



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**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**

Ing. Irvin Isaac de León Barrios

Asesorado por el M.A. Ing. Juan Carlos Fuentes

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

ING. IRVIN ISAAC DE LEÓN BARRIOS

ASESORADO POR EL M.A. ING. JUAN CARLOS FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, ENERO DE 2023

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 Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Karen Michelle Martinez Figueroa
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Rodolfo Castro García
ECRETARIO	Mtro. 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:

**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 la Escuela de Ingeniería de Estudios de Postgrados, con fecha 26 de octubre del 2020.



Ing. Irvin Isaac de Leon Barrios

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

LNG.DECANATO.OI.096.2023

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación 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: **Ing. Irvin Isaac de León Barrios**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Decana

AACE/gaoc



Guatemala, enero de 2023

LNG.EEP.OI.096.2023

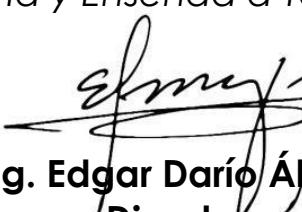
En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"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 **Ing. Irvin Isaac de León Barrios** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


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





Guatemala, 26 de octubre 2020.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el INFORME FINAL del trabajo de graduación 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**" del estudiante Irvin Isaac de León Barrios quien se identifica con número de carné 2012-20175 del programa de **Maestría en Energía y Ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 13 octubre 2020.

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Irvin Isaac de León Barrios, Carné número 201220175, cuyo título es "**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**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Irvin de León, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Ing. Juan Carlos Fuentes M.
M.Sc. Hidrología y Recursos Hídricos
Asesor

Luz Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

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.
Mi Hermanos	Marvin y Sergio de León, por ser una importante influencia y apoyo en mi carrera.
Mis abuelos	Rene Barrios, Olivia González, Olivia y Ramiro de León; por ser ángeles a mi vida.
Mis primos	Por su cariño sincero y transparente que me han dado durante toda esta vida.
Mis tíos	Por la orientación que me han dado en todo momento.
Mis amigos	Porque la amistad ha perdurado en los malos y buenos momentos

AGRADECIMIENTOS A:

La 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 ofrecer los conocimientos y apoyo necesario para culminar con la carrera.
Escuela de Estudios de Posgrado.	Por haberme permitido formarme en ella.
Mi asesor	M.A. Ing. Juan Carlos Fuentes, por su orientación académica para culminar con el proyecto de tesis.
Mia catedráticos	Por brindarme saberes al largo de esta maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XVII
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXVII
1. MARCO TEORICO	1
1.1. Antecedente de la investigación	1
1.2. Clasificación y características de los desechos	3
1.2.1. Por su estado	4
1.2.2. Solidos	4
1.2.3. Líquidos	4
1.2.4. Gaseosos	4
1.3. Clasificación de los residuos por su composición	5
1.3.1. Orgánica	5
1.3.2. Inorgánica	6
1.3.3. Por su naturaleza	6
1.3.4. Por su origen	6
1.3.5. Peligrosos	6
1.3.6. Corrosivos	7
1.3.7. Explosivos	7
1.3.8. Inflamables	7

1.3.9.	Reactivos.....	7
1.3.10.	Tóxicos.....	7
1.3.11.	Infecciosos.	8
1.4.	Gestión de residuos solidos	8
1.4.1.	Técnico.....	9
1.4.2.	Social.....	10
1.4.3.	Económico.....	10
1.4.4.	Organizativo	10
1.4.5.	Salud	10
1.4.6.	Ambiental	10
1.4.7.	Generación de la fuente	11
1.5.	Aspectos por tomar en cuenta	11
1.5.1.	Generación por "persona, trabajador o empresa	12
1.5.2.	Generación de residuos	12
1.5.3.	Composición de los residuos.....	12
1.6.	Almacenamiento	12
1.7.	Recolección y transporte.....	13
1.8.	Tratamientos	14
1.9.	Incineración.....	15
1.10.	Compostaje	16
1.11.	Reciclaje.....	17
1.12.	El compostaje.....	18
1.13.	Fases en el proceso del compostaje	19
1.13.1.	Fase de descomposición.....	19
1.13.2.	Fase mesófila	19
1.13.3.	Fase termófila.....	19
1.13.4.	Fase de maduración.....	20
1.13.5.	Fase de enfriamiento.....	20
1.13.6.	Fase de estabilización.....	20

1.14.	Parámetros del proceso.....	21
1.14.1.	Temperatura	21
1.15.	Aireación.....	22
1.16.	Humedad y porosidad.....	23
1.17.	pH	25
1.18.	Microorganismos eficientes	26
1.19.	Tipos de Microorganismos eficientes	26
1.19.1.	Bacterias ácido lácticas	26
1.19.2.	Bacterias fotosintéticas.....	27
1.19.3.	Levaduras	27
1.20.	Aplicación de los microorganismos eficientes	27
1.20.1.	En semillas	28
1.20.2.	En plantas.....	28
1.20.3.	En los suelos	28
1.21.	Técnicas de compostaje	28
1.21.1.	Sistemas abiertos	29
1.21.2.	Sistemas cerrados	30
1.21.2.1.	Reactores de flujo vertical	30
1.21.2.2.	Reactores de flujo horizontal	30
1.22.	Usos del compost	31
1.23.	Lixiviados.....	32
1.24.	Generación de metano	32
1.25.	Análisis financiero.....	33
1.25.1.	Identificación de materiales y equipo.....	33
1.25.2.	Cálculo del TIR y VAN	33
1.25.3.	Van	34
1.25.4.	TIR	34
2.	MARCO METODOLOGICO	37

2.1.	Recolección de datos.....	37
2.1.1.	Entrevistas.....	37
2.1.2.	Encuestas.....	37
2.1.3.	Recorridos en la finca.....	38
2.2.	Caracterización de los residuos vegetales.....	39
2.2.1.	Identificación y recolección de residuos	39
2.2.2.	Determinación de la composición de residuos	39
2.3.	Elaboración de compostera.....	41
2.3.1.	Ubicación de la compostera.....	42
2.3.2.	Construcción de las pilas.....	43
2.3.3.	Óxido de calcio.....	44
2.4.	Aplicación de Microorganismos Eficientes	44
2.4.1.	Número de pilas	45
2.4.2.	Aplicación de microorganismos	45
2.4.3.	Riego y volteo.....	46
2.4.4.	Tiempo del ensayo	46
2.4.5.	Capacidad instalada.....	47
3.	RESULTADOS.....	49
3.1.	Caracterización de los residuos generados.	49
3.1.1.	Caracterización de las áreas	49
3.1.2.	Porcentaje por partición	50
3.1.3.	Residuos generados por mes.....	50
3.2.	Aplicación de microorganismos eficientes.....	51
3.2.1.	Construcción de las pilas.....	51
3.3.	Requerimientos para la elaboración de composteras	52
3.4.	Aplicación de microorganismos.....	52
3.5.	Parámetros del compost	54
3.5.1.	Velocidad de descomposición	55

3.5.2. Calidad del compost	56
3.6. Análisis económico.....	57
3.6.1. Egresos	58
3.6.2. Ingresos.....	59
3.6.3. Flujo de efectivo.....	60
3.6.4. Cálculo del TIR y VAN.....	61
3.6.4.1. VAN	61
3.6.4.2. TIR	61
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	69
APENDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Manejo integral de residuos	9
2.	Comportamiento de la temperatura en los procesos de descomposición aeróbica.....	22
3.	Requerimientos para el proceso de composta	23
4.	Identificación de la humedad.....	24
5.	Etapas del compostaje	25
6.	Estructura de pilas.....	29
7.	Sistema Cerrado de compostaje	31
8.	Método de cuarteo	40
9.	Selección de la compostera	41
10.	Ubicación de la compostera	43
11.	Mejora compost.....	46
12.	Muestra de materia orgánica.....	49
13.	Dimensiones de las composteras	51
14.	Microorganismos eficientes.....	53
15.	Microorganismos eficientes en estado sólido.....	54
16.	Compost obtenido	55
17.	Proceso de descomposición en días.....	56

TABLAS

I.	Parámetros del compost	16
II.	Aplicación de ME	45
III.	Clasificación de residuos	50
IV.	Residuos generados por mes	50
V.	Requerimientos para fabricación de composteras	52
VI.	Aplicaciones de EM en pilas de compost.....	53
VII.	Descomposición final en días	56
VIII.	Comparación de compostajes	57
IX.	Inversión inicial	58
X.	Egresos compostera 1	59
XI.	Resumen de egresos.....	59
XII.	Ingresos del proyecto.....	60
XIII.	Resumen de ingresos	60
XIV.	Flujo de efectivo.....	61
XV.	Resumen análisis financiero	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P	Fósforo
Ha	Hectárea
m	Metro
mm	Milímetro
m^3	Metro cúbico
ME	Microorganismos eficientes
ml	Mililitro
N	Nitrógeno
K	Potasio

X

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.
Compostera	Una compostera es un recipiente o un espacio donde se puede descomponer la materia orgánica que se deposita con el objetivo de obtener un abono ecológico que sirve para nutrir a las plantas.
Compost	Fertilizante compuesto de residuos orgánicos (desechos domésticos, hierbas, deyecciones animales, entre todos), tierra y cal.
Calidad	Se refiere a la capacidad que posee un objeto para satisfacer necesidades implícitas o explícitas según un parámetro, un cumplimiento de requisitos de calidad.
Eficiencia	Se trata de la capacidad de alcanzar un objetivo fijado con anterioridad en el menor tiempo posible y con el mínimo uso posible de los recursos, lo que supone una optimización.

Fase Mesófila	La temperatura está comprendida entre 10 y 40º C.
Fase Termófila	La actividad microbiana comienza a generar calor y la temperatura aumenta hasta llegar a los 60-70 º C.
Materia Orgánica	La materia orgánica es materia conformada por compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.
ME	Un microorganismo efectivo se refiere a cualquiera de los organismos predominantemente anaeróbicos mezclados en enmiendas comerciales agrícolas, medicamentos y suplementos nutricionales, originariamente comercializado como ME.
Residuo	Un residuo es todo elemento que está considerado como un desecho al cual hay que eliminar según el tipo o la clasificación a la cual este pertenezca.
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

La investigación realizada tuvo por objetivo evaluar técnica y financieramente la utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost, utilizando residuos vegetales, esto por medio de la caracterización y cuantificación de los residuos que se generaron en una finca ubicada en el municipio de Acatenango del departamento de Chimaltenango, la identificación de las dosis óptimas de microorganismos a utilizar para acelerar el tiempo de descomposición de la materia orgánica y la implementación de pilas de composteo, también se evalúa la calidad del sustrato obtenido y se determinó la viabilidad financiera de este tipo de metodologías.

