 35 y 40 grados centígrados, se obtiene la mayor diversidad microbiana, el máximo proceso de biodegradación se consigue con temperaturas de 45 y 55 grados centígrados (Solares, 2008).

7.8.2. Aireación

En el proceso de composteo, los microorganismos consumen gran cantidad de oxígeno, por tal motivo la aireación es fundamental en la ejecución, el porcentaje de oxígeno del aire del residuo debe estar en un rango de 5 % a 7 % (Tchobanglous, 1994).

La importancia de la aireación en los procesos de compost son los siguientes:

- Aportar el oxígeno para que los microorganismos puedan interactuar entre sí.
- Regula el exceso de la cantidad de humedad que existe en el material a degradar.
- Proporciona temperaturas adecuadas para el proceso.

Las aplicaciones de oxígeno en el proceso dependen de la metodología a usar, por lo general, esta actividad se realiza con técnicas de volteo, pero puede desarrollarse de manera natural, conforme al tipo de sustrato y materiales utilizados para el compostaje, si la mezcla a emplear posee estructuras porosas favorece al intercambio de gases (Palma, 2018).

Figura 3. **Requerimientos para el proceso de composta**



Fuente: Oliva (2010). *Ensayo sobre la elaboración de compostaje de pollo de engorde.*

7.8.3. **Humedad y porosidad**

El agua desempeña varios papeles en el composteo, siendo el medio por el cual los microorganismos viajan a diferentes zonas del compost, favoreciendo la multiplicación de los microorganismos y a la utilización de moléculas orgánicas que se van a descomponer (Oliva, 2010).

Si existe poca humedad en el proceso, se obtienen niveles inferiores de compostaje, incluso sin humedad, el proceso puede llegar a detenerse, con niveles de humedad entre el 40 % y 20 %, la acción biológica comienza a disminuir, el rango ideal de humedad para el proceso debe de ser entre 40 % y 60 %. Pero para la fase final, es importante que el porcentaje de humedad descienda significativamente, ya que facilita el manejo del abono orgánico (Oliva, 2010).

En términos generales, se dice que la porosidad es la cantidad de espacio vacío en relación con el cuerpo total, cuando se trabajan con cuerpos con bajos niveles de porosidad, es necesario utilizar materiales naturales que ayuden estructurar los residuos, la importancia de esta actividad radica en que los espacios vacíos, son ocupados por aire o agua (Torres, 2008).

Figura 4. **Identificación de la humedad**



Fuente: Oliva (2010). *Ensayo sobre la elaboración de compostaje de pollo de engorde.*

7.8.4. pH

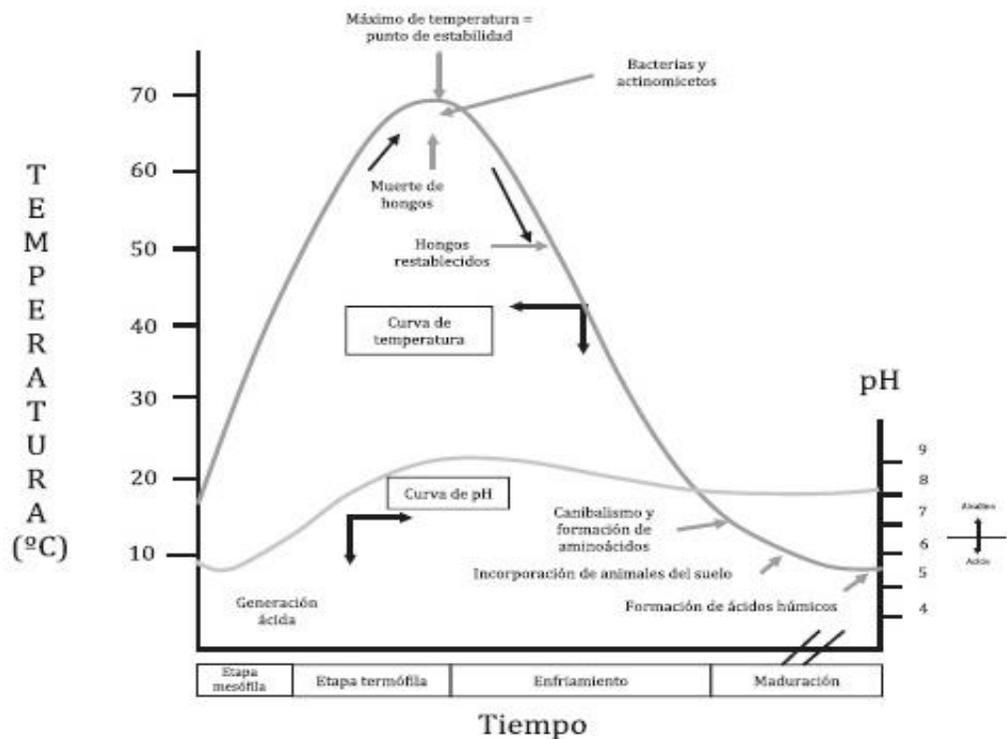
Oliva (2010), expone que el pH es un indicador sobre la acidez de los compuestos, en sí, indica la porción de iones hidrógenos que se encuentran distribuidos en una determinada sustancia. La teórica divide los niveles de pH en:

- Ácido (inferior a 7)
- Alcalino (superior a 7)
- Neutro (igual a 7)

Para el proceso de compost, se requiere un nivel neutro, ya que los microorganismos no toleran valores arriba de 7 y menores de 7, en sí, estos operan en conformidad con un pH neutro (Palma, 2018).

