



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO
UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA**

José Guillermo Gregorio Hernández

Asesorado por el Msc. Ing. Eldin Osvaldo Castellanos Manzo

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO
UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ GUILLERMO GREGORIO HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. ELDIN OSVALDO CASTELLANOS MANZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. 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 GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACIFICO, VILLA NUEVA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de octubre de 2021.

José Guillermo Gregorio Hernández



EEPFI-PP-0105-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director

Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACIFICO, VILLA NUEVA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Servicios públicos municipales - Propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales**, presentado por el estudiante **Jose Guillermo Gregorio Hernandez** carné número **200611283**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para El Desarrollo Municipal.

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

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Eldin Osvaldo Castellanos Manzo
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría

Msc Eldin O. Castellanos M.
Ingeniero Civil
Colegiado 4.171

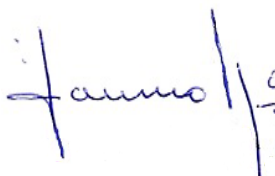
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP.EIC.0105.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACIFICO, VILLA NUEVA**, presentado por el estudiante universitario **Jose Guillermo Gregorio Hernandez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, enero de 2022

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

LNG.DECANATO.OI.184.2023

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 Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA**, presentado por: **José Guillermo Gregorio Hernández**, 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
Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi creador y la fuerza espiritual que estuvo conmigo en cada momento dándome sabiduría y paciencia para poder desarrollar cualquier actividad de mi vida y que ha permitido que todo suceda.

Mis padres

Hugo Gregorio Vásquez (Q.E.P.D.) y Elizabeth de Jesús Hernández Rodríguez porque gracias a ellos soy la persona que soy.

Gracias por los valores que me inculcaron para que fuera una persona de bien. Aunque ya no estés físicamente sé que desde el cielo estas orgulloso que lo he logrado papá.

Mi esposa

Cindy Paola Miranda por brindarme su apoyo incondicional, por llegar a mi vida y empezar juntos a construir un mejor futuro para nuestros hijos.

Mis hijos

Dayana Sofía y Hugo Emilio ustedes son mi mayor fortaleza para seguir adelante y poder culminar esta meta tan anhelada, los AMO.

Mi amigo

Gerardo Figueroa por ser mi gran apoyo y estar conmigo cuando más lo he necesitado y por esos consejos que han sido fundamentales en mi vida

Mi asesor

Ing. Eldin Castellanos por la asesoría, orientación y conocimiento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Gracias a la Universidad, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todos los catedráticos que fueron partícipes en este proceso, ustedes son los responsables de realizar mi sueño, gracias por ser mi alma mater, gracias por formar los mejores profesionales.

Facultad de Ingeniería

Gracias por ser la guía que necesitaba en mi vida, gracias por todo lo que aprendí y sobre todo por ser la encargada de que mi futuro sea mejor.

Familia y amigos en general

Gracias a mis padres que lucharon para que siempre mi futuro fuera mejor. Sé que mi madre siempre fue ese apoyo que mi padre necesito, que ver logrado mi sueño fue el sueño de ustedes, aunque Dios decidió que me vieras desde el cielo yo seguí luchando por cumplirlo y espero que te sientas orgulloso que lo logre. Sé que mi mamá me transmitirá el doble de felicidad. Gracias a mi esposa que siempre ha sido incondicional, por darme a mis dos hijos que al verlos me transmitían esa fuerza que necesitaba para lograr llegar hasta aquí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13
5. MARCO TEÓRICO.....	15
5.1. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-	15
5.1.1. Aspectos generales.....	15
5.1.2. Funcionamiento	16
5.1.3. Divisiones.....	16
5.1.4. Vertedero Controlado en el Km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva	17
5.1.4.1. Ubicación geográfica.....	17
5.1.4.2. Generalidades.....	18

5.1.4.3.	Funcionamiento	19
5.2.	Tipo de residuos sólidos	19
5.2.1.	Desecho	19
5.2.2.	Residuo	19
5.3.	Clasificación de los residuos solidos	20
5.3.1.	Por su clasificación.....	20
5.3.1.1.	Residuos orgánicos.....	20
5.3.1.2.	Residuos inorgánicos.....	21
5.3.2.	Por su capacidad de ser reutilizados	21
5.3.2.1.	Reciclables	21
5.3.2.2.	No reciclables.....	21
5.3.3.	Origen de los residuos sólidos	21
5.3.3.1.	Domiciliares	22
5.3.3.2.	Comerciales.....	22
5.3.3.3.	Industriales	22
5.3.3.4.	Agrícolas	22
5.3.3.5.	Institucionales.....	22
5.4.	Características de los residuos sólidos urbanos.....	23
5.4.1.	Humedad.....	23
5.4.2.	Densidad.....	24
5.4.3.	Relación carbono/nitrógeno	24
5.5.	Tipos de manejo de los residuos sólidos urbanos	24
5.5.1.	Reciclaje.....	24
5.5.2.	Compostaje.....	25
5.5.3.	Tipos de compostaje	25
5.5.3.1.	Compostaje aerobio	25
5.5.3.2.	Lombricomposta	25
5.6.	Diseño de planta de compostaje	30
5.6.1.	Parámetros	31

5.6.2.	Características	32
5.7.	Marco legal del manejo de los residuos sólidos en Guatemala ..	32
5.7.1.	Constitución Política de la República de Guatemala ..	32
5.7.2.	Código Municipal Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala	33
5.7.3.	Código de salud Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala	34
5.7.4.	Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente Decreto No. 68-86	36
5.7.5.	Política para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Acuerdo Gubernativo número 111-2005.....	37
5.7.6.	Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes Acuerdo Gubernativo número 164-2021	38
6.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
7.	METODOLOGÍA	45
7.1.	Tipo de estudio	45
7.2.	Fases del estudio	45
7.2.1.	Fase 1: Exploración bibliográfica	45
7.2.2.	Fase 2: Elaboración del estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero	46
7.2.2.1.	Cálculo de la muestra	46
7.2.2.2.	Selección de la muestra	47
7.2.3.	Fase 3: Caracterización de los residuos sólidos	51
7.2.3.1.	Definición del método de cuarteo	51

7.2.3.2.	Determinación de peso de desechos sólidos	53
7.2.3.3.	Densidad de los residuos sólidos	54
7.2.4.	Fase 4: Procedimiento para el manejo de una planta de compostaje	55
7.2.4.1.	Resultado promedio de los residuos orgánico.....	55
7.2.4.2.	Porcentaje de la humedad de la materia orgánica	56
7.2.4.3.	Procedimiento para realizar el compostaje	56
7.2.4.4.	Condiciones climáticas para el desarrollo de la lombriz.....	59
7.2.5.	Fase 5: Diseño de una planta de compostaje	60
7.2.5.1.	Ecuación para el área de la planta de compostaje	60
7.2.6.	Fase 6: Normativa para la recepción de residuos sólidos	63
7.2.6.1.	Norma según Acuerdo Gubernativo Número 164-2021	63
8.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	65
9.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
9.1.	Recursos humanos	67
9.2.	Recursos tecnológicos	67
9.3.	Recursos físicos	67
9.3.1.	Materiales de oficina	67
9.3.2.	Material didáctico de consulta	68

9.3.3.	Material para realizar caracterización	68
REFERENCIAS		71
APÉNDICE		75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vertedero controlado	18
2.	Método de cuarteo para extraer la muestra	52
3.	Diseño y distribución de una planta de compostaje	62