El estudio desarrollado utilizo como materia prima los desechos vegetales resultantes de los diferentes procesos productivos dentro del área, con la finalidad de poder implementar metodologías de compostaje y aplicaciones de microorganismos eficientes como herramientas para acelerar el tiempo de descomposición de la materia orgánica, esta investigación tiene su relevancia dado a las prácticas tradicionales que se realizan en la finca para dar un manejo adecuado a los mismos mediante la aceleración del proceso degradativo de dichos desechos; por ende se vio la necesidad de la implementación del estudio, permitiendo así un aumento en la velocidad para degradar los desechos verdes.

Se inició con la selección del sitio para la construcción de las pilas de compost considerando el acceso al agua y la distancia a recorrer por parte del personal que labora en la finca. Posteriormente, para iniciar con el proceso de compostaje se necesitó de 1090 kilos de materia orgánica proveniente del estiércol de equinos, 136 kilos de desechos vegetales verdes provenientes del

proceso de poda y raleo, 136 kilos de broza y 46 kilos de cal. Se determinó que las composteras deberían de construirse con dimensiones de: 1.5 metros de ancho, 1.5 metros de alto y 3 metros de largo para poder tratar la materia verde generada en la finca, construyendo un total de 4 composteras con estas medidas.

Relacionando los resultados del estudio se determinó que la cantidad de desechos generados depende de la etapa de producción del cultivo, siendo los meses con más aglomeración cuando se realizan podas, recepas y chapeos en la finca, la generación de residuos durante el primer semestre del 2021 fue de 700 kilos de residuos vegetales, siendo la materia orgánica el producto que mayor relevancia tiene con un valor del 92 % del total.

Para el desarrollo de esta investigación se analizó la eficiencia de utilizar microorganismos eficientes los cuales comprenden bacterias del ácido láctico, levaduras y bacterias fotosintéticas, para el tratamiento de los residuos vegetales verdes y su producción de abono orgánico, a partir de la utilización de dichos microorganismos, se determinó que haciendo aplicaciones de 22 litros de microorganismos eficientes cada 15 días, se obtiene una eficiencia del 63 % sobre el tiempo de degradación de los desechos orgánicos, mejorando a su vez la calidad de los sustratos obtenidos, ya que mediante este tipo de aplicaciones se obtienen abonos ricos en macronutrientes y micronutrientes, lo cual permiten un aporte de materia orgánica, favoreciendo el crecimiento de las plantas y mejorando las características físico-químicas del suelo.

Así mismo se determinó la viabilidad económica de la implementación de estas composteras con base a indicadores financieros como el valor actual neto y su tasa interna de retorno, se determinó que para una inversión inicial de Q. 1,100.90, el valor actual neto fue de Q. 26,678.75 y una tasa interna de retorno del 69%, ambos son valores económicos positivos por lo que se considera viable su implementación para dicho sector.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las nuevas tecnologías y buenas prácticas agrícolas han formado un nuevo camino para los tratamientos de residuos vegetales en el sector agrícola. Los materiales orgánicos compostados presentan ventajas superiores a los fertilizantes químicos, ya que favorecen a las condiciones de la vida microbiana y mejoran las estructuras fisicoquímicas de los suelos en los que se aplica, aportan elementos como fósforo, nitrógeno y potasio, esto a partir del manejo de malezas y residuos vegetales, pero el desconocimiento estudios técnicos y financieros para la elaboración de compost a base de Microorganismos eficientes (ME), causa que en el sector agrícola se haga el 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 en el tratamiento de residuos, es debido al poco interés del sector agrícola para emplear nuevas herramientas y tecnologías que ayuden a la degradación de desechos, en su mayoría suelen utilizar productos inorgánicos para la eliminación de malezas y residuos vegetales. Actualmente, se cuentan con normas para regular el uso de productos químicos, pero gran parte de los agricultores y empresas no las ponen en práctica debido a la falta de herramientas y publicaciones que planteen la correcta utilización de métodos para el manejo de los desechos sólidos.

Los daños ambientales que ocasiona la falta de guías técnicas y metodologías para el manejo sostenible de los residuos en el sector agrícola, conllevan al uso de métodos como la quema y roza, aplicaciones de herbicidas químicos y el uso de coberturas plásticas, que son fabricadas a partir de

polipropilenos, estos métodos causan daños en la flora, suelo y fauna que integra los entornos y ecosistemas de las diferentes regiones, todas las actividades del ser humano provocan una afluencia y exceso de desechos orgánicos e inorgánicos en áreas específicas, en el sector agrícola ocasiona el uso de productos químicos y malas prácticas agrícolas.

Por años en la región se ha realizado el hábito de la quema y roza de material vegetal, con el fin de poder deshacerse de cantidades consideradas de materia verde, esta práctica provoca un aumento de la contaminación del aire, perdida de nutrientes del suelo y al uso de productos químicos dañinos para la salud de las personas y el entorno.

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 elementos, no se esté realizando, debido al desconocimiento en general del uso de nuevos métodos y tecnologías, radicando en técnicas deficientes para el manejo 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?

OBJETIVOS

General

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

Especifico

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

INTRODUCCIÓN

En Guatemala la actividad agrícola ha permanecido en aumento en los últimos años, debido a la excesiva demanda del mercado local e internacional de productos alimenticios de primera categoría, esto provoca una gran acumulación de desechos vegetales que pueden ser destinados a la formulación de compuestos estabilizados que son utilizados en las actividades agropecuarias, para recuperar o mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, sin embargo, este tipo de prácticas no se realizan debido al desconocimiento en general de nuevos métodos y tecnologías para el manejo sostenible de desechos vegetales, lo cual radica en técnicas deficientes para este tipo de problemáticas.

La implementación de pilas de compostaje y microorganismos eficientes permitió realizar un manejo integrado de los residuos orgánicos provenientes de diferentes prácticas agrícolas en el cultivo de café, lo cual es una alternativa práctica y económica para el tratamiento de desechos, permitiendo que las áreas agrícolas de Guatemala, específicamente la finca ubicada en el municipio de Acatenango del departamento de Chimaltenango, reduzca la acumulación de desechos naturales en los espacios de producción, permitiendo que sus procesos se desarrolleen bajo un enfoque de agricultura limpia y sostenible.

El estudio realizado permitió un manejo integrado de los desechos vegetales verdes provenientes de las diferentes actividades en las áreas de producción y la generación de abonos orgánicos con alto valor nutricional para ser utilizados en los diferentes cultivos de la finca, fomentando así, la utilización

de recursos orgánicos que permiten mantener un equilibrio entre el medio ambiente y las actividades agrícolas, logrando así una sostenibilidad.

El método aplicado fue de tipo cuantitativo-descriptivo, donde se evaluó la velocidad en la cual se descomponía la materia orgánica por medio de aplicación de microorganismos eficientes que comprenden, levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias fotosintéticas, utilizando composteras. El estudio se desarrolló en una finca cafetalera ubicada en el municipio de Acatenango, departamento de Chimaltenango, el cual se desarrolló en 6 fases, iniciando con la exploración bibliográfica, recolección de datos, caracterización de los residuos vegetales, elaboración de la compostera, aplicación de microorganismos y el análisis financiero del proyecto

En el capítulo 1 se realizó 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 método de composteo, sus técnicas y usos de fertilizantes orgánicos.

En el capítulo 2, desarrolla el marco metodológico de la investigación, donde se detalla la preparación y construcción de composteras para realizar el proceso de digestión aerobia de la materia orgánica, la aplicación de microorganismos eficientes y el estudio financiero para la implementación del estudio. En el capítulo 3 se presentan los resultados de la investigación.

Se concluyó que la implementación de composteras y aplicaciones de microorganismos eficientes para la descomposición y aceleración de la materia orgánica se adapta idóneamente a las áreas agrícolas de Guatemala, permitiendo un manejo integrado de los desechos sólidos vegetales que

proceden de las diferentes actividades productivas de las fincas, lo cual permite su aprovechamiento para la obtención de abonos orgánicos a un tiempo más acelerado que los procesos convencionales, contribuyendo así con la no utilización de productos sintéticos que contaminan el suelo y los mantos acuáticos de la región.

El presente estudio es de tipo cuantitativo-descriptivo, por lo tanto, no se planteará hipótesis de investigación.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, ya que la metodología implementada busca analizar un sistema de tratamiento de residuos sólidos agrícolas para la obtención de compost y comprobar la viabilidad técnica y factibilidad financiera de su implementación, en una finca cafetalera en el municipio de Acatenango departamento de Chimaltenango.

Esta investigación se llevó a cabo mediante entrevistas de forma directa con el encargado de la finca y con los supervisores de áreas, con la finalidad de conocer los procesos administrativos y operativos que se llevan a cabo en el área de trabajo, además se identificaron los posibles generadores de desechos, así como el interés que existe en cuanto al manejo integrado de los residuos verdes.

Como primera instancia se recolectaron durante 5 días consecutivos desechos de áreas específicas que están ubicadas en la finca, esta actividad se efectuó en época de rotación de cultivos o podas, ya que es cuando la actividad en el área incrementa significativamente.

Luego se identificó la composición de los residuos acumulados en toda el área se utilizó el método de cuarteo, con este procedimiento se determinó el porcentaje de materia orgánica verde, material orgánico oscuro y otros, obteniendo así las bases para evaluar la composición de los residuos, aspecto que es fundamental para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Posteriormente, se pesaron los residuos y se estableció la muestra con base al peso fraccionado de la clasificación de dichos residuos.

Se procedió a la elaboración de la compostera, se inició con la adecuación de un espacio dentro de la finca, para que estuviera destinado al manejo y disposición de abonos orgánicos, esta fase inicio desde la limpieza de la zona, la colocación de la materia orgánica necesaria para la producción de compost y la construcción de las pilas de compost. Las dimensiones utilizadas en este proceso son de un aproximado de 1.5 metros de alto, 1.5 metros de ancho y 3 metros de longitud.

Para el análisis de la dosis óptima de microorganismos a usar, se compararon 3 tipos de dosis obtenidas en la exploración bibliográfica, también se tuvo a la disposición una pila testigo, es decir, esta no tuvo ningún tipo de aplicación de microorganismos eficientes, la disposición de las pilas fue de modo aleatorio, con este método se adquirió diferentes tiempos de aceleración en la descomposición del material. Para el cálculo de los costos de la implementación de esta metodología, se identificó la inversión inicial y los costos variables y costos fijos para la ejecución del proyecto, para ello fue necesario identificar todos los materiales e insumos que intervinieron en la elaboración del proyecto.

Se calcularon los indicadores financieros del estudio VAN y TIR, ya que facilitan a determinar si la ejecución de ese tipo de proyectos es económicamente viable.

Por último, se presentan los resultados del estudio, así como una discusión de los resultados obtenidos sobre los aspectos técnicos y financieros que influyeron en la elaboración de composteras a utilizando microorganismos eficientes.