Cuando el proceso inicia, se forman ácidos orgánicos, lo que provoca un decrecimiento en el valor del pH, conforme el proceso continuo el pH aumenta por motivos de la degradación de compuestos con niveles de pH ácidos (Palma, 2018).

Figura 5. **Etapas del compostaje**



Fuente: Oliva (2010). *Ensayo sobre la elaboración de compostaje de pollo de engorde.*

7.9. Microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes (ME), fueron producidos en los años 70, por un investigador de la Universidad de Okinawa en Japón, el docente Teruo Higa identificó 3 especies de organismos capaces de desarrollar una participación y concentración de varios factores, que pueden ser utilizados en otras áreas del día a día, siendo estos microorganismos; levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas (Rodríguez, 2009).

Piedrabuena (2003), menciona que los microorganismos al estar en contacto con materia orgánica expulsan sustancias agradables con las plantas y vegetales, ya que estas enzimas contienen minerales, ácidos orgánicos, vitaminas y antioxidantes. Además de poseer componentes que ayudan a cambiar la micro y macro flora del suelo.

7.10. Tipos de Microorganismos eficientes

Existen varios tipos de microorganismos eficientes, pero podemos agruparlos en todos aquellos organismos que restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisicoquímicas. Entre ellos podemos encontrar:

7.10.1. Bacterias ácido lácticas

Este tipo de microorganismo generan ácido láctico, partiendo de carbohidratos que son sintetizados por bacterias fotográficas y levaduras. Según Pec (2015), “los organismos ácido lácticos incrementan la segmentación de elementos orgánicos, especialmente en compuestos como celulosa y lignina (p. 102).

7.10.2. Bacterias fotosintéticas

Valle (2014), expone que estas bacterias son muy peculiares ya que a través de la luz proveniente del sol y las altas temperaturas del medio que las rodean, sintetizan sustancias como raíces, gases y materia orgánica.

Además, promueven el crecimiento y el desarrollo de plantas debido a las sustancias que estas sintetizan como lo son: ácidos nucleicos, aminoácidos, sustancias bioactivas y carbohidratos, promueven el balance con otros microorganismos eficientes, permitiendo funcionar plenamente (Pec, 2015).

7.10.3. Levaduras

Las levaduras promueven la división celular por medio de elementos bioactivos, como hormonas y enzimas que estas ocasionan, las secreciones de este tipo de bacteria son el alimento para las bacterias ácido lácticas, en sí, la levadura acelera el proceso de fermentación de la materia orgánica (Piedrabuena, 2009).

7.11. Aplicación de los microorganismos eficientes

Higa (2013), comenta que el mejor uso que se le puede dar a los ME, es en la agricultura, ya que con aplicaciones directas de ME, el suelo tiende a retener una mayor cantidad de humedad, mediante esta práctica, las plantas pueden soportar períodos de sequía más prolongados.

Además, son utilizados para un eficiente uso del suelo y un apropiado crecimiento de las plantas en la etapa inicial, debido a que existen nutrientes provenientes de la descomposición de materia orgánica.

Much (2005), menciona algunas aplicaciones de los Microorganismos eficientes:

7.11.1. En semillas

Los microorganismos contribuyen a un aumento en el desarrollo en la germinación de semillas, extienden el vigor de crecimiento de las raíces en los cultivos, ya que tienen un impacto en las hormonas, impacto que suele ser muy parecido al del ácido giberélico. En sí los ME tienden a desarrollar la supervivencia de las plantas (Franco, 2018).

7.11.2. En plantas

Se ha determinado que las aplicaciones solubles de ME, mejoran el sistema inmune de las plantas, convirtiéndolas más resistentes al ataque de insectos y una protección al organismo para poder combatir enfermedades (Higa, 2013).

7.11.3. En los suelos

Como se ha hablado en el documento, el suelo es uno de los elementos mejores que mejor se beneficia por los microorganismos eficientes, ya que optimizan características físicas, químicas, biológicas y de liquidación de enfermedades (Lucero, 2010).