TABLAS

I.	Ingreso de vehículos al vertedero controlado	48
II.	Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado	48
III.	Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado	49
IV.	Ingreso de camiones por municipio al vertedero controlado	50
V.	Ingreso de kilogramos de residuos sólidos al vertedero controlado	50
VI.	Composición de los residuos sólidos porcentaje de los residuos sólidos.....	53
VII.	Densidad de los residuos sólidos.....	54
VIII.	Promedio de resultados de residuos sólidos	55
IX.	Promedio de resultados de residuos sólidos orgánicos	56
X.	Porcentaje de materiales	57
XI.	Metros cuadrados del área de compostaje	61
XII.	Recursos necesarios para la investigación	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
A	Área
b	Base
cm	Centímetros
$Z_{1-\alpha/2}^2$	Coeficiente de confianza
“”	Comillas
σ	Desviación estándar
E	Error permisible
°C	Grados Celsius
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
$\geq$	Mayor o igual que
$\leq$	Menor o igual que
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
N	Norte
N	Número total
W	Oeste
()	Paréntesis
%	Porcentaje
Ph	Potencial de hidrógeno
PPC	Producción per cápita
n	Tamaño de la muestra
Tn	Toneladas

GLOSARIO

AMSA	Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán.
Aerobio	Son microorganismos que no pueden vivir si no están en presencia de oxígeno del aire.
Ambiente	Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en el espacio y tiempos determinados.
Basura	Desecho de cualquier naturaleza (desperdicios domésticos, cenizas, papel, cenizas, papel, cartón, vidrio, latas, envases desechables, restos de flores, y plantas entre otros.).
Biodegradable	Susceptibles para pudrirse o descomponerse como materia orgánica. En caso de la basura, la que tiene esta caracterización es la de origen biológico u orgánico, la que en algún momento ha tenido vida.
Caracterización	Método que permite conocer la composición de los residuos sólidos. Permitiendo diseñar una mejor gestión integral, logrando a su vez, una optimización de los recursos disponibles para tales efectos.

Compostaje	Es un método de disposición de residuos orgánico-biodegradables para la producción de un abono.
Compost	Es el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo.
Contaminación	La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes y de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.
Desecho	Es todo objeto solido o semisólido, con excepción de excretas de origen humano, excluyendo los peligrosos, que se rechazan o ya no tienen utilidad.
Desecho sólido	Todo aquel cuerpo firme no útil después de una actividad o proceso humano. También llamado residuo sólido.
Desperdicio	Es todo residuo sólido o semisólido de origen animal o vegetal, sujeto a la putrefacción, provenientes de la manipulación, preparación y consumo de alimentos.
Humedad	Cantidad de agua que la basura contiene en el momento de ser extraída.
Humus	Materia orgánica biodegradable presente en el suelo; procede de la descomposición progresiva de los restos vegetales y animales que se depositan en el

suelo, y que van siendo mineralizados por la acción de hongos y bacterias.

Impacto ambiental Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Inorgánico Son aquellos que están formados por distintos elementos, y su componente principal no siempre es el carbono, siendo el agua más abundante.

Lixiviado Es un líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos.

Materia orgánica Está formada por los componentes de los animales o vegetales; compuestos nitrogenados; ácidos orgánico-biodegradables. Polímeros y compuestos fenólicos y elementos minerales y consiste en un material dinámico, que puede llegar a estabilizarse.

Planta de compostaje Es el sitio en donde se manejan por medios mecánicos, manuales o en celdas los residuos orgánico-biodegradables para convertirlo en compost.

Reciclar Es el proceso mediante el cual los residuos son transformados en materia prima para la fabricación de nuevos productos.

Residuos

Son los materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no es reutilizable.

Reutilizable

Es todo desecho que pierde su vida útil después de su uso.

RESUMEN

La falta de una planta de compostaje en el vertedero controlado ubicado en el km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva ha provocado diversos problemas por el mal manejo de los residuos sólidos que ingresan diariamente. La falta de la planta de compostaje ha provocado la disminución de la vida útil del vertedero, proliferación de vectores, acumulación de residuos sin tratamiento provocando una amenaza ambiental, aparte de ello no se tiene una normativa para la recepción de los residuos en el ingreso del vertedero. Se proponen los lineamientos óptimos para la implementación de una planta de compostaje, utilizando el material orgánico y aprovechando el potencial económico, social y ambiental.

Será de gran importancia la investigación, ya que se elaborará el estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado siendo una herramienta indispensable para poder definir los procesos óptimos para el manejo de la planta de compostaje ya que habrá parámetros y características. Luego se tendrá el diseño de la planta de compostaje y para finalizar se realizará un normativo que regule la recepción de los residuos sólidos tomando en cuenta que el éxito de la clasificación se logra haciéndola desde la fuente de origen de los residuos.

La investigación es de tipo cualitativa, ya que se obtendrá información basada en observaciones que indicará las cualidades o hechos, también por el tipo de investigación será de tipo descriptiva, pues se describe la realidad de un suceso, dando un panorama general del problema. De esta manera se permite analizar los datos para llegar a los lineamientos donde se pruebe la solución al

problema. Por último, por el grado de manipulación de las variables será de tipo no experimental ya que básicamente solo se realizará observaciones de las variables a estudiar. El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

Básicamente es el diseño de una planta de compostaje utilizando el método de lombricompostaje, utilizando el material orgánico o biodegradable que ingresa al vertedero controlado se tendrá al final del proceso de compostaje el humus de la lombriz roja californiana. Teniendo un producto final agradable para el medio ambiente y con grandes aportes económicos para la institución y para el municipio de Villa Nueva.

OBJETIVOS

General

Implementación de una planta de compostaje para los desechos sólidos orgánicos en el vertedero controlado del Km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala.

Específicos

1. Realizar una caracterización de los desechos sólidos que ingresan al vertedero.
2. Definir los procesos óptimos para el manejo de una planta de compostaje.
3. Definir el diseño de la planta de compostaje a implementar.
4. Establecer una normativa que regule la recepción de los desechos sólidos.

INTRODUCCIÓN

La falta de una planta de compostaje para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en el vertedero controlado ubicado en el km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva, ha provocado contaminación ambiental, enfermedades y reducción de la vida útil del vertedero.

Se definirán los lineamientos para la implementación de una planta de compostaje para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos y así poder aprovechar el potencial que se tiene con la elaboración de abono orgánico, evitar enfermedades, mitigar la contaminación ambiental y prolongar la vida útil del vertedero.

Se elaborará el estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, esto dará los parámetros de las cantidades y cualidades de los residuos y así poder definir los procesos y el diseño de la planta de compostaje. También se realizará un normativo que regule la recepción de los residuos en el ingreso del vertedero.

El estudio de caracterización se basará en la guía para elaborar estudios de residuos sólidos del Ministerio de Ambiente. En este se definirá el tamaño de muestra, el peso de la muestra y la composición física de los residuos sólidos. Con estos resultados se podrá definir el proceso para el manejo de la planta de compostaje, así como el diseño utilizando la tecnología adecuada, se hará la planta de compostaje utilizando el método de lombricomposta dada las características de los residuos. La investigación es factible realizarla, ya que los

datos que se deben recabar son de fácil acceso y los estudios que se deben realizar son de bajo costo.