1. MARCO TEORICO

1.1. Antecedente de la investigación

En Guatemala no se encontraron investigaciones específicas respecto a estudios técnicos y financieros para la utilización de Microrganismo 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. No obstante, en Guatemala se encontraron investigaciones relacionadas en la parte técnica, que se presentan a continuación:

En cuanto al efecto de actividades biológicas sobre la velocidad de descomposición de desechos orgánicos y su influencia en la calidad del abono, Pec (2015) evaluó 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 %.

Relacionado con el efecto de Microorganismos Eficientes, en diferentes disoluciones y frecuencias de volteo sobre la descomposición de pulpa de café, Melendez (2016) 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 (40 %), alcanzando una mejora en la rentabilidad. También evaluó la calidad del abono obtenido y lo comparó con 2 abonos orgánicos diferentes y 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 una evaluación de un producto comercial de microorganismos eficientes aerobios en producción de compost, Oliva (2014) refiere a que los primeros estudios de compostación iniciaron con una experiencia en 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, transformándose de anaeróbico a aeróbico, 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:

Morocho (2014) 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 con respecto a pequeños productores como de barrio y medianos productores en los municipios. En áreas como Guatemala, Brasil, Chile y Colombia, han utilizado la práctica del compostaje como una alternativa tecnológica al creciente manejo y situación final de restos domésticos en las ciudades, la publicación identifica beneficios como: germinación de semillas, floración de plantas, un correcto desarrollo e incremento de frutos, un mejoramiento de la estructura física de la superficie, especialmente haciendo

aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio, también incrementa la productividad química del recurso suelo, aumentando la disposición fotosintética de las plantas y la capacidad para retener humedad y nutrientes, los ME también tienen la característica de mejorar la maduración de sustratos orgánicos.

Figueroa (2016) establece las bases generales para acelerar la transformación de desechos en compost, identifico que las temperaturas máximas en las técnicas de degradación son de 70 °C y determino que en residuos de fuentes orgánicas como vegetales y hortalizas (tubérculos y legumbres), el tiempo en conseguir abonos es de alrededor de 32 días. Así mismo, realizo una comparación de los nutrientes obtenidos con las guías de calidad de sustratos orgánicos del instituto nacional de normalización de Chile, donde evaluó el rango en que se localizan este tipo de elementos, clasificándolos en: clase A, Clase B o Inmaduro.

En Guatemala no se ha realizado un estudio técnico a profundidad para este tipo de prácticas.

1.2. Clasificación y características de los desechos

Los residuos sólidos comprenden 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 manera adecuada, forman parte de un significativo aporte económico y técnico para la sociedad, los desechos se componen en 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)

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

1.2.1. Por su estado

Los residuos pueden clasificarse según el estado físico en que estos se encuentren, por ende, se pueden clasificar en:

1.2.2. Solidos

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 (Fernández, 2007).

1.2.3. 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 (Fernández, 2007).

1.2.4. 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 acidas (Fernández, 2007).

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)

Fernández (2007) identifico que los residuos se clasifican por su composición, de la siguiente mantera:

1.3. Clasificación de los residuos por su composición

Todos los residuos pueden clasificarse según la composición de la que están fabricados o la naturaleza que los comprende, esto es de vital importancia, ya que cada clasificación dispone de su propio manejo o tratamiento, según la composición los residuos pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.3.1. Orgánica

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

1.3.2. 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.

1.3.3. Por su naturaleza

- Reutilizables
- No reutilizables

1.3.4. Por su origen

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

1.3.5. 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 y químicos.

1.3.6. 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.

1.3.7. 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.

1.3.8. Inflamables

Como efecto de los procesos en la industria de combustibles y limpieza, se generan y producen esta clase de desechos que comprenden elementos como: alcoholes, hidrocarburos aromáticos, acetonas y éteres, este tipo de componentes son los que más daños causan en empresas, fábricas y viviendas.

1.3.9. Reactivos

Elementos como los metales alcalinos, magnesio y nitratos.

1.3.10. 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.

1.3.11. Infecciosos.

Son todos los desechos provenientes de laboratorios médicos, el equipo utilizado para exámenes de sangre, muestras de orinas, jeringas, tejidos, órganos y partes que se remueven de personas y animales (pp. 18-25).

1.4. Gestión de residuos sólidos

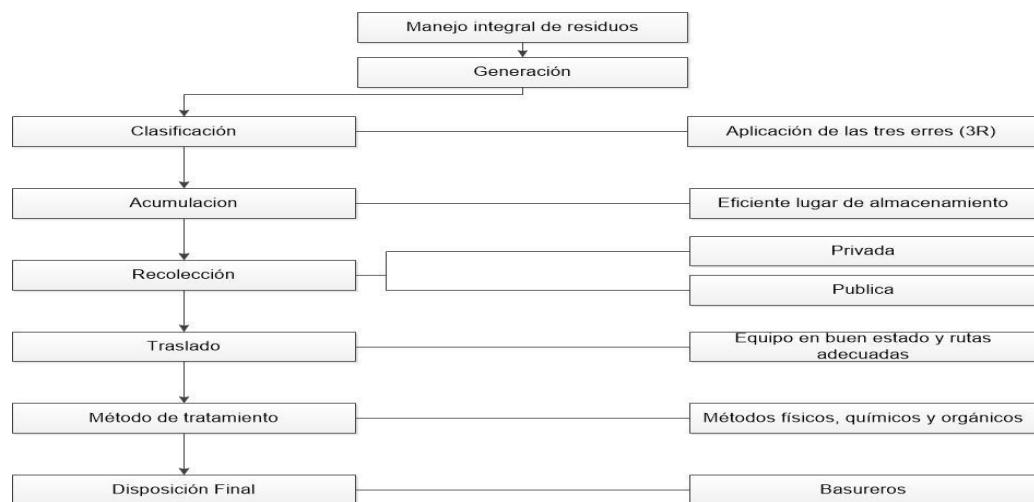
La administración integral de residuos sólidos (GIRS), es una herramienta necesaria para la captación, traslado, proceso y disposición de desechos, de forma que se relaciona con el bienestar hacia las distintas comunidades aledañas, tomando en cuenta aspectos económicos de conservación del entorno, el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

El proceso de administración de residuos debe de realizarse tomando en cuenta características y normas de la región donde se efectúe, involucrando a diferentes grupos de personas necesarias para su ejecución, como las 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 este tipo de prácticas. (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 (Torres, 2008).

El manejo integral se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 1. **Manejo integral de residuos**



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

Aspectos de tomar en cuenta para una adecuada gestión de residuos sólidos.

Tchobanoglous (1997) Sugiere que se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos para una correcta administración de los desechos sólidos.

1.4.1. 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 lleva a cabo el proyecto.

1.4.2. Social

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

1.4.3. Económico

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

1.4.4. Organizativo

La operatividad y gestión de los servicios deben de ser eficientes y eficaces.

1.4.5. Salud

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

1.4.6. Ambiental

Evitar contaminación del suelo, agua y el aire, durante el proceso.

1.4.7. Generación de la fuente

Desde inicios de la humanidad, los seres humanos generan residuos, la acumulación de desechos es una actividad natural y continua de las personas, gran parte de estos están directamente relacionados con el 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, el reúso y técnicas de reciclaje. (Jaramillo, 1997)

1.5. 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” (Domínguez, 1996, p. 28).

1.5.1. Generación por persona, trabajador o empresa

Esta acción es necesaria para estimar el conjunto de desechos que se alcanzan a generar en los hogares o una región en particular.

1.5.2. 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.

1.5.3. Composición de los residuos

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

1.6. Almacenamiento

Esta etapa es muy importante, puesto 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)

En cuanto a los aspectos en tomar en cuenta para el almacenamiento de los residuos vegetales, Jaramillo (1997) explica los aspectos a considerar.

- 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.

1.7. Recolección y transporte

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

La actividad 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)

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 (Fernández, 2007).

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 realizan actividades como chapeos, rotación de cultivos o en la extracción de frutos u hortalizas. (Fernández, 2007)

1.8. Tratamientos

El tratamiento que se le da a todos los materiales es un proceso muy importante en la GIRS, su objetivo principal es disminuir los diferentes tipos de contaminación que hoy afectan el medioambiente, los daños provocados a la salud y el aspecto físico 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

1.9. 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 considerar que los costos de operación de esta actividad son 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).

1.10. Compostaje

Es un método de degradación de los desechos de forma aeróbica, este proceso suele ser controlado, dependiendo de la metodología a utilizar se obtiene 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
Potencial hidrógeno	de -	-	1/5
Contenido humedad	de -	-	
Fósforo	%	0.2-1.5	-
Potasio	%	0.4-1.3	-
Manganese	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)

1.11. 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 necesarios 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 segregá
- Tecnologías por utilizar
- Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento.

1.12. 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).

1.13. Fases en el proceso del compostaje

En la transformación de la materia orgánica a consecuencia de la descomposición aeróbica se pueden identificar al menos 2 etapas, la etapa de descomposición y la etapa de maduración (Solares, 2008).

1.13.1. 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 Celsius y una fase termófila, con una temperatura promedio de 70 grados Celsius. (Franco, 2018)

1.13.2. 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)

1.13.3. Fase termófila.

Cuando se alcanzan temperaturas por encima de los 45 grados Celsius, 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 amoniaco, en sí, la energía aumenta y la temperatura puede alcanzar niveles por encima de los 75 grados Celsius, en donde los agentes patógenos son eliminados. (Franco, 2018)

1.13.4. Fase de maduración

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

1.13.5. Fase de enfriamiento

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

1.13.6. 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).

1.14. Parámetros del proceso

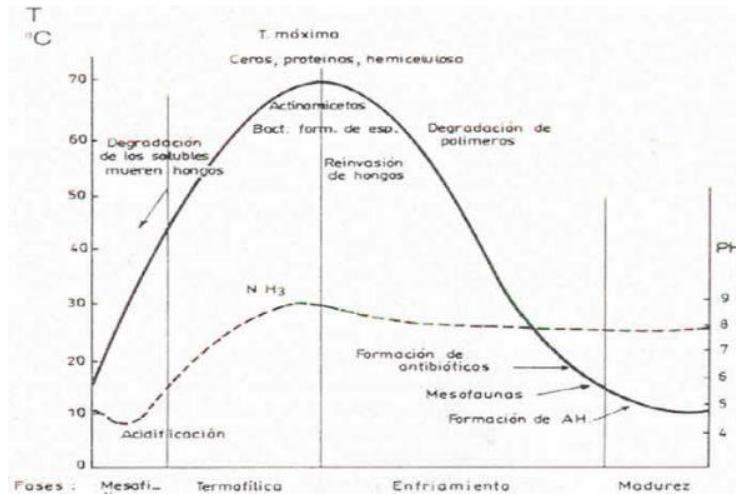
Para que el composteo pueda llevarse a cabo en óptimas condiciones, se han identificados parámetros ideales de temperatura, aireación, humedad, porosidad y pH (Solares, 2008).