7.12. Técnicas de compostaje

Existe una diversidad de técnicas para el proceso de compost, principalmente se centralizan en dos divisiones, siendo los sistemas abiertos de compostaje y sistemas cerrados de compostaje (Solares, 2008):

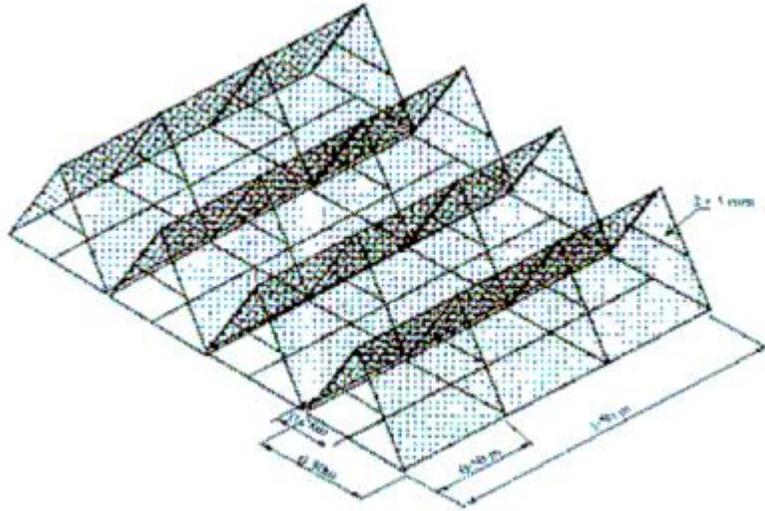
7.12.1. Sistemas abiertos

“Los sistemas abiertos, son los métodos más económicos para el composteo, se realiza en lugares abiertos, sin la necesidad de manejar áreas cerradas, evitando maquinaria más compleja” (Solares, 2008, p. 65).

En el sistema abierto predomina el uso de pilas, este sistema tiene una relación costo\beneficio muy efectivo, como ventajas; se estimula la aireación del producto, ya sea por succión o volteo, la pila se manipula periódicamente, para poder obtener un material homogéneo (Lucero, 2010).

Las frecuencias del volteo dependen de la clase de productos o insumos que se utilizan en el compostaje y la velocidad que se requiere para el proceso.

Figura 6. **Estructura de pilas de compostaje**



Fuente: Cantanhede (2005). *Estudios de caracterización de residuos sólidos*.

7.12.2. **Sistemas cerrados**

Para poder obtener un alto control de los parámetros, existen sistemas cerrados, con el fin de minimizar el tiempo del proceso y la posibilidad de obtener un trabajo continuo. El principal inconveniente de los sistemas cerrados radica en los altos costos de operación e instalación (Meléndez, 2016).

Los sistemas cerrados se dividen en dos grupos

Reactores de flujo vertical: con alturas promedio de 4 metros, un sistema de aireación forzada o volteo, teniendo una menor relación de costo por cada unidad a producir (Cantanhede, 2005).

Reactores de flujo horizontal: constan de reactores que contienen contenedores rotatorios y reactores que poseen contenedores con geometrías variables (Meléndez, 2016).

Figura 7. **Sistema Cerrado de compostaje**



Fuente: Cantanhede (2005). *Estudios de caracterización de residuos sólidos*.

7.13. Usos del compost

Solares (2007), explica que los compost son fuentes de nutrientes con alto contenido de microorganismos esenciales para el crecimiento y desarrollo apto de árboles frutales, pastizales, horticultura y floricultura.

Oliva (1964), exterioriza que la utilización de compost aporta condiciones físicas deseables en los suelos, debido a las peculiaridades para la retención de humedad y aportación de nutrientes cuando las condiciones climáticas no son favorables para la desintegración natural.

El compost tiene la característica de poder retener la humedad, detiene alrededor de 10 veces su peso en agua y contribuye a lidiar con elementos extremos que generalmente producen un desequilibrio químico en el suelo. El compost también es de vital importancia contribuyendo a la liberación de nutrientes y actuando como una herramienta para la absorción de fertilizantes y metales beneficiosos.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Antecedente de la investigación
- 1.2. Clasificación y características de los desechos
 - 1.2.1. Por su estado
 - 1.2.2. Sólidos
 - 1.2.3. Líquidos
 - 1.2.4. Gaseosos
- 1.3. Clasificación de los residuos por su composición
- 1.4. Gestión de residuos sólidos
- 1.5. Aspectos por tomar en cuenta
- 1.6. Almacenamiento
- 1.7. Recolección y transporte
- 1.8. Tratamientos
- 1.9. Incineración
- 1.10. Compostaje

- 1.11. Reciclaje
- 1.12. El compostaje
- 1.13. Fases en el proceso del compostaje
 - 1.13.1. Fase de descomposición
 - 1.13.2. Fase mesófila
 - 1.13.3. Fase termófila
 - 1.13.4. Fase de maduración
 - 1.13.5. Fase de enfriamiento
 - 1.13.6. Fase de estabilización
 - 1.13.7. Parámetros del proceso
- 1.15. Concepto general de microorganismos eficientes
- 1.16. Tipos de microorganismos eficientes
 - 1.16.1. Bacterias ácido lácticas
 - 1.16.2. Bacterias fotosintéticas
 - 1.16.3. Levaduras
- 1.17. Aplicación de los microorganismos eficientes
- 1.18. Técnicas de compostaje
- 1.19. Usos del compost