En el capítulo uno se realizará la revisión de la bibliografía para el marco teórico donde se definirá los tipos de residuos, su clasificación y su origen para darle paso a la caracterización y el tipo de manejo de residuos sólidos orgánicos por medio de una planta de compostaje. En este momento se definirá el diseño y los parámetros a tomar en cuenta y terminar con el marco legal. En el capítulo dos se describirá la metodología de la caracterización de los residuos sólidos, el procedimiento para el manejo de una planta de compostaje, el diseño de una planta de compostaje y una normativa para la recepción de los residuos en el ingreso del vertedero controlado.

En el capítulo tres, se presentarán y se analizarán los resultados obtenidos en el proceso de investigación, dando solución a cada uno de los objetivos planteados, siendo la caracterización, el proceso óptimo de manejo de una planta, el diseño de una planta de compostaje, así como la normativa para la regulación de la manera deben ser clasificados los residuos desde su origen.

Para finalizar se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Castañeda (2019) en su tesis de Maestría en Ingeniería para el *Desarrollo Municipal, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Plan Municipal de Manejo de Desechos Sólidos en el Casco Urbano del Municipio de Puerto Barrios, Departamento de Izabal.*

Pudo constatar que tiene como problema base una mala administración en la operación de los residuos, esto debido a que el número de habitantes en el municipio ha ido en ascenso.

La investigación es no experimental, esto debido a que la información no se comprobara una hipótesis, los datos tendrán un carácter cuantitativo y cualitativo. Para poder recabar los datos se utilizaron diversas técnicas como por ejemplo encuestas parte fundamental para poder realizar la caracterización de los desechos.

La solución a corto plazo propone la sociabilización de las actividades entre la población para el reciclaje de los desechos, así como el plan que deben ejecutar en sus viviendas para desarrollar dicha actividad.

Castañeda (2019) en su trabajo propone poner en marcha una planta de compostaje para solucionar el problema del exceso de residuos. Todo el plan está diseñado para que la municipalidad realice de mejor manera la recolección de los residuos.

Flores (2018) en sus tesis de Maestría en Ingeniería para el *Desarrollo Municipal, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Modelo de Gestión para la Erradicación de Basureros Clandestinos, Estudio de Dos Casos en el Municipio de Villa Nueva.*

En dicho trabajo resalta, la falta de ornato en el municipio de Villa Nueva por la existencia de basureros clandestinos que son fuente de contaminación es uno de los principales problemas. Identificó diversas causas que originan este problema, las más comunes son las siguientes:

La municipalidad a pesar de que tiene un mandato que se lo da la Constitución y el código municipal carece de una planificación donde administre los restantes sólidos. También las personas no están acostumbradas a pagar por el servicio de recolección de sus residuos sólidos, esto hace que tiren su basura en cualquier lugar.

Por otro lado, la investigación es descriptiva, porque su plan de trabajo de tipo cualitativo y cuantitativo, no se demostrará nada por los estudios así que será una investigación no experimental. Dicho trabajo plantea un diseño de operación para la eliminación de vertederos clandestinos, tomando como en cuenta los casos relevantes en el municipio. (Flores, 2018)

Ramos (2018) en su trabajo de graduación de Maestría en ingeniería para el *Desarrollo Municipal de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Gestión de los Desechos Sólidos en la Cabecera Municipal de Tejutla, Departamento de San Marcos.*

El autor identifica como problema principal la mala gestión de los residuos sólidos, esto deriva problemas en la población en el tema de ornato, haciendo

que la población tenga una mala calidad de vida. Exponiendo que, la municipalidad carece de un proyecto en el que se involucre la correcta gestión de los residuos sólidos esto para poder mitigar el problema que tienen en la actualidad. (Ramos, 2018)

El diseño metodológico empleado para la realización del trabajo fue no experimental, porque las variables no tuvieron manipulación, ya que los hechos existían al momento de iniciar la investigación. La investigación en mención tuvo un enfoque cuantitativo ya que se recabo información numérica, se define como una investigación transeccional descriptiva, ya que se midió la información de forma independiente sobre los conceptos o variables definidas.

En el trabajo se define la entidad que tiene el proyecto de administración para los residuos sólidos haciendo los estudios necesarios para la caracterización y clasificación desde el origen, con esto se lograra mejorar la calidad de vida de los habitantes.

El autor del trabajo, propone dividir el material orgánico y lo inorgánico resultado de la caracterización, utilizando esta herramienta se propone una planta de compostaje y una planta de reciclaje respectivamente. (Ramos, 2018)

Girón (2017) en su tesis de Maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, *Elaboración de un plan de manejo integral de residuos sólidos para el vertedero controlado, ubicado en el km. 22, Carretera al Pacifico, Villa Nueva.*

La investigación presenta la ineficiente operación del vertedero que provocó que llegara al final de su vida útil, poniendo en riesgo la población y medio ambiente a un impacto de salud, económico y ambiental.

La investigación se cataloga como tipo descriptivo ya que no presenta ninguna hipótesis, el trabajo fue analizado en ocasiones anteriores por lo que no se espera una acción o un dato.

Para la caracterización se realizaron los pasos siguientes, la muestra fue aleatoria según se pudo constatar se escogieron cuatro camiones al azar con desechos sólidos provenientes de distintos puntos, esto en un lapso de siete días según procedimientos estipulados en las guías para la elaboración de caracterización de desechos sólidos.

Girón (2017) expone como conclusión que, se manifestó según el estudio de caracterización de los desechos sólidos, un alto porcentaje de material orgánico ideal para compostaje; en un segundo lugar se tienen los materiales que se pueden reusar. El porcentaje más bajo dentro de la caracterización se tiene de los materiales que no se pueden reusar deben ser enterrados, con esto se afirma que con un buen manejo y la utilización del potencial de material orgánico se puede solucionar el problema utilizando tecnologías apropiadas.

López (2010) en su tesis de Maestría en Ingeniería en Desarrollo Municipal de la Universidad de San Carlos de Guatemala, *Gestión de Los Residuos Sólidos en La Cabecera Municipal de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez*.

En esta investigación se identificó que, la ausencia de un plan para el tratamiento y manejo de los residuos por parte de la municipalidad ha provocado la proliferación de basureros en calles dañando el medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes.

La investigación es de carácter descriptivo ya que los datos ya están disponibles y serán recopilados por medio de técnicas donde se pueda examinar la gestión de la municipalidad para la solución de dicho problema. El autor, hace énfasis en la elaboración de un plan de manejo sostenible de desechos sólidos donde la población sea la encargada de la clasificación desde casa para mejorar la eficiencia del trabajo.

López (2010) concluye que, las autoridades municipales son las encargadas de velar por el ornato y limpieza, así como el proyecto para la gestión de los desechos y su posterior clasificación y almacenamiento final.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de una planta de compostaje en el vertedero controlado del Km. 22 de Villa Nueva provoca un problema en el manejo de este, dado que no se están tratando los desechos que ingresan. En consecuencia, se afecta el ambiente, la salud, entre otros; también se desaprovechan los recursos de este que pueden generar ingresos económicos a los habitantes que viven en la periferia del vertedero. Por lo tanto, la implementación de una planta de compostaje sería una solución.

Aparte este problema está provocando la reducción de la vida útil del vertedero, esto desde el punto de vista que no se cuenta con otro terreno, hace que el problema se vuelva más interesante para crear las condiciones e implementar los procesos en función de la solución de este.

Como primera causa está la poca educación para clasificar los desechos desde los hogares. Esta fase es primordial, ya que con esto se logra mejorar la disposición de los desechos sólidos en el vertedero, clasificando la basura el trabajo es más eficiente y ordenado; en consecuencia, la falta de una caracterización de los desechos sólidos provoca que se desconozca el tipo, densidad, origen, entre otros. sin tener esta herramienta limita el tratamiento de los residuos se vuelva muy complicado.