1.14.1. 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 esta se degrada y se convierte en otras más sencillas. Mantener una elevada temperatura asegura que el compost presente 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. Comportamiento de la temperatura en los procesos de descomposición aeróbica.



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

En la figura 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 Celsius, se obtiene la mayor diversidad microbiana, el máximo proceso de biodegradación se consigue con temperaturas de 45 y 55 grados Celsius. (Solares, 2008)

1.15. 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 si.
- 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*

1.16. 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*.

1.17. pH

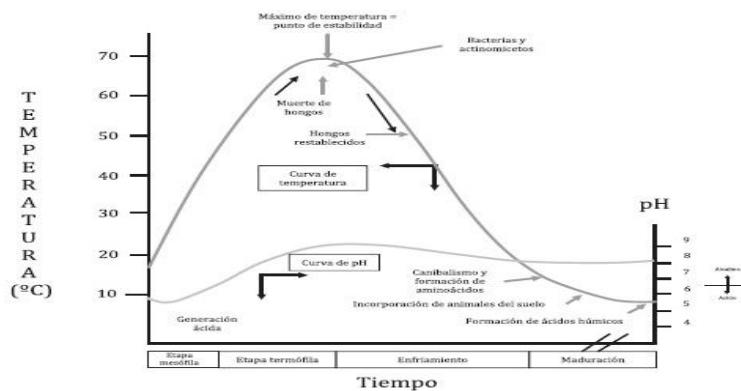
Oliva (2010), expone que el pH es un indicador sobre la acidez de los compuestos, en si indica la porción de iones hidrógenos que se encuentran distribuidos en una determinada sustancia. La teórica divide los niveles de pH en:

- 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.*

1.18. Microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes (ME), fueron producidos en los años 70, por un investigador de la Universidad de Okinawa en Japón, el profesor Teruo Higa identificó 3 especies de organismos capaces de desarrollar una participación y concentración de varios factores, que puede 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 encimas contienen minerales, ácidos orgánicos, vitaminas y antioxidantes. Además de poseer componentes que ayudan a cambiar la micro y macro flora de suelo.

1.19. 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:

1.19.1. Bacterias ácido lácticas

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

1.19.2. Bacterias fotosintéticas

Estas Bacterias son muy peculiares ya que con la ayuda de la luz proveniente del sol y las altas temperaturas del medio que las rodean, sintetizan sustancias como raíces, gases y materiales orgánicos. Además, promueven el crecimiento y el desarrollo de plantas debido a las sustancias que estas sintetizan como ácidos nucleicos, aminoácidos, sustancias bioactivas y carbohidratos, promueven el balance con otros microorganismos eficientes, permitiendo funcionar plenamente. (Pec, 2015)

1.19.3. Levaduras

Las levaduras promueven la división celular por medio de elementos bioactivos, como hormonas y enzimas que estas producen, las secreciones de estas bacterias son el alimento para las bacterias ácido lácticas, en sí, la levadura acelera el proceso de fermentación y descomposición de materiales orgánicos. (Piedrabuena, 2009)

1.20. Aplicación de los microorganismos eficientes

Relacionado con el uso que se le puede dar a los ME, Higa (2013), comenta que 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.

1.20.1. En semillas

Los microorganismos contribuyen a un aumento en el desarrollo en la germinación de semillas, extiende 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 giberelico. En si los ME tienden a desarrollar la supervivencia de las plantas. (Franco, 2018)

1.20.2. 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).

1.20.3. En los suelos

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

1.21. Técnicas de compostaje

Según Solares (2008), “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” (p. 13).

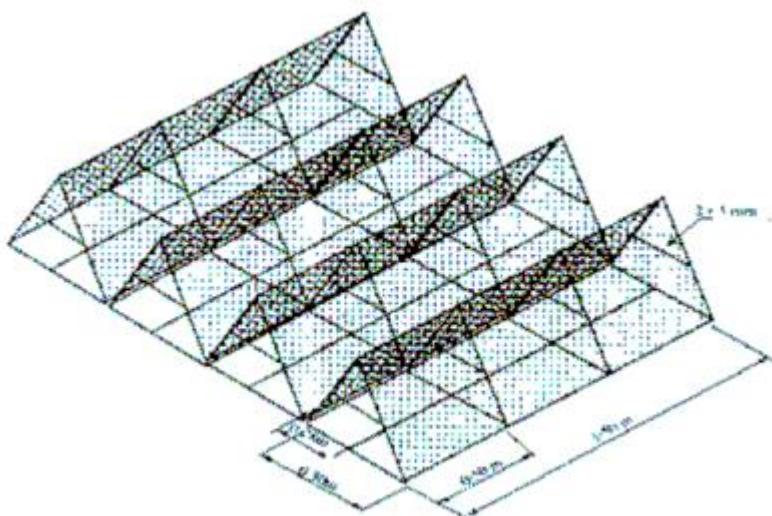
1.21.1. Sistemas abiertos

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).

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 emplean en los métodos de composteo y la velocidad que se requiere para el proceso.

Figura 6. **Estructura de pilas.**



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

1.21.2. Sistemas cerrados

La función de los sistemas cerrados, según Meléndez (2016), si la finalidad es 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, estos se dividen en dos grupos.

1.21.2.1. Reactores de flujo vertical

“Los reactores de flujo vertical, son estructuras 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, p. 48).

1.21.2.2. Reactores de flujo horizontal

“Los rectores de flujo horizontal son estructuras que constan de estructuras que contienen contenedores rotatorios y reactores que poseen contenedores con geometrías variables” (Cantanhede, 2005, p. 49).

Figura 7. Sistema Cerrado de compostaje



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

1.22. Usos del compost

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

También 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 beneficios.

1.23. Lixiviados

En el proceso de degradación de la materia orgánica se forman líquidos que se generan en el proceso químico del compostaje, este componente posee grandes concentraciones de microorganismos, elementos nutricionales y usos, para ello se recomienda captarlo o almacenarlo, ya sea para tratarlos por medio de la evaporación o para ser utilizados como fertilizante líquido, también pueden desarrollar el valor de un insecticida muy efectivo, pueden aplicarse a las plantas de forma directa o haciendo aspersiones al suelo. Martinez (2018)

1.24. Generación de metano

Durante los procesos de composteo de la materia orgánica se da lugar a la generación de elementos como calor, vapor de agua, algunos nutrientes y metano, como producto final de este fenómeno, si bien el manejo de composteras produce metano, esta suele ser en menor cantidad que lo producido con el almacenamiento convencional de los residuos orgánicos, en su investigación fundamentan la necesidad de cambiar la cultura actual para el manejo de desechos naturales a metodologías como el composteo, así mismo en su publicación sugiere evitar el uso de fertilizantes químicos como urea o productos que contengan un alto contenido de nitrógeno, ya que puede aumentar la generación de metano, a su vez propone que es de suma importancia realizar labores para capturar el metano, por el hecho que es una buena alternativa para la producción de energía limpia. (Sánchez, 2010)

1.25. Análisis financiero

El análisis financiero es el estudio de un proyecto para ser sustentable, viable y rentable en determinado periodo de tiempo. El análisis financiero es una parte fundamental de la evaluación de un proyecto que se tiene la expectativa de ser rentable, en términos de proyectos, se puede sintetizar que este análisis es de suma importancia para poder comprobar si vale la pena aplicar los diferentes métodos expuestos en este informe para su posterior utilización.

1.25.1. Identificación de materiales y equipo

Para la elaboración, construcción, mantenimiento y supervisión del proyecto es necesario tener una serie de instrumentos, materiales y utensilios que son necesarios para cada una de las actividades, en este proyecto se utilizaron materiales que fueron de vital importancia durante todo el proceso, así mismo, se utilizaron instrumentos que su única función fue durante una etapa en específica.

Es importante detallar cada uno de los materiales utilizados, ya que uno de los objetivos principales es identificar la viabilidad económica que tienen este tipo de estudios, para ello es inevitable analizar todo aquello que tendrá un impacto significativo en dicho proceso.

1.25.2. Cálculo del TIR y VAN

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.

Es necesario calcular los indicadores financieros del proyecto, ya que son los índices que ayudan a determinar si es o no conveniente este tipo de actividades en la finca.

1.25.3. Van

El valor actual neto (VAN) es una métrica financiera que se utiliza para evaluar las oportunidades de inversión. En su forma más básica, el VAN permite a los inversores y a las empresas determinar el valor futuro de una inversión. Dicho de otra manera, indica si una empresa o una inversión ganarán dinero a lo largo del tiempo.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_o$$

Donde:

V_t = representa los flujos de caja de cada periodo

I_o = es el valor del desembolso inicial de la inversion

n = es el numero de periodo considerado

k = es el tipo de interes

1.25.4. TIR

La tasa interna de retorno (TIR) es la rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una un proyecto, en si se puede definir como el porcentaje de ingresos o pérdidas que se obtiene como consecuencia de una inversión

$$TIR = [-I_o + \frac{FC}{(1+X)^n}]$$

Donde

I_0 = *inversion inicial*

FC = *flujo de caja*

X = *Tasa de desceunto*

n = *periodo del tiempo*

2. MARCO METODOLOGICO

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio y de las metodologías utilizadas en la investigación, fue necesario una serie de pasos, que van desde la recolección de los datos, hasta en análisis del producto final el cual fue obtenido de las composteras.

2.1. Recolección de datos.

En toda investigación es necesario contar con un proceso de recolección de datos, este paso es fundamental para tener una percepción del escenario actual en el área de estudio, así como para conocer todos los espacios de la finca y el personal responsable de cada proceso.

2.1.1. Entrevistas

Previo a realizar encuestas a cierto número de trabajadores, se efectuaron entrevistas con el encargado de la finca y con los supervisores de las diferentes áreas, con la finalidad de conocer los procesos administrativos y de operación que se realizan en los lugares de trabajo y las áreas de producción, de esta forma se logra identificar los sitios generadores de desechos, así como el interés que tienen los encargados de las diferentes áreas al manejo de los residuos.

2.1.2. Encuestas

Como parte del proceso de recolección de datos, se efectuaron encuestas al personal que labora en la finca, este proceso es de gran ayuda para comprobar

la percepción del manejo de los residuos y así visualizar los conocimientos básicos sobre el manejo de desechos sólidos que poseen los trabajadores.

La encuesta utilizada para obtener información del área de estudio, planteo aspectos generales sobre el uso de abonos orgánicos, elaboración de composteras, manejo de residuos y conocimientos en general sobre los microorganismos eficientes.

2.1.3. Recorridos en la finca

Esta actividad fue de gran contribución para visualizar espacios con proporciones considerables de residuos vegetales, identificando así, las zonas para obtener la materia prima, la mano de obra disponible y el espacio en el cual se ubicarán las composteras.

La finca cuenta con un área aproximada de 8 manzanas, la producción principal es el cultivo de café.