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Entrevistas
- 2.2. Encuestas
- 2.3. Recorridos en la finca

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES

- 3.1. Identificación y recolección de residuos
- 3.2. Determinación de la composición física de los residuos

4. ELABORACIÓN DE COMPOSTERA
 - 4.1. Ubicación de la compostera
 - 4.2. Construcción de las pilas

5. DISEÑO EXPERIMENTAL
 - 5.1. Número de pilas
 - 5.2. Aplicación de microorganismos
 - 5.2.1. Riego y volteo
 - 5.2.2. Tiempo del ensayo

6. ANÁLISIS FINANCIERO
 - 6.1. Identificación de materiales y equipo
 - 6.2. Cálculo del TIR y VAN

7. RESULTADOS
 - 7.1. Caracterización de los residuos generados en la finca
 - 7.1.1. Caracterización de las áreas
 - 7.1.2. Porcentaje por partición
 - 7.1.3. Residuos generados por mes
 - 7.2. Diseño experimental
 - 7.3. Requerimientos básicos para la elaboración de composteras
 - 7.4. Aplicación de microorganismos
 - 7.5. Calidad el compost
 - 7.6. Análisis económico
 - 7.6.1. Egresos
 - 7.6.2. Ingresos
 - 7.6.3. Flujo de efectivo
 - 7.6.4. Cálculo del TIR y VAN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, pues busca describir la metodología para analizar un sistema de tratamiento de residuos sólidos agrícolas para la obtención de compost y verificar la viabilidad técnica y factibilidad financiera de su implementación, en una finca cafetalera en Chimaltenango.

9.2. Definición de variables

En la siguiente tabla, se muestran las definiciones de variables de estudio

Tabla II. **Definición de variables**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Porcentaje de residuos por	Según Domínguez (1996), los residuos sólidos están integrados por todos los materiales que desechan los seres humanos y se pueden clasificar en cuanto: sólidos, líquidos y gaseosos	De acuerdo con el total acumulado en el proceso de recolección, se clasificará todos los tipos de materiales identificados con un peso y volumen acorde al total (%)
Peso de los residuos	El peso equivale a la fuerza que ejerce un cuerpo sobre un punto de apoyo, originada por la acción del campo gravitatorio local sobre la masa del cuerpo	Con la utilización de una báscula, se determinará el peso de la materia orgánica seleccionada (Kg)
Volumen de los residuos	El Volumen es la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo	Se tomará el dato en metros cúbicos, utilizando un objeto o material para la obtención del valor (m^3)

Continuación Tabla II

Costo	El costo o coste es el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.	Por medio de un análisis financiero y la identificación de los costos de los insumos y los materiales. (Quetzales)
Costo fijo	Los costos fijos son aquellos costos que la empresa debe pagar independientemente de su nivel de operación, es decir, produzca o no produzca debe pagarlos	Haciendo uso de un análisis financiero de costos fijos. (Quetzales)
Costo Variable	Los costos variables son aquellos gastos que varían en proporción a la actividad de la empresa.	Por medio de un análisis financiero de costos variables. (Quetzales)
TIR	Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.	Haciendo uso del cálculo de indicadores financiero (Porcentaje)
VAN	El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto.	Haciendo uso del cálculo de indicadores financieros. (Quetzales)
Punto de equilibrio	Hace referencia al nivel de ventas donde los costos fijos y variables se encuentran cubiertos.	Por métodos financieros. (Quetzales)
rentabilidad	La rentabilidad es el beneficio obtenido de una inversión	Por métodos financieros. (Porcentaje)
Disponibilidad de nutrientes	El término nutriente disponible se aplica a los minerales que están solubles en la solución del suelo y que pueden ser absorbidos por las plantas	Por medio de un análisis de laboratorio de suelos. (unidades)

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fases del estudio

El estudio cuenta con 7 fases, mismas que se llevarán a cabo en un periodo de aproximadamente 6 meses, esto con el fin de obtener resultados confiables y representativos.

9.3.1. Fase 1. Exploración bibliográfica

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema de estudio y todos sus componentes. La información servirá de base para entender las características del plan de gestión de residuos sólidos agrícolas para la obtención de compost, en una finca cafetalera en el municipio de Acatenango.

9.3.2. Fase 2. Recolección de datos

Esta fase consta de la recopilación de datos específicos del área de trabajo, estos datos son de suma importancia para identificar el estado actual de la finca.

9.3.2.1. Entrevistas

Se realizarán entrevistas de forma directa con el encargado de la finca y con los supervisores de áreas, con la finalidad de conocer todos los procesos administrativos y de operación que se llevan a cabo en el lugar de trabajo y el área de producción y así poder identificar los posibles generadores de desechos, así como el interés que existe en cuanto al manejo integrado de los residuos sólidos.