El desconocimiento del beneficio económico que se tiene con la puesta en marcha de una planta de compostaje provoca una causa. esto debido a que no existe un diseño ya definido donde se pueda realizar un análisis de costos

implementando una y comparando los costos que tienen actualmente sin una planta de compostaje.

Por último, se encuentra la falta de una regulación o normativa en la recepción de los residuos.

La consecuencia de no aprovechar el reciclaje de los desechos se traduce en los bajos ingresos que tienen, haciendo que el manejo del vertedero no sea auto sostenible, restringiendo proyectos en beneficio de la operatividad de este.

La acumulación de los desechos que se puede observar desde la carretera es una consecuencia directa que no exista una planta de compostaje, esto provoca problemas en el ambiente como incendios, proliferación de vectores y malos olores en época de invierno.

La consecuencia del mal manejo del vertedero se traduce en un ineficiente llenado del mismo haciendo que la vida útil se reduzca, siendo un problema ya que no se cuenta con un espacio para un relleno sanitario nuevo, esto puede provocar proliferación de basureros clandestinos y un aumento en la contaminación del lago de Amatitlán.

Por tal razón, todo lo anterior conduce a las siguientes preguntas de investigación.

- Pregunta principal

¿Cuál debe ser la mejor alternativa para el manejo de los desechos sólidos orgánicos en el vertedero controlado del km. 22 carretera al Pacifico, Villa Nueva municipio de Guatemala?

- Preguntas secundarias

¿Cuál son las características de los desechos sólidos que ingresan al vertedero?

¿Cuáles son los procesos óptimos para el manejo de una planta de compostaje?

¿Cuál debe ser el diseño de una planta de compostaje a implementar?

¿Qué lineamientos se deben seguir para la recepción de desechos sólidos?

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de Servicios e Infraestructura Municipales, en la sublínea Alternativas y propuestas en el mejoramiento de los servicios de la Maestría en Ingeniería para el Desarrollo Municipal.

Los principales aportes de la investigación será la elaboración de la caracterización de los desechos sólidos que ingresan al vertedero, ya que actualmente no existe un estudio como tal, luego se definirá un manual donde se estipulen los procesos óptimos para la separación de los desechos orgánicos que su destino final será la planta de compostaje. Estos son los lineamientos que dará el diseño correcto para la implementación de la planta de compostaje, como parte de la gestión se establecerá una normativa que regule la recepción de los desechos sólidos que ingresaran al vertedero.

Como resultado se tendrá el estudio de caracterización de los desechos sólidos, con los parámetros que ayudarán para la realización del manual de procesos a implementarse dentro del vertedero. Con la clasificación se logrará identificar los materiales que pueden ser reutilizados y los materiales que no pueden ser reutilizados, los materiales que ya no pueden recibir ningún tratamiento y su final es depositarlo en una celda del relleno sanitario. También se tendrá el diseño de la planta de compostaje para los materiales orgánicos debidamente identificados por medio del estudio de la caracterización y la clasificación. Por último, se establecerá la normativa para la recepción de los desechos sólidos, parte fundamental para el éxito en la implementación de la planta de compostaje.

Los habitantes del municipio de Villa Nueva serán beneficiados con la implementación de la planta de compostaje. Primero porque será una fuente de generación de empleos de generación de empleos, ya que son varios procesos y se necesita personal para poder llevarlos a cabo. Segundo, por el mantenimiento y cuidado del ambiente y los ecosistemas, ya que actualmente el vertedero es susceptible a incendios, derrumbes y generación de malos olores en temporada de lluvia; por lo tanto, si se da un tratamiento técnico a los desechos se mejoraría grandemente ese problema. Los municipios aledaños que depositan su basura en el vertedero serán beneficiados, con el buen manejo de los desechos y con esto, se garantiza la recepción de sus desechos que prolongaría la vida útil del vertedero y lo transformaría en un espacio controlado.

Con el desarrollo de la investigación, el diseño y la implementación de una planta de compostaje, se logra mitigar en gran medida los problemas por los que atraviesa actualmente el vertedero, desde la caracterización hasta el diseño, se logra un avance significativo en el tema del manejo de desechos sólidos. De tal manera que este será un precedente donde se demuestre con resultados, una manera como deben ser los procesos, para mantener un equilibrio ambiental, social y económico, ya que este espacio fue creado para disminuir, mitigar, controlar el manejo de los desechos sólidos, sin embargo, situaciones como los incendios, han dañado la salud de los vecinos residentes en los lugares aledaños al vertedero.

4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En la presente investigación se desarrollarán los lineamientos necesarios para la implementación de una planta de compostaje, utilizando la tecnología de clasificación, manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos que ingresan al vertedero controlado en el km. 22 carretera al Pacifico, Villa Nueva.

No se cuenta con información de los residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado, en consecuencia, esto hace necesario realizar el estudio de caracterización para tener un panorama de las cantidades y cualidades de los residuos sólidos orgánicos aprovechables y definir la logística para el tratamiento.

La falta de una normativa en la recepción de los residuos sólidos provoca un mal manejo, poca clasificación y acumulación de residuos sin tratamiento por lo que se propone crear una normativa que regule la recepción de los residuos sólidos en el vertedero controlado desde la fuente de origen.

Al carecer de un tratamiento los residuos sólidos, provoca la disminución de la vida útil del vertedero controlado, enfermedades y contaminación ambiental, con la implementación de una planta de compostaje se aprovecharán los residuos sólidos orgánicos con la producción de abono orgánico a base de humus de lombriz.

Al contar con los lineamientos para la implementación de la planta de compostaje se aprovecharán los residuos orgánicos generando ingresos, se alargará la vida útil del vertedero y se mitigará la contaminación ambiental.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-

“El dieciocho septiembre de mil novecientos noventa y seis, el Congreso de la República.” (AMSA, 2010, p.2)

“Por medio del decreto 64-96 emitió la ley de creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-” (AMSA, 2010, p.2)

5.1.1. Aspectos generales

“Se inicia con el nombre de Autoridad para el Rescate y Resguardo del Lago de Amatitlán -ARRLA-, se inicia el proyecto para su recuperación y conservación.” (AMSA, 2010, p.2)

“La institución fue creada por Acuerdo Gubernativo 489-85 emitido por el jefe de Estado el 12 de junio de 1985.” (AMSA, 2010, p.2)

“Inmediatamente con el decreto 64-96 se emite la ley de creación de la Autoridad del Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.” (AMSA, 2010, p.2)

“Por lo tanto, fue creada como un Organismo al más alto nivel con el fin específico de planificar, coordinar y ejecutar todas las acciones y medidas del

sector público y privado.” (AMSA, 2010, p. 2) Son inevitables para recuperar el ecosistema del Lago de Amatitlán y todas sus cuencas tributarias, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

5.1.2. Funcionamiento

“La autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, AMSA, a través de la división de Educación Ambiental y Concientización Ciudadana.” (AMSA, 2010, p. 2)

“Tiene entre sus objetivos la edición y divulgación de documentos que apoyen la educación ambiental de la población, especialmente de la ubicada en los municipios que forman parte de la Cuenca del Lago de Amatitlán.” (AMSA, 2010, p. 2)

Se pretende dar a conocer los graves problemas, que por contaminación ambiental sufre el Lago de Amatitlán y su cuenca tributaria. Se intenta involucrar a toda la población en ella cambios de conducta positivos favorables y promover en ella cambios de conducta positivos para lograr los objetivos planteados por AMSA, los cuales están enfocados hacia la conservación, recuperación y valoración de los recursos naturales.