Durante el recorrido fue importante identificar las zonas donde existe una gran afluencia de residuos, durante esta actividad se logró distinguir que gran parte de estos, provienen de las podas de plantas cafetaleras, así como de las podas de una planta que es usada como sombra, llamada gravillea.

El personal que labora en la finca es variado, en el momento del recorrido laboraban 43 personas, este número diversa conforme la temporada del año, llegando hasta una cantidad promedio de 70 trabajadores en época de cosecha.

2.2. Caracterización de los residuos vegetales.

La caracterización de los residuos comprende todas aquellas tareas que se realizan, con el fin de poder determinar los elementos que comprende el conjunto de desechos en los vertederos o en un área en específica, para ello es necesario un número de tareas, las cuales se describen a continuación.

2.2.1. Identificación y recolección de residuos.

En el proceso de recolección de residuos, se recogieron durante 10 días consecutivos desechos de áreas específicas que están ubicadas en la finca, esta actividad se efectuó en época de rotación de cultivos o después que se aplicaron podas a las plantas de café, ya que es cuando la labor en el área incrementa significativamente.

La labor de las podas de plantas es de suma importancia en la producción de frutos de café, pero es una actividad que genera gran cantidad de residuos vegetales, que actualmente no tienen ningún tipo de uso.

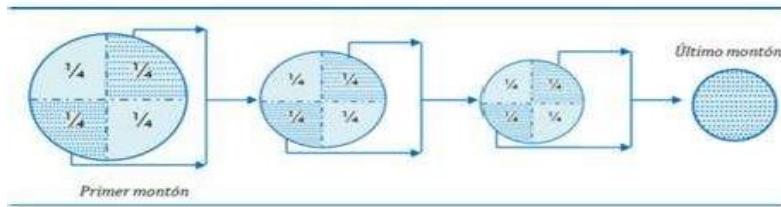
En su totalidad, los residuos vegetales son acumulados en cualquier espacio disponible de la finca, prácticamente cualquier sitio disponible es utilizado para la acumulación de podas y desechos de malezas, para acelerar su desintegración en algunos casos es quemada, pero según datos históricos, se produjeron incendios que afectaban parte del cultivo.

2.2.2. Determinación de la composición de residuos

Para identificar la naturaleza de los desechos acumulados en el área, se procedió a la utilización del método de cuarteo, por este medio se determinó la

participación de desechos orgánicos verdes y material orgánico oscuro, entre otros del área a estudiar, obteniendo así las bases para evaluar la composición de los residuos, esta operación fue de gran importancia para determinar el beneficio, procedimiento y disposición.

Figura 8. **Método de cuarteo**



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

El método de cuarteo tuvo la funcionalidad de que se pudiera identificar la composición de residuos que estaban presentes en las zonas donde este se acumulaba, el método se realizó de la siguiente manera:

- Sobre un plástico se vertió la acumulación de distintas áreas y se mezclaron para obtener una muestra homogénea.
- Se dividió en 4 partes, según lo expresado en la teoría
- Con el fin de reducir la muestra se seleccionaron dos cuartetos y se retiraron los otros dos restantes, esto con el fin de disminuir la muestra.
- Se volvió a mezclar los residuos y así realizar un nuevo cuarteo en donde se trajeron dos cuartetos opuestos de la muestra, este proceso se realizó hasta poder obtener una muestra considerada.

2.3. Elaboración de compostera

El compostaje es una metodología que intenta imitar procesos que ocurren en la naturaleza para convertir los residuos en importantes sustratos con grandes cantidades de nutrientes para las plantas, el curso de descomposición de materiales orgánicos sucede gran parte de los ecosistemas del planeta, y es lo que les permite a estos hábitats ciclar los nutrientes y mantener la fertilidad en el transcurso del tiempo. Actualmente existen varias técnicas de composteo que cuentan con ventajas y desventajas en particular, para la correcta selección del método a utilizar, se definen los beneficios técnicos, económicos y de mantenimiento.

Es de suma importancia que el método a elegir debe de tener especificaciones de manejo práctico, que sea económico y con un producto final con altos niveles de concentración de nutrientes, también es de suma importancia que los productos e insumos a utilizar, estén al alcance de todos los usuarios y posibles usuarios.

Figura 9. **Selección de la compostera**

	Proceso	Producto final	Velocidad del proceso	Conveniencia	Espacio que ocupa	Compatible con espacios interiores	Facilidad de aprender el método	Propensidad a generar malos olores	Residuos que se pueden añadir	Inversión inicial	Calidad del compost
Composteras Giratorias	Aeróbico	Compost	Rápido	Práctico	Poco	Sí	Muy fácil	Muy baja	Pocas restricciones	Media	Buena
Takakura	Aeróbico	Compost	Rápido	Medianamente práctico	Poco	Sí	Fácil	Baja	Algunas restricciones	De baja a media	Buena
Bokashi	Anaeróbico	Pre-Compost	Rápido	Poco práctico	Mucho	Sí	Intermedio	Alta pero los olores están contenidos	Muy pocas restricciones	De baja a media	El producto final es pre-compost
Lombricompost	Aeróbico	Humus de lombriz	lento	Impráctico	Demasiado	No	Difícil	Baja	Muchas restricciones	De media a alta	Excelente
Pilas	Aeróbico	Compost	lento	Poco práctico	Mucho	No	Fácil	Moderada	Pocas restricciones	De nula a baja	Muy buena

Fuente: Semanario Universidad (2020). *Semanario Universidad*. Consultado el 5 de marzo de 2020. Recuperado de <https://semanariouniversidad/composteras/>

El método seleccionado para la elaboración de composteras fue el de pilas de compostaje. Este método es muy utilizado en la arena de producción de hortalizas en Guatemala, claro ejemplo es la zona productora de Técpán, Patzicia y Zaragoza en el departamento de Chimaltenango.

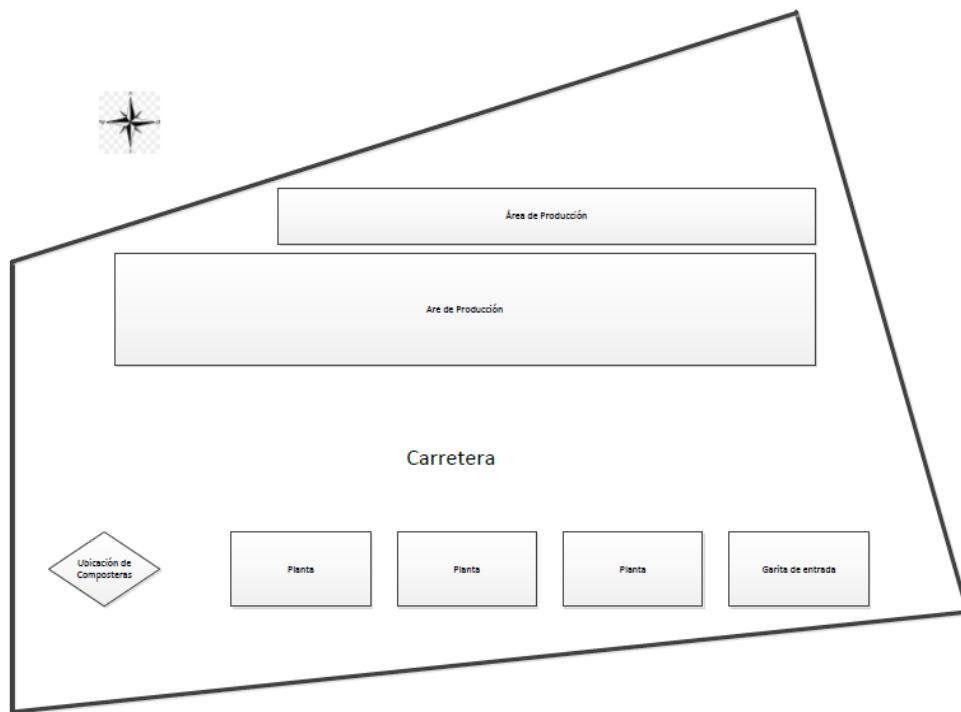
2.3.1. Ubicación de la compostería.

Un aspecto por considerar al momento de iniciar con las diferentes técnicas de compostaje es la ubicación de pilas que prácticamente es el lugar donde se construyeron las composteras. Las condiciones ideales para la realización de un buen compostaje dependen de la disposición de un adecuado suelo, que este sea rígido y firme.

El espacio seleccionado cumple con las siguientes características:

- Ubicación accesible
- Disponibilidad de agua
- Espacio plano y rígido
- Libre de contaminantes externos

Figura 10. Ubicación de la compostera



Fuente: elaboración propia, realizado con Visio

2.3.2. Construcción de las pilas

La construcción de pilas se realizó de forma manual, las medidas de cada una de ellas fueron de 1 metro de alto, 1.5 metros de ancho y 3 metros de longitud, el procedimiento para su edificación fue el siguiente:

- Se inició con la limpia del lugar o la adecuación del espacio a utilizar y la de sus alrededores, para ello se buscó un área con disponibilidad de agua, con el suelo plano y rígido y que estuviera al alcance del personal.

- Como Segundo paso se procedió a la instalación del material a utilizar en el área específica del sitio a utilizar, así como la instalación de las estructuras fundamentales de las composteras.
- Se procedió a la construcción de compoteras para esto fue necesario formar cada una de las camas las cuales fueron colocándose una sobre otra y se necesitó de los siguientes materiales: materia orgánica, materia verde, arena, tierra y cal (óxido de calcio)

2.3.3. Óxido de calcio

Para corregir las propiedades del compost, Palma (2012) plantea que la cal mejora tanto las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo, aumentando la disponibilidad de elementos, al tener un pH cercano a la neutralidad, se mejora la actividad de microorganismos benéficos y a mejorar las propiedades químicas, biológicas, físicas del suelo e indica que la cal se usa en el compostaje para evitar la proliferación de mosca, para mejorar el pH e incrementar los contenidos de calcio, magnesio, así como también para aumentar los contenidos de fósforo. En su investigación indica que el contenido de cal a utilizarse es igual al 3 % del contenido total de los insumos a emplear en la elaboración de pilas de compost.

2.4. Aplicación de Microorganismos Eficientes

El propósito de la aplicación de los Microorganismos Eficientes es estudiar si al momento de utilizar microorganismos eficientes, se produce alguna mejora en el proceso o no, para ello se debe ensayar, aplicando el tratamiento con diferentes dosis y así también como no aplicando microorganismos, esto con el fin de tener un comparativo.

2.4.1. Número de pilas

El número de pilas a utilizar en el ensayo fue de 4, en donde se valuyeron la aplicación de diferentes dosis durante un determinado periodo, cabe destacar que la ubicación de las pilas fue de manera aleatoria.