9.3.2.2. Encuestas

Como parte del proceso de la cogida de datos, se efectuará una encuesta a todo el personal que labora en la finca, el cual será de gran importancia para comprobar la percepción generalizada sobre el manejo de los residuos e identificar los conocimientos básicos sobre el manejo de desechos sólidos que poseen los trabajadores.

Para definir el número de personas que realizarán las encuestas, se identificará el número total de personas que laboran en ella y posteriormente se utilizará la fórmula estadística:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 p * q}{d^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 p * q}$$

En donde:

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

Z α^2 = variable con distribución normal (95 %)

P=proporción de éxito (0.50)

Q= proporción de fracaso (0.50)

Z 2 = precisión del estimador de interés (0.10)

9.3.3. Fase 3. Caracterización de los residuos vegetales

La caracterización de los residuos sólidos es de suma importancia para poder realizar un correcto plan de gestión de residuos sólidos, ya que de esa manera se identifica el remanente de mayor abundancia en la finca.

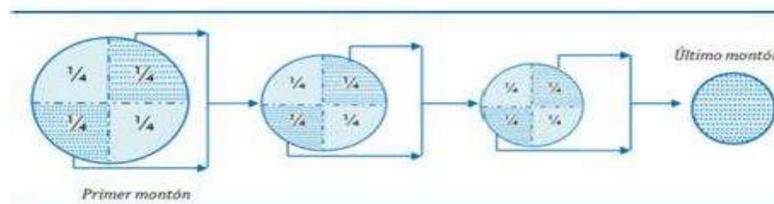
9.3.3.1. Identificación y recolección de residuos.

Para la caracterización de residuos, se recolectarán durante 5 días consecutivos desechos de áreas específicas que están ubicadas en la finca, esta actividad se efectuará en época de rotación de cultivos o podas, ya que es cuando la labor en el área incrementa significativamente.

9.3.3.2. Determinación de la composición física de los residuos

Para identificar la composición de los residuos acumulados en toda el área se procederá a la utilización del método de cuarteo, con este procedimiento se podrá determinar el porcentaje de materia orgánica verde y material orgánico oscuro, entre otros, obteniendo así las bases para evaluar la composición de los residuos, paso que es fundamental para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Figura 8. Método de cuarteo de muestras



Fuente: Tchobanglous (1997). *Gestión Integral de residuos sólidos*.

El método de cuarteo tiene la funcionalidad de conocer la composición de residuos que estas disponibles en un lugar en específico, el método se realiza de la siguiente manera:

- Sobre un plástico se depositan los residuos de cada recipiente.
- Los residuos y desechos son homogeneizados en forma de pila.
- La pila homogenizada se divide en cuatro partes y se separan las partes opuestas. El fin de esta actividad es obtener una mezcla homogénea.

Tabla III. **Clasificación de residuos**

Clasificación de residuos	Peso	Volumen
Residuos orgánicos verdes		
Material orgánico oscuro		

Fuente: elaboración propia.

9.3.3.3. **Porcentaje en peso**

Posterior a la actividad de cuarteo, los residuos se pesan y la suma total de estos dará el dato total de la muestra y el peso de cada fracción dará como resultado el porcentaje de los residuos orgánico, para ello es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$WT = \sum_{i=1}^{\infty} Wi$$

$$\% i = \frac{Wi}{Wt} \times 100$$

Donde:

WT= peso de los residuos aforados

Wi= peso de cada clase de residuo

% i= porcentaje en peso de cada fracción de R.S. en la muestra.

9.3.3.4. Porcentaje de volumen

Es el porcentaje del volumen de cada tipo de residuo de la cantidad total utilizada

$$\% V = 100 * \left(\frac{V_{tr}}{V_t}\right)$$

Donde:

V % = es el porcentaje en volumen del residuo

Vtr= Volumen del tipo de residuo

Vt= Volumen total de residuos

Tabla IV. Caracterización de los residuos

Tipo de residuo	Peso (Kilos)	% Peso	Volumen (m ³)	% Volumen	Densidad
Residuos orgánicos verdes					
Material orgánico oscuro					

Fuente: elaboración propia.

9.3.4. Fase 4. Elaboración de compostera

Para la elaboración de la compostera, se tiene previsto la creación de un espacio dentro de la finca que esté destinado para el manejo y la disposición de abonos orgánicos, esta fase va desde la creación de las galeras, hasta el área de colocación de la materia orgánica necesaria para la producción de compost.

9.3.4.1. Ubicación del área de compostera

El primer aspecto a tener en cuenta a la hora de hacer el proceso de compostaje es la ubicación, el lugar donde se construirán las pilas. Las condiciones ideales para realizar un buen compostaje dependen de la disposición de un adecuado cubierto sobre un suelo duro y firme.