5.1.3. Divisiones

La asociación se ha ordenado y distribuido por expertos y técnicos de distintas disciplinas; siendo las siguientes:

Según AMSA (2010) afirma las siguientes divisiones:

- División de esquema urbano y la regularización territorial.

- Distribución de sobras y procedimiento de residuos líquidos y sólidos.
- División de reingeniería industrial y agroindustrial.
- División forestal, sostenimiento y utilización de suelos.
- Distribución de enseñanza del ambiente, informar a los ciudadanos y progreso.
- División de control, disposición medioambiental y uso de lagos.
- División de derecho ambiental.
- División de relaciones interinstitucionales y reforzamiento de la administración local.
- División de realización de propósitos.
- División de valoración y supervisar.

5.1.4. Vertedero Controlado en el Km. 22 Carretera al Pacifico, Villa Nueva

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán – AMSA-

“Fue creada con la finalidad de programar, dirigir y realizar la medición de las personas de diferentes sectores, público y privado. Estas son indispensables para restauración del ecosistema del lago de Amatitlán y las áreas aledañas. El vertedero es manejado por esta institución.” (AMSA, 2010, p. 1)

5.1.4.1. Ubicación geográfica

El vertedero controlado se encuentra ubicado en el km. 22 carretera al Pacifico, Villa Nueva, siendo sus coordenadas geográficas siguientes:

- 14°31'10.1"N 90°37'16.0"W

- 14.519468, -90.621123

Figura 1. **Vertedero controlado**



Fuente: Google maps. Vertedero Controlado km. 22 carretera al pacifico. Consulta: 10 -10 2021.

5.1.4.2. Generalidades

Es apropiada la consistencia o concentración de la población, que reside a los alrededores, los residuos sólidos o desperdicios se establecen como un preocupante y lamentable de daño al medio ambiente.

“Aproximadamente un habitante genera 1.5 lb/día de residuos o desperdicios y si lo multiplica por los dos millones de habitantes alrededor del área, la utilidad de residuos es de 2.25 millones de libras diarias.” (Girón, 2017.

p. 13) La consecuencia del problema es la cantidad abundante y excesiva de los residuos y la utilización, manejo o uso de este.

5.1.4.3. Funcionamiento

“En la actualidad el trabajo de la división de los residuos sólidos es realizada por las personas que se sitúan en el vertedero, donde se tiene estimado que tardan un tiempo de 50 minutos en clasificar un camión un aproximado de 5 a 6 personas.” (Girón, 2017, p. 14)

5.2. Tipo de residuos sólidos

Estos tienen una división entre: desecho y residuo cada uno tiene una definición diferente y por lo siguiente se pueden clasificar ambos.

5.2.1. Desecho

“Los desechos son residuos que no tienen ningún tipo de uso.” (Girón, 2017, p. 15) Es el restante que debe ser desechado o eliminado.

5.2.2. Residuo

Los residuos son materiales que pierden su utilidad luego de su uso. En otras palabras, se entiende por residuo todo material que es destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza.

5.3. Clasificación de los residuos sólidos

Los residuos sólidos están divididos según por la composición que tiene. Estos son por su clasificación, por su capacidad de ser reutilizados y por el origen de los residuos sólidos, los cuales son descritos a continuación.

5.3.1. Por su clasificación

“Los residuos sólidos se dividen por su clasificación y así se identifica cual es el material que se puede reutilizar.” (Manzo, 2020, p. 10) Estos se colocan en un lugar seleccionado para su división y definir la utilidad con fines de reciclaje o factibilidad de tratamiento.

5.3.1.1. Residuos orgánicos

“Los residuos orgánicos son los que por su naturaleza logran la acción de descomposición.” (Girón, 2017, p. 21) Es todo lo que proviene de lo que alguna vez tuvo vida.

En otras palabras, son los desechos biológicos ya sea animal y vegetal, que se su descomposición ocurre de manera natural provocando así una liberación de gases como dióxido de carbono, metano, entre otros, se les puede dar tratamiento correcto y aprovecharlos como mejoradores del suelo mediante compost, humus, abono y otros.

5.3.1.2. Residuos inorgánicos

Los residuos inorgánicos son los no logran de forma natural su descomposición, su proceso para lograrlo es demasiada lenta, ya que obtienen minerales y productos sintéticos.

5.3.2. Por su capacidad de ser reutilizados

Los residuos pueden dividirse en reciclables y no reciclables. Esto se logra con la división y selección de estos. Estos pueden ser reciclables y no reciclables los cuales son descritos a continuación.

5.3.2.1. Reciclables

Son los residuos que pueden reutilizarse o ser incorporados en algún proceso productivo, para el funcionamiento como materia prima.

5.3.2.2. No reciclables

“Son los residuos que ya no se pueden reutilizar por su vida útil, y que por sus características no tienen las propiedades para poder ser reciclados.” (Girón, 2017, p. 23)

5.3.3. Origen de los residuos sólidos

El origen de los desechos tiene diferente clasificación es ya que no todos provienen del mismo lugar.

5.3.3.1. Domiciliares

Son los desechos que provienen de las actividades diarias de la población, por ejemplo: residuos de comida, verduras (Girón, 2017).

5.3.3.2. Comerciales

“Son los desechos que se generan de los comercios y servicios en determinados grupos de la población.” (Girón, 2017, p. 24) Como cartón, papel, entre otros.

5.3.3.3. Industriales

“Los desechos industriales pueden variar según el tipo de industria.” (Girón, 2017, p. 24) Ya que cada industria produce diferentes tipos de desechos, como plásticos, y restos de ceniza.

5.3.3.4. Agrícolas

“Son los tipos de desechos que provienen de las actividades agrícolas.” (Girón, 2017, p. 24) Estos pueden ser desechos de residuos de cultivos utilizados para materias prima.

5.3.3.5. Institucionales

“Los residuos institucionales son los que incluyen a centros educativos, cárceles, hospitales, fabricación y residuos sanitarios.” (Manzo, 2020, p. 19) Regularmente los residuos hospitalarios son separados desde el inicio.

5.4. Características de los residuos sólidos urbanos

“Particularmente de los residuos se dividen y las propiedades de cada uno son diferentes, se tiene en cuenta que el desarrollo y proyecto de los residuos y su tratamiento equivale a la división.” (Manzo, 2020, p. 19)

“Las propiedades físicas no se atribuyen a un cambio de fase, no se puede pasar de solido a líquido.” (Girón, 2017, p. 25) Sin embargo, las propiedades químicas si pueden tener cambios en su fase de solido a liquido o de solido a gas.

Las propiedades biológicas que forman parte de los materiales orgánicos son de gran utilidad para reducir volumen, la producción de compost y para la producción de gas metano.

5.4.1. Humedad

“La humedad se mantiene en los residuos sólidos y esto debido a la apariencia de agua en los vertederos.” (Manzo, 2020, p. 19)

“Debido a la lluvia debido que la presión de las capas superiores, cuando alcanza la saturación la presión del agua, baja y libera la aceleración de las reacciones químicas.” (Manzo, 2020, p. 20)

El contenido de humedad en los vertederos de residuos sólidos es diferente, según los factores que se relacionan entres sí, como la composición del inicio de los residuos, condiciones climáticas y la forma de construcción del vertedero.