Tabla II. Aplicación de ME

Nombre	Cantidad de ml de ME por pila	Programación
Pila A	16 litros por pila	Cada 15 días
Pila B	10 litros por pila	Cada 15 días
Pila C	22 litros por pila	Cada 15 días
Testigo	No se aplicó	N/A

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Aplicación de microorganismos

La aplicación de los microorganismos se hizo por el método de aspersión, por medio de una bomba agrícola, la bomba tiene una cabida de 16 litros, un regulador de presión y la capacidad de ser cargada por un trabajador.

Previo a la aplicación de microorganismos sobre cada una de las pilas, se mide la dosis de microorganismos eficientes a utilizar, para este proceso se utiliza de una probeta convencional y una varilla agitadora, el producto a emplear para el ensayo se llama Mejora compost el cual es de origen guatemalteco distribuido por la empresa emagro.

Figura 11. Mejora compost



Fuente: emagro (2020). EMAGRO. Consultado el 17 octubre de 2020. Recuperado de [https://emagro.com/productororganicos/.](https://emagro.com/productororganicos/)

2.4.3. Riego y volteo

El riego fue aplicado en el proceso cada 8 días, se aplicaron alrededor de 3 litros por metro cúbico de agua.

El volteo de las camas es esencial ya que permite una adecuada aireación y una distribución de los microorganismos eficientes, este proceso se realizó a los 15 días de haber construido las pilas y durante 90 días, esta actividad se efectuó cada 8 días, es decir después de la aplicación del riego.

2.4.4. Tiempo del ensayo

El tiempo para la realización del proceso fue de 4 meses, lapso para el cual fue suficiente la observación de cambios significativos en cada una de las aboneras.

2.4.5. Capacidad instalada

Para la construcción de cada compostería, son necesarios 9 metros cuadrados de área, ya que se debe de tomar en consideración la actividad de volteo de cada una de las pilas, la finca dispone de 644 metros cuadrados para la producción de composterías, lo que da una capacidad de área de producción de 71 pilas, el número de trabajadores de la finca depende del tipo de actividad agrícola que se esté llevando en este, por lo general, en la finca labora un promedio de 43 personas, para el manejo de las composterías es necesaria la participación de 2 personas, en intervalos de 10 a 20 días.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los residuos generados.

Por medio del método de cuarteo identificado en la teoría de esta investigación y de las que se llevaron durante el desarrollo de la metodología se identificaron los materiales generados en la finca.

3.1.1. Caracterización de las áreas

La muestra utilizada para la cuantificación y caracterización de los residuos fue de aproximadamente 137 kilos.

Figura 12. Muestra de materia orgánica



Fuente [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021).

Colección particular, Guatemala.

3.1.2. Porcentaje por participación

En la siguiente tabla puede identificarse la cantidad en porcentaje de cada uno de los elementos encontrados durante la etapa de caracterización.

Tabla III. Clasificación de residuos

Clasificación de residuos	Peso (kilos)	Porcentaje
Residuos orgánicos verdes	46	92 %
Material orgánico oscuro	3.5	7 %
Plástico	0.5	1 %
Cartón	0	0 %
Otro	0	0 %

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Residuos generados por mes

En la siguiente tabla se puede analizar un estimado de la cantidad de materia verde generada durante los meses de enero del 2021 a junio del 2021.

Tabla IV. Residuos generados por mes

No.	Mes	Año	Actividad principal	Kg de residuos orgánicos
1	Enero	2021	Manejo de cultivo en general	32
2	Febrero	2021	Podas	194
3	Marzo	2021	Manejo de cultivo	60
4	Abril	2021	Chapeos y recepas	168
5	Mayo	2021	Actividades forestales	179
6	Junio	2021	Manejo de cultivo	65
Total				700

Fuente: elaboración propia.

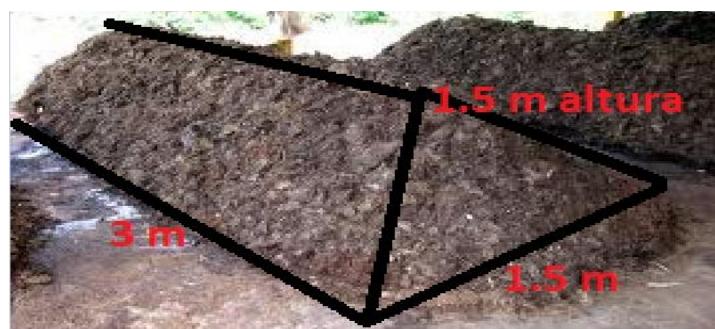
3.2. Aplicación de microorganismos eficientes

Para la identificación de la dosis óptima a utilizar de Microorganismos eficientes en el estudio, fue indispensable la fabricación de composteras para poder demostrar el impacto de este análisis en la aceleración del proceso de descomposición de la materia.

3.2.1. Construcción de las pilas

Para esta actividad se construyeron 4 composteras con dimensiones de 3 metros de largo, 1.5 metros de ancho y una altura aproximada de 1.5 metros.

Figura 13. Dimensiones de las composteras



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021).

Colección particular, Guatemala.

Las composteras fueron ubicadas de manera aleatoria en un lugar plano, con fácil acceso al personal y con una buena disponibilidad de agua e insumos.

3.3. Requerimientos para la elaboración de composteras

Para la construcción de compoteras fue necesario formar cada una de las camas las cuales fueron colocándose una sobre otra, para ello se necesitó de materiales principales como: materia orgánica, materia verde, broza, tierra y cal (óxido de calcio)

En la siguiente tabla se detallan los insumos utilizados para la elaboración de cada una de las 4 compoteras.

Tabla V. Requerimientos para fabricación de compoteras

No.	Nombre	Cantidad en kilos
1	Materia orgánica	1090
2	Materia verde	136
3	Broza	136
4	Cal	46

Fuente: elaboración propia.

3.4. Aplicación de microorganismos

En la investigación se compararon 3 tipos de dosis diferentes obtenidas en la exploración bibliográfica, también se tuvo a disposición una pila testigo, es decir; a esta pila no se le aplicó ningún tipo de Microorganismos Eficientes, pero si se realizaron todas las técnicas de volteo y riego.

Las dosis aplicadas se detallan en la siguiente tabla

Tabla VI. Aplicaciones de EM en pilas de compost

Nombre	Cantidad de ml de ME por pila
Pila A	16 litros por pila
Pila B	10 litros por pila
Pila C	22 litros por pila
Testigo	No se aplicó

Fuente: elaboración propia.

Los microorganismos utilizados fueron obtenidos de la marca Emagro, estos se reprodujeron de forma natural dentro de un proceso artesanal dentro de la finca.

Figura 14. Microorganismos eficientes



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021).
Colección particular, Guatemala.

Figura 15. Microorganismos eficientes en estado sólido



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)

Colección particular, Guatemala.

3.5. Parámetros del compost

El compost es el resultado del proceso natural de desintegración aeróbica (con oxígeno) de los residuos orgánicos, por el cual se convierten en abono orgánico todos los desechos naturales. En algunas regiones también se le llaman composta, compuesto, o abono orgánico, es obtenido de manera natural por la descomposición de residuos orgánicos vegetales por medio de la propagación masiva de bacterias aeróbicas que están presentes de forma natural en el ambiente.

Figura 16. Compost obtenido



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

3.5.1. Velocidad de descomposición

La velocidad con que se obtiene el abono orgánico proveniente de la descomposición aeróbica de los elementos y esta conducta tiene un comportamiento exponencial en cuanto a la aplicación de microorganismos, esto quiere decir que, a mayor aplicación de litros por metro cuadrado de microorganismos eficientes, se produce un aumento en la actividad micobacteriana del sistema, disminuyendo el tiempo del proceso.

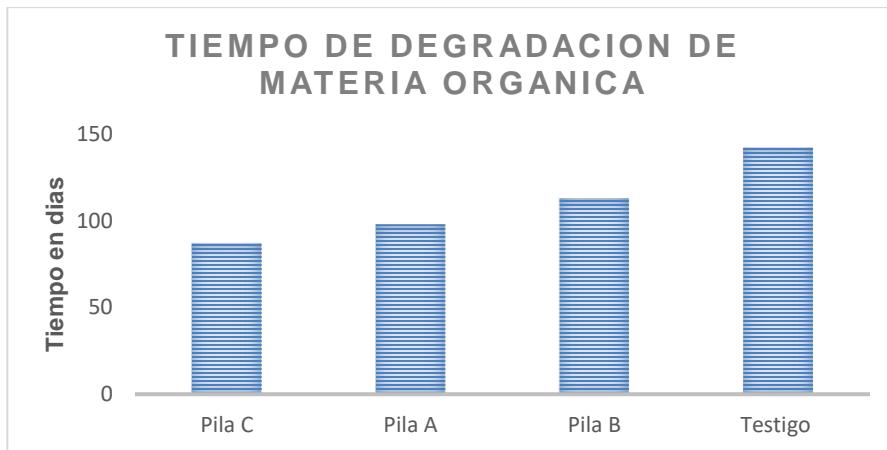
Tabla VII. Descomposición final en días

No.	Nombre	Cantidad en litros	Tiempo final en días
3	Pila C	22	87
1	Pila A	16	98
2	Pila B	10	113
4	Testigo	0	142

Fuente: elaboración propia.

Comportamiento de la técnica de descomposición por medio de aplicaciones de Microorganismos eficientes.

Figura 17. Proceso de descomposición en días



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

3.5.2. Calidad del compost

La calidad del compost se comprueba a través de determinadas propiedades físicas, químicas y biológicas, así como el contenido de

macronutrientes, micronutrientes y de la capacidad de proveer nutrientes a un cultivo.

A continuación, se detalla el comparativo de la calidad del compost obtenido de la pila C con la metodología empleada en esta investigación y la pila testigo.

Tabla VIII. Comparación de compostajes

Descripción	Sustrato compostera	Testigo	Valor de referencia
Materia orgánica	1.78	1.40	1.50
pH	7.02	5.50	6.50
Conductividad eléctrica	1.98	0.90	1.00
Nitratos	36.00	18.00	25.00
Fosfatos	27.00	32.00	30.00
Potasio	174.00	147.00	150.00
magnesio	159.00	132.00	150.00
azufre	73.00	42.00	65.00
hierro	6.70	3.20	5.00
cobre	2.40	2.10	2.00
Zinc	1.70	0.92	1.50
Boro	2.20	1.70	1.50

Fuente: elaboración propia.

3.6. Análisis económico

Es el proceso a través del que se analiza la viabilidad de un proyecto. Así pues, tomando como base los recursos económicos que se tienen disponibles y el coste total del proceso de producción.

En la siguiente tabla se detallan los costos de la inversión inicial del proyecto a realizar:

Tabla IX. Inversión inicial

Inversión Inicial	cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Carreta	1	Unidad	Q300.00	Q300.00
Pala	2	Unidad	Q38.00	Q76.00
Azadón	2	Unidad	Q85.00	Q170.00
Nylon	25	metros	Q1.00	Q25.00
Machete	2	Unidad	Q31.95	Q63.90
Bomba agrícola	1	Unidad	Q380.00	Q380.00
Manguera	1	unidad	Q86.00	Q86.00
Total				Q1,100.90

Fuente: elaboración propia.