Figura 9. Identificación del área de compostera



Fuente: : Google Maps. *Municipio de Acatenango*. Consultado el 24 de septiembre de 2020.

Recuperado de <https://www.google.com/maps/search/acatenango>.

9.3.4.2. Construcción de las pilas

La construcción de las pilas puede realizarse de forma manual o mecanizada. Las dimensiones deben de ser de un aproximado de 1.5 metros de alto, 1.5 metros de ancho y sin límite de longitud.

Que la edificación esté protegida evita que las lluvias arrastren los nutrientes que se obtendrán en el proceso de compostaje y, por otro lado, que la luz solar directa no aumente la temperatura a tal punto llegue a perjudicar los microorganismos eficientes encargados de la descomposición de la materia orgánica.

Tabla V. **Materiales e insumos necesarios**

No.	Material y Equipo	Descripción	Cantidad	Total
1				
2				
3				
4				

Fuente: elaboración propia.

9.3.5. Fase 5 Diseño experimental

Para el análisis de la dosis óptima, se comparará 3 tipos de dosis diferentes obtenidas en la exploración bibliográfica, también se tendrá disposición de 1 pila testigo, es decir, esta no tendrá ningún tipo de aplicación de Microorganismos eficientes, la disposición de las pilas será de manera aleatoria, con este método se adquirirá diferentes tiempos de aceleración en la descomposición del material.

Tabla VI. **Comparativo de pilas de compost**

Nombre	Cantidad de ml de ME	Fase de compostaje	de Tiempo en días
Pila A			
Pila B			
Pila C			
Testigo			

Fuente: elaboración propia.

9.3.6. Fase 6. Análisis financiero

Para la obtención de costos de la implementación del plan de manejo de desechos, es importante identificar los elementos que impactan de forma directa e indirecta, es decir; determinar los costos variables y fijos de la ejecución del proyecto, para ello es necesario investigar todos aquellos materiales e insumos que intervienen en la elaboración.

Tabla VII. **Identificación de costos variables**

Cantidad	dimensión	descripción
1	Unidad	Carreta
3	Unidad	palas
3	Unidad	azadones
20	Unidad	Costales
10	Unidad	laminas
4	Unidad	vigas de madera
7	Unidad	reglas de madera

Continuación tabla VII

100	Unidad	clavos
10	Dimensión	metros cuadrados de nylon
1	Unidad	Machete
6	Días	Mano de obra directa
32	Litros	Microorganismos eficientes

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Identificación de costos fijos**

Costo Fijo	
Descripción	Monto (Q)
Alquiler	
Agua	
Luz	
transporte	
Mano de obra indirecta	
Gastos de administración	

Fuente: elaboración propia.

Se realiza una proyección de los ingresos y egresos en un periodo de seis años, suponiendo que los precios de los materiales reciclables y del compost se mantengan.

Tabla IX. **Análisis financiero**

Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Ingreso 1						
ingreso 2						
ingreso 3						
Total						
Egresos						
Egresos variables						
Egreso 1						
Egreso 2						
Egreso 3						
Egreso 4						
Subtotal						
Egresos Fijos						
Egreso 1						
Egreso 2						
Egreso 3						
Egreso 4						
Subtotal						
Total, Egresos						
Total, Ingresos						

Fuente: elaboración propia.

Es necesario calcular los indicadores financieros del proyecto, ya que son las herramientas que ayudan a determinar si es o no factible realizar este tipo de proyectos en la finca.

Los indicadores por identificar son los siguientes:

Tabla X. **Indicadores financieros**

Indicador financiero	Valor
VAN	
TIR	
Punto de equilibrio	
Rentabilidad	

Fuente: elaboración propia.

9.3.7. Fase 7 Presentación y discusión de resultados

Con la información obtenida en todo el proceso metodológico se presentarán los mismos, así como una discusión de los resultados obtenidos y los aspectos técnicos y financieros que influyen en la elaboración de compost a base de microorganismos eficientes.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Se realizará un estudio de la cantidad y calidad de compost obtenido haciendo uso de residuos vegetales y aplicaciones de microorganismos eficientes. Se ejecutará un análisis técnico en donde se utilizarán datos históricos sobre las dosis óptimas de Microorganismos eficientes para la producción de compost, se realizarán 4 ensayos comparativos, en los cuales se comparará de manera gráfica y estadística el tiempo, calidad del abono y el volumen obtenido.

El estudio financiero analizará la tasa interna de retorno de los gastos fijos y variables del proyecto, el valor actual neto del método y así calcular los flujos futuros de los ingresos y egresos monetarios, así como la viabilidad de su implementación.

Los análisis técnicos y financieros serán realizados con herramientas de Excel.

Herramientas de recolección de datos.