5.4.2. Densidad

“La densidad de los residuos tiene un parámetro de las posibilidades de tratamiento, el peso de cada sustancia que existe en los residuos en específico en los sólidos urbanos.” (Girón, 2017, p. 24) Se logra diferenciar para poder separar y clasificar los elementos según sus dimensiones.

5.4.3. Relación carbono/nitrógeno

“La materia orgánica está compuesta por carbono, hidrogeno y otros elementos como nitrógeno y oxígeno.” (Girón, 2017, p. 24) Esto varía por la proporción de carbono y nitrógeno en los residuos. El nivel óptimo para trabajar el compostaje esta entre 25 y 30 con valores altos a esta cifra. El compost que se obtiene no es óptimo para el desarrollo de los cultivos si es menor a los datos anteriores.

5.5. Tipos de manejo de los residuos sólidos urbanos

Existen diferentes tipos de manejo de los residuos sólidos, todos tienen diferente una manera distinta de ser procesados.

5.5.1. Reciclaje

“Se puede describir que el reciclaje es la acción de reutilizar materiales que ya fueron utilizados y desechados.” (Girón, 2017, p. 25) Estos son óptimos para poder elaborar nuevos productos.

5.5.2. Compostaje

“El desarrollo, transformación o descomposición de la sustancia orgánica de los residuos que se dividen en origen animal y vegetal.” (Girón, 2017, p. 25) Para lograr un abono natural, esto adquiere la importancia de los residuos recolectados diariamente, principalmente provenientes de domicilios.

5.5.3. Tipos de compostaje

Existen dos tipos de compostaje el aerobio y lombricomposta, se conoce que son los más utilizados, los cuales son descritos en los siguientes párrafos.

5.5.3.1. Compostaje aerobio

“El compostaje es un proceso biológico aerobio con presencia de oxígeno que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperaturas controladas.” (MITECO. s.f. p.13) Es decir que, la transformación de los residuos orgánico-degradables en un componente estable y compuesto llamado compost.

5.5.3.2. Lombricomposta

“Lombricomposta es llamado también como Vermicompost, es un proceso de compostar los residuos por medio de lombrices que luego de terminar su proceso queda un fertilizante orgánico.” (ACCS., 2003, p.2)

El proceso comienza cuando la lombriz se alimenta de cualquier sustrato o desecho orgánico biodegradable. Este abono no solo aporta nutrientes a las plantas, sino que también mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo.

- Tipo de lombrices

“Existen más de ocho mil especies de lombrices, aunque hasta el momento 2,500 han sido organizadas y un reducido número de ellas son domésticas.” (García, 2015, p. 5) Las lombrices interesantes para los agricultores son las lombrices que generan humus y la lombriz trabajadora de suelos.

- Epigeas: estas lombrices se alimentan de restos de plantas que están sobre la superficie del suelo y dentro de capas de restos vegetales, estas forman galerías o madrigueras y son de tamaño pequeño.
- Endógenas: estas lombrices son comedoras de suelo y forman amplios sistemas de galerías horizontales y hay pequeñas y grandes.
- Anecicas: estas lombrices de restos de plantas y suelo viven de formas verticales y son de gran tamaño.

- Lombricultura o vermicultura

“La lombricultura o vermicultura son crías de lombrices seleccionadas y domesticadas alimentándolas con restos orgánicos, con el fin de tener materia orgánica que cumple con funciones para el suelo.” (García, 2015, p. 6)

En otras palabras, la lombricultura es una actividad fundamental en la agricultura ya que los nutrientes que brinda a los suelos son completamente necesarios.

- Propiedades del humus de lombriz

La lombriz más utilizada para la elaboración de humus es la lombriz roja californiana.

Las propiedades de estas son:

- Fertilizante orgánico, irregular y corrector al suelo.
- Alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos.
- Estable, no sufre más descomposición o transformación debido a la estructura fisicoquímica de las moléculas húmicas.
- Altamente soluble.
- Elevada carga microbiana.
- Contiene hormonas que estimulan el crecimiento.
- Recupera suelos estériles (contaminados).
- Mejora la estructura (suelta los pesados y liga los arenosos).
- Enorme capacidad de intercambio catiónico, de ahí su gran potencial para conservar sustancias, convirtiéndolos en un singular abono connatural
- Alza suficiencia de estancamiento de agua, que permite ahorrar hasta un 30 % de agua.
- Condiciones para el desarrollo de la lombriz

Las condiciones óptimas son:

- Humedad optima 70 %
- Temperatura: alrededor de 20°
- Ausencia de luz
- PH: intervalo de 6-8, ideal es 7
- Aireación: primordial para la apropiada respiración de lombrices y desarrollo de lombrices.

Es importante mencionar que, si la situación es óptima su reproducción es rápida, estas ponen un huevo con nombre cocón a los 7 días.

- Manejo y recolección del humus

“La recolección del humus tiene una altura máxima al llegar este a su altura se deja de regar y de alimentar.” (García, 2015, p.13) El humus este hecho de color negro, es parecido al café. Para extraer el humus hay diferentes maneras:

- Método de malla
 - Método de raspado
 - Método de pirámide
- Metodología de compostaje por medio de lombricomposta
- “La metodología de compostaje permite la utilización de distintos residuos orgánicos como alimento para lombrices.” (Prado, 2013, p. 22) Hay que limitar los desechos de origen vegetal crudo, cascaras y tallos; cascaras o trozos de melón, sandía, papaya, manzana, entre otros.

Evitando los cítricos es importante que los residuos estén en trozos. Los materiales más utilizados como el sustrato son: papel, cartón, hojas de árbol, entre otros. La pulpa del café es buena materia prima para la formación de sustrato.

“El precomposteo del sustrato se prepara colocando todos los materiales y dejándolos fermentar por dos meses.” (Prado, 2013, p. 22)

Cuando la materia se empieza a blanquearse empieza a perder calor, cuando la temperatura es de 18 a 25 grados y ya está suave. Se puede utilizar como sustrato y ser consumida por las lombrices. Además, lograr el sustrato es el objetivo principal es proveer las lombrices de un medio donde moverse libremente.

“La temperatura debe estar entre los 18 a 25 grados centígrados y la humedad debe estar entre 70 y el 80%.” (Prado, 2013, p. 22)

“Las lombrices indicarán la acidez que obtenga el sustrato y si es adecuado.” (Prado, 2013, p. 23) Se comprueba colocando 20 lombrices en el sustrato, si se sumergen y dentro de una hora no salen a la superficie significa que si les gusta la acidez cuando no está adecuada saldrán a la superficie.

La prueba de la supervivencia es cuando se llena una bandeja de 25 cm de ancho por 30 cm de largo con 10 cm de alto con el sustrato de compostaje y se añaden luego 20 lombrices que permanecen en el recipiente. La instalación del compostero va a depender el área y el volumen de los desechos.

Las características de estructurales de camas son de suelos y paredes de las camas, suelo es el uso de pisos de cemento y en el interior de las camas para aislar el cultivo del suelo y evitar el ataque de posibles plagas.

“En las paredes la construcción de las camas se puede utilizar ladrillos, blocks, madera o malla. Deben estar unidos con cemento.” (Prado, 2013, p. 24)

En la parte superior es recomendable techar para que no tenga contacto directo con el sol y la lluvia, así también lograr la entrada de aves y animales. En la preparación del sustrato son necesarios los materiales que serán añadidos en las camas de lombricomposta.

“La inoculación de las lombrices en el sustrato.” (Prado, 2013, p. 25) El monitoreo del sustrato para el proceso de la humedad y el contenido de la humedad inicial es alrededor de 70 % al 80 % es la ideal en la elaboración de lombricomposta.