3.6.1. Egresos

El término egreso proviene del latín egressus que significa salida. En términos económicos se define egreso como toda salida económica que se origine en una empresa. Un egreso es por lo tanto, la salida de capital con la finalidad de efectuar determinados compromisos de pago.

En la siguiente tabla se detallan los costos directos de fabricación de las composteras.

Tabla X. Egresos compostera 1

Compostera	Cantidad	Unidad	Precio (Q)
Egresos			
Materia orgánica	1090	Kilos	Q100.00
Materia verde	1	Unidad	Q91.00
Broza	1	Unidad	Q91.00
Cal	46	Kilos	Q62.00
ME	96	Litros	Q90.00
Mano de obra directa	8	Horas	Q728.00
Total			Q1,162.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Resumen de egresos

Nombre	Monto
Egresos trimestre	Q4,102.00
Egresos por año	Q16,408.00

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Ingresos

En el ámbito financiero, el concepto de ingresos es sin duda uno de los elementos más fundamentales y notables con los que se trabaja. Se entiende por ingresos a todos los lucros que ingresan al conjunto total del presupuesto de una empresa o sociedad.

En la siguiente tabla se genera una proyección de los ingresos obtenidos de la venta de los abonos orgánicos.

Tabla XII. Ingresos del proyecto

Nombre	Cantidad	Unidad	Precio por kilo	Total
Ingresos	1364.00	kilos	Q1.1	Q1,500.00
Ingresos por trimestre	5454.00	Kilos	Q1.1	Q6,000.00
Ingreso por año	21818.00	kilos	Q1.1	Q24,000.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Resumen de ingresos

Nombre	Monto
Ingresos trimestre	Q6,000.00
Ingresos por año	Q24,000.00

Fuente: elaboración propia

3.6.3. Flujo de efectivo

El flujo de efectivo, flujo de fondos o Cash Flow en inglés, se delimita como las diferencias en el comportamiento de las entradas y salidas de dinero en un determinado período, y su información mide el estado financiero de una empresa, a su vez, estos indicadores ayudan a tomar decisiones a futuro sobre la viabilidad de proyectos.

Tabla XIV. Flujo de efectivo

Flujo de ingresos	A	B	A-B
Año	valor		
1	Q24,000.00	Q16,408.00	Q7,592.00
2	Q24,000.00	Q16,408.00	Q7,592.00
3	Q24,000.00	Q16,408.00	Q7,592.00
4	Q24,000.00	Q16,408.00	Q7,592.00
5	Q24,000.00	Q16,408.00	Q7,592.00

Fuente: elaboración propia.

3.6.4. Cálculo del TIR y VAN

Estos indicadores ayudan a determinar los beneficios y la rentabilidad que todo nuevo proyecto otorgara, una vez realizada la inversión, es decir, tienen la finalidad de dar una visión de las posibilidades de éxito del proyecto.

3.6.4.1. VAN

El valor actual neto (VAN) es un indicador económico que sirve para comprobar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y restar la inversión inicial del proyecto, de quedar alguna ganancia, el proyecto es financieramente viable, el valor actual neto calculado en este estudio tiene un valor positivo de Q. 26,678.75.

3.6.4.2. TIR

La Tasa Interna de Retorno o TIR, es la tasa de rentabilidad que indica una inversión. Así, se puede expresar que la tasa interna de retorno es el

porcentaje de beneficio o perdida que sufrirá cualquier proyecto. El valor de la tasa interna de retorno calculado en este estudio tiene un valor positivo del 69 %.

Con base a los indicadores financieros mencionados anteriormente, se resumen los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla XV. Resumen análisis financiero

Nombre formulación de datos	Valores
Flujo 1	Q. 7,592.00
Flujo 2	Q. 7,592.00
Flujo 3	Q. 7,592.00
Flujo 4	Q. 7,592.00
Flujo 5	Q. 7,592.00
Años	5
Interés	10 %
Inversión inicial	Q. 1,100.90
VAN	Q. 26,678.75
TIR	69 %

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la finca se generan un promedio de 700 kilos de residuos orgánicos por cada semestre del año, de esta cantidad el 92 % está en la clasificación de residuos orgánicos verdes, 7 % de material orgánico oscuro y un 1 % de otro tipo de residuos. Para esta actividad se extrajo de las áreas previstas durante el recorrido de la finca y se identificaron todas aquellas en donde existía una acumulación de residuos provenientes de diferentes labores agrícolas, que en su totalidad son todos aquellos desechos que no son depositados en contenedores y recipientes y que son productos meramente orgánicos, como residuos de podas, chapeos y control de malezas.

En el proceso de aplicación de microorganismos eficientes en las pilas de compost, se evaluaron 3 tipos de dosis de microorganismos eficientes, los cuales comprenden: levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias fotosintéticas las cuales fueron aplicados cada 15 días, por medio de una bomba agrícola, las dosis a utilizar fueron las siguientes: para la pila A se utilizaron 16 litros de ME, para la pila B se utilizaron 10 litros de ME y para la pila C se utilizaron 22 litros de ME. En cuanto a la velocidad con que se obtiene el compost el estudio determinó que, a mayor uso de ME en las pilas de compost, la degradación de materia orgánica ocurre de manera acelerada, con resultados finales de 87 días en la Pila C, 98 días en la Pila A y 113 días en la pila B, este impacto es significativo para este tipo de prácticas, ya que se obtienen mejores resultados con la utilización de estas tecnologías, el rendimiento del método se mejora en un 63 %.

La temperatura y el pH tiene un comportamiento variable en el proceso de compostaje, en la investigación se identificó una temperatura promedio de 55 grados Celsius, el valor más alto encontrado fue de 73 grados Celsius, este proceso es fruto del proceso de degradación de la materia orgánica y la acción de los microorganismos eficientes, relacionado con el pH, el valor promedio medido fue de 7.3 y el máximo dato identificado fue de 7.7, según las investigaciones bibliográficas expuestas en este documento, es importante controlar la temperatura y el pH en el uso de estas metodologías evitando que se alcance temperaturas superiores a los 80 grados Celsius y un pH de 8.0, ya que a partir de estos valores, los microorganismos benéficos pueden morir y retardar así el proceso de descomposición de la materia orgánica.

La aplicación de Microorganismos eficientes tiene un comportamiento positivo en la disposición elementos, por medio de este estudio se identificó un aumento del 20 % de materia orgánica, 98 % en conductividad eléctrica, 44 % en nitratos, 16 % en potasio, 34 % en hierro, 20 % en cobre y 47 %, logrando así un incremento considerable de las características del abono orgánico que puede ser utilizado en la agricultura tradicional del sector agrario del país.

En cuanto al análisis económico, los resultados establecen que la investigación es económicamente rentable y viable, entre los índices calculado, destaca el VAN con un valor de Q 26,678.75 y una tasa interna de retorno (TIR) del 69 %, esto quiere decir que por cada quetzal que se invierte en el proyecto, se obtiene el quetzal de vuelta y una ganancia de 64 centavos, siendo un dato significativo para realizar este tipo de labores en las fincas de la región.

CONCLUSIONES

1. Se estimó que en promedio se generan 700 kilogramos de desechos en áreas de producción de la finca, los cuales el 92 %, pertenecen a desechos orgánicos verdes, 7 % a residuos orgánicos oscuros y un 1 % a distintas clases de residuos (plástico y cartón), identificando que existe un problema con la disposición de materia verde en la propiedad, la acumulación de los residuos difiere según la etapa productiva y el mes, siendo los meses en los cuales se realizan podas, recepas y chapeos, en los que se encuentra un gran aumento de estos.
2. Se calculó la eficiencia de los Microorganismos eficientes que comprenden levaduras, bacterias de ácido láctico y bacterias fotosintéticas, como método de degradación de desechos naturales a partir de 3 dosis diferentes de Microorganismos eficientes, donde a la pila A se le aplicaron 16 litros de microorganismos eficientes en intervalos de 15 días, a la pila C se le aplicaron 22 litros de microorganismos eficientes en intervalos de 15 días y a la pila B se le aplicaron 10 litros de microorganismos eficientes en intervalos de 15 días, concluyendo que la pila con mayor eficiencia en cuanto al tiempo de degradación de desechos vegetales fue la pila C, con un tiempo de 87 días en comparación con los 142 días de la pila testigo, obteniendo una diferencia de 55 días, alcanzando una eficiencia del 63 %.

3. Se evaluó la calidad del abono de los sustratos obtenidos, dónde se determinó que hubo una mejora de las características de los sustratos donde se utilizaron microorganismos eficientes, teniendo un incremento del 20 % de materia orgánica, 98 % en conductividad eléctrica, 44 % en nitratos, 16 % en potasio, 34 % en hierro, 20 % en cobre y 47 % en boro.
4. Se calculó la viabilidad financiera de la elaboración de sustratos usando desechos naturales y se comprobó que el proyecto es económicamente viable, presentando un valor positivo del VAN de Q. 26,678.50 y una tasa interna de retorno del 69 %, por lo tanto, la utilización de estas metodologías es realizable y técnicamente práctica en el sector agrícola del país.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar el método de composteo a partir de microorganismos eficientes, ya que es capaz de procesar hasta un 92 % la materia orgánica verde generada en una finca de café en el municipio de Acatenango del departamento de Chimaltenango, por lo que se considera una metodología efectiva para la degradación de la materia verde y orgánica, capaz de convertir los desechos en productos útiles para la agricultura.
2. La utilización de Microorganismos eficientes incrementa la eficiencia en el tiempo de degradación de la materia verde hasta en un 63 %, sin embargo, se recomienda proteger las pilas de compostaje del contacto directo con el agua, ya que la excesiva humedad puede afectar o interrumpir el proceso de descomposición reduciendo así su eficiencia
3. Utilizar abonos orgánicos derivados de pilas de compost y microorganismos eficientes que comprenden levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias fotosintéticas, por el hecho de que estos presentan altas concentraciones de micronutrientes y macronutrientes, así mismo ayudan a las propiedades fisicoquímicas del suelo.
4. La tecnología usada en esta investigación para el manejo de desechos verdes y orgánicos, se considera un método de bajo costo, dado que la inversión inicial es relativamente baja, donde los indicadores financieros de VAN y TIR determinan que es un mecanismo rentable y viable para su implementación en las zonas agrícolas del país.