- Tabla de composición de los residuos por tipo.
- Tabla de peso por tipo de residuo.
- Tabla de volumen por tipo de residuo.
- Tabla de datos de estudios posteriores.
- Tablas comparativas de resultados.
- Tabla de datos reales.
- Tabla de resultado del estudio financiero.
- Tabla de resultado del estudio técnico.

- Tabla de datos de costo fijos y variables.
- Diagrama de proceso de compost.
- Diagrama del proceso de caracterización de residuos.
- Diagrama de manejo de gestión de residuos sólidos.

Herramientas estadísticas

- Promedio de volumen de residuos vegetales.
- Promedio de residuos obtenidos.
- Promedio de costos fijos y variables.
- Gráfico de barras comparativos del estudio técnico.
- Tasa de generación de residuos sólidos.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar la presente investigación se necesitarán los siguientes recursos económicos:

Tabla XI. Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación

Recursos	Cantidad	Costo (Q)
Movilización y viáticos	1	Q 1,500.00
Asesor	1	Q 2,500.00
Bolsas para basura	1	Q 50.00
Pesa	1	Q 125.00
Pala	1	Q 80.00
Lamina	6	Q 270.00
Vigas	6	Q 240.00
Clavos	1	Q 10.00
Reglas de madera	10	Q 250.00
Análisis de suelo	1	Q 950.00
Total		Q 5,975.00

Fuente: elaboración propia.

La investigación se considera factible, ya que se cuentan con todos los recursos necesarios para su ejecución y de esta forma cumplir con los objetivos planteados.

13. REFERENCIAS

1. Cantanhede, A. (2005). *Estudios de caracterización de residuos sólidos* (Tesis de maestría). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú.
2. Collazos, H. (2008). *Diseño y operación de rellenos sanitarios* (Tesis de maestría) Escuela colombiana de Ingeniería, Colombia.
3. Domínguez, F. (1996). *Manejo Integral de los desechos sólidos en San Lucas Sacatepéquez* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Fernández, A. (2007). *Guía para la gestión integral de los desechos sólidos urbanos* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Figueroa, C. (2016). *Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.) en el proceso de compostaje* (Tesis de Maestría). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
6. Franco, A. (2018). *Eficiencia de un acelerador de descomposición eisenia foetida en la producción de humus de pulpa de café en Cuilapa* (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

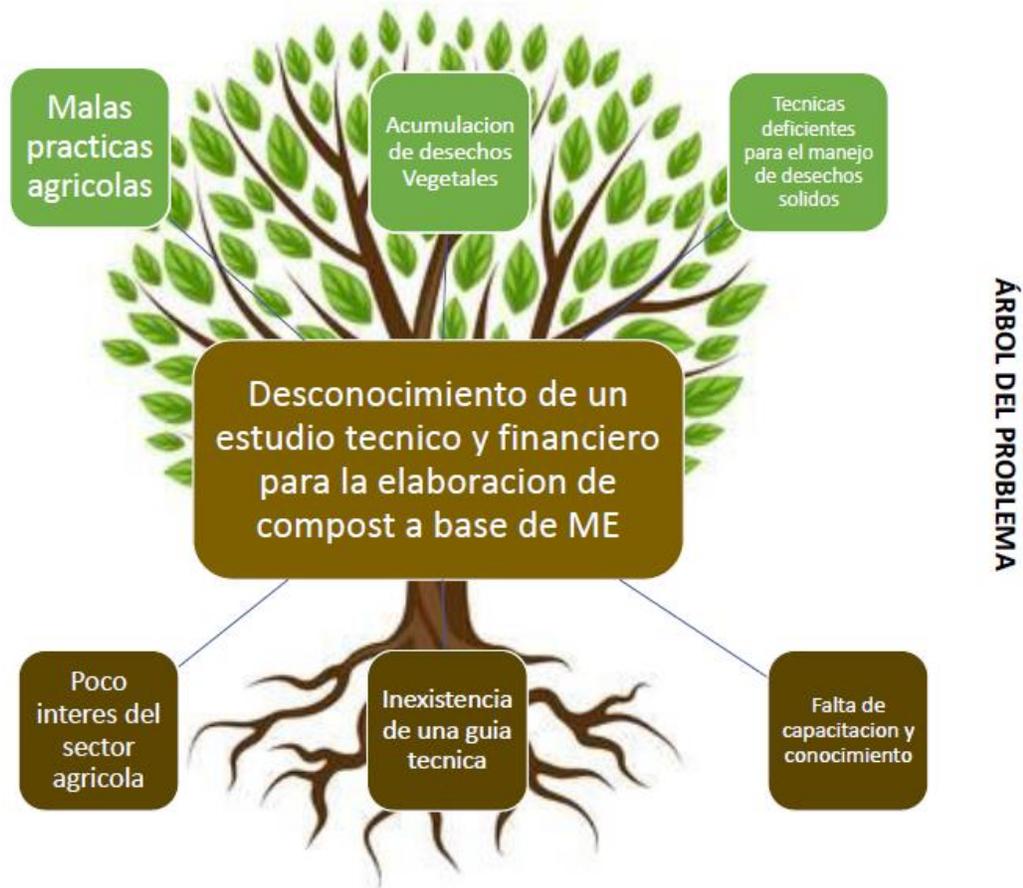
7. Higa, T. (2013). *Microorganismos eficientes*. San José, Costa Rica: Limusa.
8. Jaramillo, J. (1997). *Guía para el manejo de los residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales* (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
9. Lucero, E. (2010). *Efecto de la adición de microorganismos en la descomposición de gallinaza pura*. Ciudad de Guatemala Guatemala: Gretavi.
10. Meléndez, L. (2016). *Evaluación del efecto de microorganismos eficientes, en diferentes diluciones y frecuencias de volteo sobre la descomposición de pulpa de café*. San Miguel Dueñas, Sacatepéquez (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
11. Morocho, M. (2019). *Microorganismos eficientes, Propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas*. Centro de investigaciones agropecuarias. Buenos Aires, Argentina: LUZ.
12. Much, S. (2005). *Química, microbiología sanitaria y teoría biológica*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Eris.
13. Oliva, P. (2010). *Ensayo sobre la elaboración de compostaje de pollo de engorde*. Universidad Rafael Landívar (Tesis de licenciatura). Guatemala.