En la aireación la lombricomposta absorbe el oxígeno a través de su piel y requiere un ambiente que permita el flujo de aire y disipación. Cuando se monitorea el sistema y se logra observar que está fallando hay indicios y hay material no procesado se aumenta la temperatura para la disminución de la concentración del oxígeno.

“La maduración de la lombricomposta se produce luego de 16 semanas.” (Prado, 2013, p. 25) Es importante mencionar que, cuando la pulpa está café y los materiales del sustrato han notado color oscuro se vacía la composta, se almacena y se empaca.

5.6. Diseño de planta de compostaje

En las instalaciones de AMSA, se tiene un sitio destinado para la creación de una planta de compostaje, se cuenta con una superficie de no menos de una hectárea y que cuenta con un buen acceso.

“La caseta de selección y el almacenaje está basada en poder aprovechar los residuos sólidos que ingresan al vertedero, haciendo necesario la clasificación de los materiales desde el ingreso.” (Girón, 2017, p. 26)

Se necesita una báscula en el ingreso con el objetivo de tener el peso de los camiones o vehículos que ingresan. “Esta bascula debe estar en un lugar de fácil acceso para todo tipo de vehículo.” (Girón, 2017, p. 26)

Los camiones luego de ser pesados en la báscula deben pasar al área de la recepción y separación de los residuos, estos se descargarán y pasarán por efecto de su propio peso a un lugar donde se clasificarán. Luego trabajadores

clasificarán manualmente los residuos dividiéndolos en sus diferentes tipos y grupos, metales, plásticos, vidrio, cartón, orgánico, entre otros.

Por lo que, todo el material que se puede utilizar en el proceso de compostaje pasara a otro lugar para trasladarlo a las pilas para su respectivo proceso. El material recuperable pasará a un lugar donde se pueda tratar y el material que no pueda tener ningún tipo de tratamiento o reciclaje pasará al proceso de relleno sanitario.

5.6.1. Parámetros

En la planta de compostaje ingresará todo material biodegradable, en las cámaras de compostaje se harán en dos etapas, esto para asegurar la homogeneidad en la biodegradación de los residuos orgánicos.

En la primera etapa se llenarán las cámaras para alcanzar un volumen que pueda cubrir un periodo de tiempo de treinta a cincuenta días desarrollando cámaras en paralelo para poner tener un llenado continuo.

En la segunda etapa se vaciarán las cámaras y se pondrá el material compostado en un patio de maduración y almacenaje, esto con el fin de ingresar nuevo material a las cámaras de la primera etapa. Es importante resaltar que, el material ya en la etapa de maduración puede ser comercializado ya que no presenta ningún tipo de olor.

5.6.2. Características

“Es importante que todas las instalaciones deben estar bajo techo esto con el fin de no tener una variación en las cualidades del material producido por el humus de lombriz.” (Girón, 2017, p. 25)

Además, el abono producido por el proceso de lombricomposta ayudará a mejorar las condiciones del suelo. También se manejarán los lixiviados producidos por el proceso y que ayudarán en gran medida a no contaminar los suelos y servirán para otros procesos en la agricultura.

5.7. Marco legal del manejo de los residuos sólidos en Guatemala

“Actualmente el tema de legislación de los residuos y desechos sólidos no se tiene una ley específica sustancia.” (Girón, 2017. p.16) La regulación y la normativa se basan en documentos que se apegan y que dan una pauta para la solución de la problemática a nivel nacional.

5.7.1. Constitución Política de la República de Guatemala

La Constitución Política de la República de Guatemala en el Artículo 97 establece que:

Medio ambiente y equilibrio ecológico. El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la

fauna, flora de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando la depredación.

5.7.2. Código Municipal Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala

Parte del marco legal del manejo de los residuos sólidos en Guatemala es el Código Municipal, que establece algunas de las normas para la gestión de los mismos:

Por lo tanto, el Código Municipal en el Artículo 67 establece que:

Gestión de intereses del municipio. El municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias puede promover toda clase de actividades económicas, sociales, culturales, ambientales y prestar cuantos servicios contribuyan a mejorar la calidad de vida, a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la población del municipio.

Cabe destacar el artículo 68 del Código Municipal, que fija:

Competencias propias del municipio. Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios y son los siguientes.

Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; limpieza de ornato.

Exponer y dirigir políticas, planes y programas relativos a la recolección, procedimiento, distribución y la terminación de desechos y residuos sólidos colocación final.

5.7.3. Código de salud Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala

En esta misma línea legal, el Código de Salud Decreto No. 90-97 del Congreso de la República de Guatemala en la sección II Agua Potable, constituye una sucesión de requerimientos de observancia obligatoria para todas las municipalidades.

En la sección IV de desechos sólidos del Código de Salud establece, en el artículo 102:

Corresponde a las municipalidades la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrán utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que deberá ser elaborado dentro del plazo improrrogable de dos meses de solicitado. De no producirse el mismo será considerado emitido favorablemente, sin perjuicio de la responsabilidad posterior que se produjera, la que recaerá en el funcionario o empleado que no emitió el dictamen en el plazo estipulado.

Decreta el Código de Salud en el Artículo 103, que:

Disposición de los desechos sólidos. Se prohíbe arrojar o se acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, alrededor de zonas habitadas y en lugares que puedan producir daños a la salud a la población, al ornato o al paisaje, utilizar medios inadecuados para su transporte y almacenamiento o proceder a su utilización, tratamiento y disposición final, sin la autorización municipal correspondiente, la que deberá tener en cuenta el cumplimiento de las medidas sanitarias establecidas para evitar la contaminación del ambiente, específicamente de los derivados de la contaminación de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos.

En este mismo orden, es importante citar el Artículo 104 del Código de Salud que establece:

Lugares Inadecuados: Si el ministerio de salud llega a comprobar que lugares donde se estén depositando desechos sólidos sin llenar requisitos de la presente ley, deberán ser transportados a otros lugares que cumplan con los requisitos sanitarios, con base a un programa que de común acuerdo establezcan las municipalidades respectivas y el Ministerio de Salud.

Asimismo el Código de Salud en el Artículo 107 decreta que:

Desechos sólidos de la industria y comercio. Para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza

de sus operaciones, especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos, no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales. El Ministerio de Salud y la municipalidad correspondiente dictaminaran sobre la base del reglamento específico sobre esta materia.

5.7.4. Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente Decreto No. 68-86

A continuación se citan los artículos de la Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente Decreto No. 68-86 referentes a los requerimientos para el proyecto:

El artículo 6 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente, establece:

El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios contaminados del medio ambiente o radiactivos. Aquellos materiales o radiactivos. Aquellos materiales y productos contaminantes que esté prohibida su utilización en su país de origen no podrán ser introducidos en el territorio nacional.

También el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente, instituye lo siguiente:

Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será

necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente.

El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este Artículo será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q.5,000.00 a Q.100,000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla.

5.7.5. Política para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Acuerdo Gubernativo número 111-2005

El fin esencial de La Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos sólidos, es:

La Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos sólidos, ha sido trabajo articulado de cuatro componentes sociales básicos: la Iniciativa Privada, las instituciones centrales de gobierno, municipales y organizaciones civiles. Todos los involucrados de alguna manera como grupos de procesos de producción. (Acuerdo Gubernativo número 111-2005, p. 8)

Esta política es un instrumento que permite organizar las acciones de las diferentes instituciones en el tema del manejo integral de los residuos sólidos,

logrando con esto el progreso del país y una oportunidad de mejorar la calidad de vida de todos los guatemaltecos.