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. Martínez, Y. (2018). *Tratamiento de lixiviados en la etapa de compostaje mediante el proceso de coagulación con mucilago de Opuntia Ficus Indica* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú Perú.
11. 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.
12. Morocho, M. (2019). *Microorganismos eficientes, Propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas*. Centro de investigaciones agropecuarias. Buenos Aires, Argentina: LUZ.
13. Much, S. (2005). *Química, microbiología sanitaria y teoría biológica*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Eris

14. Oliva, P. (2010). *Ensayo sobre la elaboración de compostaje de pollo de engorde*. Universidad Rafael Landívar (Tesis de licenciatura). Guatemala.
15. 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.
16. 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.
17. Piedrabuena, R. (2009). *Los Microorganismos eficientes*. Bogotá, Colombia: AIA.
18. Solares, H. (2008). *Elaboración de compost a partir de residuos orgánicos*. Buenos Aires, Argentina: ENOV.
19. Tchobanglous, G. (1997). *Gestión Integral de residuos sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
20. Torres, L. (2008). *Manejo y Tratamiento Adecuado de Desechos Sólidos de Santa Rosa de Copan* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras.

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.
22. Sanches, M. (2010). *Emisiones de gases de efecto invernadero durante el compostaje* (Tesis de Maestría). Universidad autónoma de Barcelona, España.

APENDICES

Apendice 1. Reproducción de Microorganismos eficientes



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 2. **Manejo de compost**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)

Colección particular, Guatemala.

Apendice 3. **Aplicación de abonos obtenidos del proceso de compostaje**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)

Colección particular, Guatemala.

Apendice 4. **Residuos vegetales del área**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 5. Entrevista

Nombre			
Edad			
Cargo			
Cuanto tiempo tiene de estar laborando en la finca	menor a 1 año	de 2 a 5 años	más de años
Qué cargo posee dentro de la finca	Jefe	Supervisor	Caporal
Cuantas personas tiene bajo su cargo	de 1 a 5	de 6 a 15	mayor de 15
Tiene conocimiento de donde terminan los residuos que se generan en su área de trabajo	Si	No	Otro
Sabe que problema genera el mal manejo de los residuos	da mal aspecto	dificulta la movilidad	genera contaminación

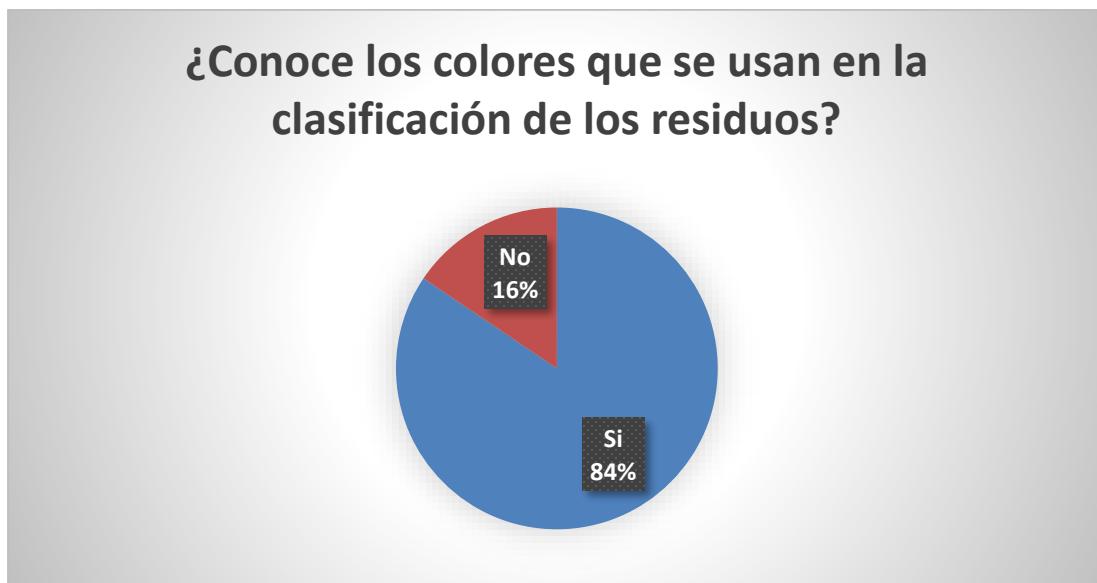
Fuente: elaboración propia.

Apendice 6. Entrevista

Nombre			
Edad			
Cargo			
¿Qué manejo les dan a los residuos en la finca?	Separar	Convertir	otro
¿Conoce los colores que se utilizar en la clasificación de residuos?	Si	No	
¿Tiene conocimiento de que residuos se pueden clasificar?	Si	No	
¿En su área de trabajo, en donde arroja las botellas, bolsas de comidas, vidrios y cartón	En espacios específicos	En cualquier espacio dentro del área de trabajo	otro
¿Tiene conocimiento si en la finca realizan algún tipo de composteras?	Si	No	otro
¿Ha escuchado de los Microorganismos eficientes ?	Si	No	otro
¿Cree que los fertilizantes orgánicos son excelentes fuentes de nutrientes?	Si	No	otro

Fuente: elaboración propia.

Apendice 7. **Pregunta encuesta colores en la clasificación**



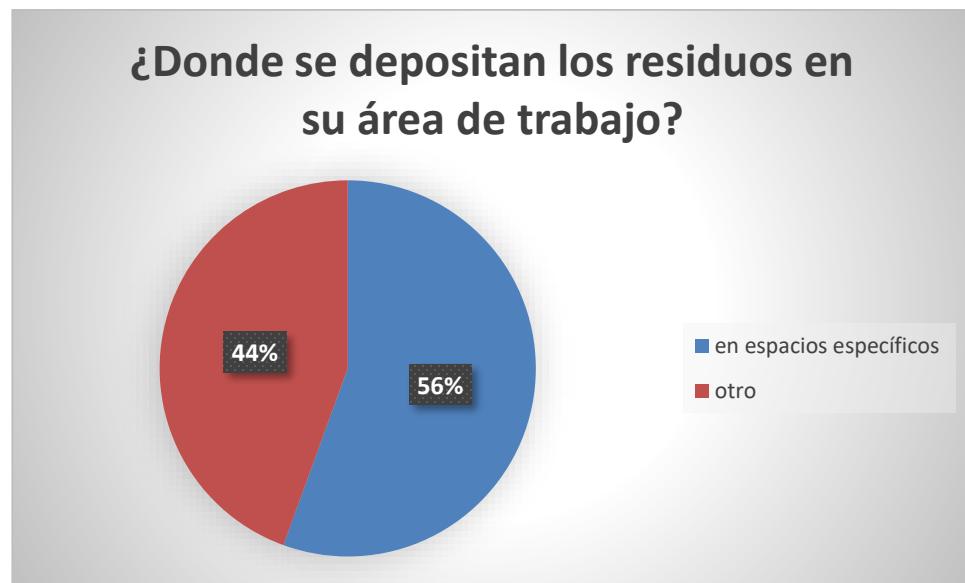
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 8. **Pregunta encuesta tiene conocimiento de los residuos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 9. **Pregunta encuesta donde se depositan los residuos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 10. **Pregunta encuesta tiene conocimiento de composteras**



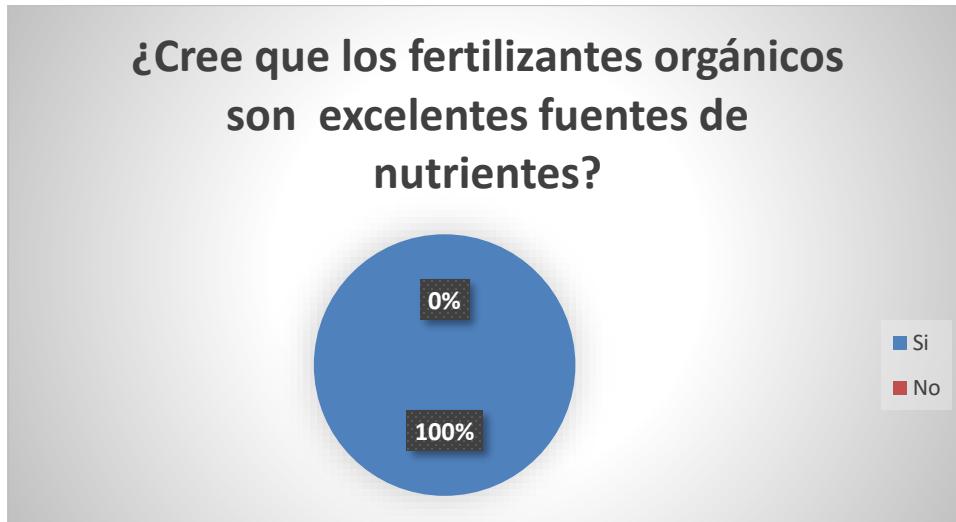
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 11. **Pregunta encuesta ha escuchado sobre microorganismos eficientes**



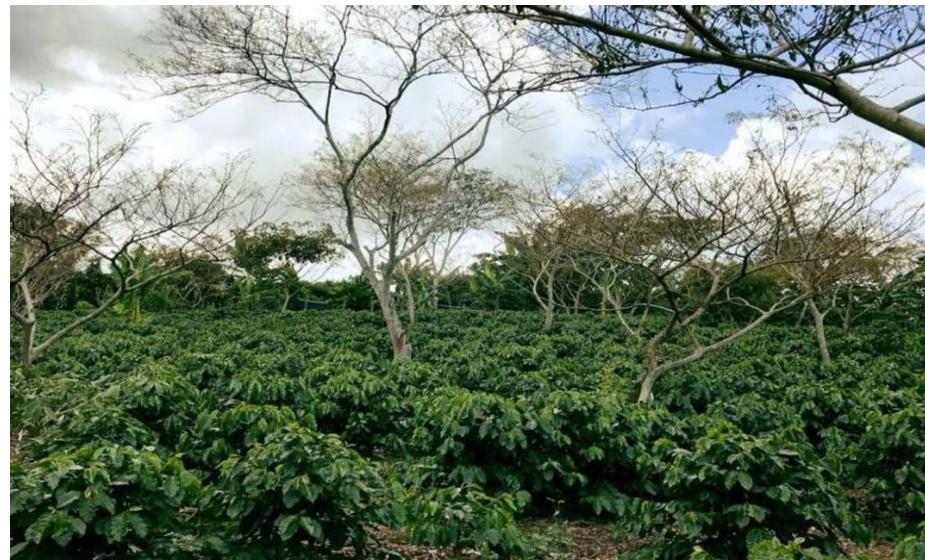
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 12. **Pregunta encuesta percepción sobre fertilizantes orgánicos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

Apendice 13. ÁREA DE CULTIVO



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 14. RESIDUOS DE PODAS Y RECEPAS



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 15. Personal de campo



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 16. Manejo de cultivo



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 17. **Residuos vegetales**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 18. **Limpieza de áreas**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 19. **Materia prima**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.

Apendice 20. **Materia orgánica de equinos**



Fuente: [Fotografía de Irvin de León]. (Acatenango, Chimaltenango. 2021)
Colección particular, Guatemala.