14. Palma, J. (2012). *Tratamiento de residuos sólidos orgánicos, para la protección al medio ambiente, por medio de la producción de abono orgánico, en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
15. Pec, V. (2015). *Efecto de activadores biológicos sobre la velocidad de descomposición de desechos orgánicos y su influencia en la calidad del abono obtenido* (Tesis de Licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
16. Piedrabuena, R. (2009). *Los Microorganismos eficientes*. Bogotá, Colombia: AIA.
17. Solares, H. (2008). *Elaboración de compost a partir de residuos orgánicos*. Buenos Aires, Argentina: ENOV.
18. Tchobanglous, G. (1997). *Gestión Integral de residuos sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
19. Torres, L. (2008). *Manejo y Tratamiento Adecuado de Desechos Sólidos de Santa Rosa de Copan* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras.
20. Google Maps. *Mapa del Municipio de Acatenango*. Recuperado el 24 de septiembre del 2020 de <https://www.google.com/maps/search/acatenango>.

21. Valle, B. (2014). *Evaluación de un producto comercial de microorganismos eficientes aerobios en producción de compost* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

14. APÉNDICES

Apendice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	Plan de acción
<p>Pregunta principal:</p> <p>¿Cómo se puede evaluar la utilización de microorganismos eficientes en la elaboración de compost?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Evaluar técnica y financieramente la utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost, utilizando residuos vegetales.</p>	<p>Modelo de gestión de residuos.</p>	<p>Análisis de residuos observación</p> <p>Se realizará un diseño y prototipo para la descomposición de residuos vegetales mediante aplicaciones de ME.</p>	<p>Elaboración del plan de gestión de residuos (10 días)</p>
<p>Preguntas auxiliares:</p> <p>¿Qué caracterización de residuos vegetales existe actualmente en la finca?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>Caracterizar y cuantificar los residuos sólidos generados en la finca.</p>	<p>Diseño de compostera</p> <p>Caracterización de los residuos</p> <p>Cantidad de residuos generados</p> <p>Tipos de residuos generados</p> <p>Peso</p> <p>Composición</p>	<p>Caracterización de los residuos vegetales</p> <p>Selección de muestras.</p>	<p>Realizar recorrido por la finca para la identificación de residuos (3 días)</p> <p>Seleccionar donde caracterizar residuos vegetales (2 días)</p> <p>Etapas de recolección de los residuos (5 días)</p>

Continuación tabla apéndice 2

¿Cuál es la dosis óptima de Microorganismos eficientes a utilizar para la obtención de compost?	Identificar la dosis óptima de microorganismos eficientes para la obtención de compost	Mililitros de ME a utilizar	Ensayo a escala Análisis de resultados Diseño experimental Exploración bibliográfica	Aplicaciones de ME a los residuos (1 mes) Realizar un diseño experimental para varias dosis (1 mes)
¿Cuál es la eficiencia y la calidad del compost obtenido?	Medir la eficiencia y la calidad del compost obtenido	Cantidad de desechos destinados a la producción de compost Compost obtenido	Ensayo a escala Pesaje. Análisis de suelo	Pesaje del antes y después (2 días) verificación descomposición (cada 7 días) Análisis de laboratorio (4 días)
¿Cuál es la viabilidad financiera de la elaboración de compost a partir de residuos vegetales?	Determinar la viabilidad financiera de la elaboración de compost a partir de residuos vegetales.	Costos de producción.	Métodos estadísticos Métodos económicos (VAN, TIR)	Elaboración de análisis económico de la tasa interna de retorno y el valor del dinero en el tiempo. (4 días)

Fuente: elaboración propia.