5.7.6. Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes Acuerdo Gubernativo número 164-2021

Es importante citar los artículos que respaldarán el proyecto, establecidos en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes Acuerdo Gubernativo número 164-2021.

Al respecto establece el artículo 12 la siguiente clasificación:

Todas aquellas personas, individuales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras que, como resultado de sus actividades produzcan residuos o desechos sólidos comunes, deberán separarlos al momento de su generación, de acuerdo con la clasificación siguiente.

- a) Clasificación primaria:
 - a.1) Orgánico
 - a.2) Inorgánico

- b) Clasificación secundaria:
 - b.1) Papel y cartón
 - b.2) Vidrio
 - b.3) Plástico
 - b.4) Metal
 - b.5) Multicapa
 - b.6) Otros

En el mismo cuerpo legal el artículo 29, establece: “Sistemas de tratamiento. El tratamiento de los desechos sólidos comunes podrá realizarse por medio de incineración, reducción mecánica del volumen o reducción mecánica del tamaño.” (Acuerdo Gubernativo número 164-2021, p.5)

6. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-

1.1.1. Aspectos generales

1.1.2. Funcionamiento

1.1.3. Divisiones

1.1.4. Vertedero Controlado en el Km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva

1.1.4.1. Ubicación geográfica

1.1.4.2. Generalidades

1.1.4.3. Funcionamiento

1.2. Tipo de residuos sólidos

1.2.1. Desecho

1.2.2. Residuo

1.3. Clasificación de los residuos sólidos

- 1.3.1. Por su clasificación
- 1.3.2. Residuos orgánicos
- 1.3.3. Residuos inorgánicos
- 1.3.4. Por su capacidad de ser reutilizados
 - 1.3.4.1. Reciclables
 - 1.3.4.2. No reciclables
- 1.3.5. Origen de los residuos sólidos
 - 1.3.5.1. Domiciliares
 - 1.3.5.2. Comerciales
 - 1.3.5.3. Industriales
 - 1.3.5.4. Agrícolas
 - 1.3.5.5. Institucionales
- 1.4. Características de los residuos sólidos urbanos
 - 1.4.1. Humedad
 - 1.4.2. Densidad
 - 1.4.3. Relación carbono/nitrógeno
- 1.5. Tipos de manejo de los residuos sólidos urbanos
 - 1.5.1. Reciclaje
 - 1.5.2. Compostaje
 - 1.5.3. Tipos de compostaje
 - 1.5.3.1. Compostaje aerobio
 - 1.5.3.2. Lombricomposta
 - Tipo de lombrices
 - Lombricultura o vermicultura
 - Propiedades del humus de lombriz
 - Condiciones para el desarrollo de la lombriz
 - Manejo y recolección del humus
 - Metodología de compostaje por

medio de lombricomposta

- 1.6. Diseño de planta de compostaje
 - 1.6.1. Parámetros
 - 1.6.2. Características
- 1.7. Marco legal del manejo de los residuos sólidos en Guatemala
 - 1.7.1. Constitución Política de la República de Guatemala
 - 1.7.2. Código municipal Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala
 - 1.7.3. Código de salud Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala
 - 1.7.4. Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente Decreto No. 86-86
 - 1.7.5. Política para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos (Acuerdo Gubernativo número 111-2005)
 - 1.7.6. Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo número 164-2021)

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero
 - 2.1.1. Residuos sólidos que ingresan al vertedero
 - 2.1.2. Determinación de muestra y peso de residuos solidos
 - 2.1.3. Caracterización de los residuos solidos
 - 2.1.4. Determinación de peso de residuos solidos
 - 2.1.5. Determinación de la composición física de los residuos solidos
- 2.2. Procedimiento para el manejo de una planta de compostaje

- 2.2.1. Determinación del porcentaje promedio de residuos sólidos
- 2.2.2. Determinación del porcentaje promedio de residuos orgánicos
- 2.3. Diseño de una planta de compostaje
 - 2.3.1. Determinación de área de pilas
 - 2.3.2. Determinación de área necesaria para compostaje
- 2.4. Normativa para la recepción de residuos sólidos
 - 2.4.1. Reglamento para la recepción de los residuos y desechos sólidos comunes
 - 2.4.2. Socialización de reglamento
 - 2.4.3. Educación comunitaria ambiental

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado en el km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva
- 3.2. Procesos óptimos para el manejo de una planta de compostaje
- 3.3. Diseño de una planta de compostaje
- 3.4. Normativa de regulación para la recepción de los residuos sólidos
- 3.5. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

7. METODOLOGÍA

7.1. Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo cualitativa ya que se obtendrá información basada en observaciones que indicarán las cualidades o hechos, también por el tipo de investigación será de tipo descriptiva, ya que se describe la realidad de un suceso dando un panorama general del problema. De esta manera se permite analizar datos para llegar a los lineamientos donde se pruebe la solución al problema.

Por último, por el grado de manipulación de las variables será de tipo no experimental, ya que básicamente solo se realizarán observaciones de las variables a estudiar. El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

7.2. Fases del estudio

A continuación, se presentan seis fases que representan el trabajo metodológico que se utilizará para realizar la siguiente investigación.

7.2.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En la primera fase se procederá a la revisión de la bibliografía que pueda aportar información importante al tema de investigación. Con la información recabada se procederá a realizar la metodología apropiada y análisis de las tecnologías que se utilizaran para lograr los objetivos planteados.

7.2.2. Fase 2: Elaboración del estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero

La fase 2, comprende la elaboración del estudio de caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, se estructura mediante el cálculo de la muestra y la selección de la misma.

7.2.2.1. Cálculo de la muestra

Para la selección de la población se debe identificar el estrato de la población a estudiar, puede ser alto, medio o bajo. En el caso de la república de Guatemala es complicado establecer el más idóneo, por lo que la muestra se denotará como estrato mixto.

Para determinar el tamaño de la muestra proporcional en base al número total de camiones que se estudiaran que ingresan al vertedero, se utilizará la siguiente fórmula.

Ecuación 1. Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z_{1-a/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-a/2}^2 \sigma^2}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

$Z_{(1-a/2)}^2$ = Coeficiente de confianza (nivel de confianza 95% = 1.96)

N= Número total de camiones

- E= Error permisible (el dato más utilizado para caracterizaciones es de 0.05)
- σ = Desviación estándar (Se utilizará el dato de 200 gr/hab/día ya que no se tiene datos de desviación estándar, por lo que el dato equivale a 0.2 Kg/hab/día)

7.2.2.2. Selección de la muestra

Para determinar la cantidad de camiones que ingresan al vertedero controlado se procederá a especificar las estadísticas diarias. Como se obtendrán los datos para las estadísticas mencionadas anteriormente, sobre el ingreso de residuos al vertedero controlado.

El proceso de determinación es de la siguiente manera:

En la entrada al vertedero se encuentran los delegados de la unidad de residuos sólidos de AMSA, que son los encargados de revisar, pesar y autorizar el ingreso de los camiones.

Ellos tienen la obligación de llevar un registro diario del tipo de vehículo que ingresa en base a su capacidad de carga nominal.

También se lleva el registro de que municipio proviene la carga, así como el tipo de residuos que ingresara el vehículo correspondiente, dado que está prohibido el ingreso de todo tipo de ripio a las instalaciones.

Esta información será recaba en un tiempo de seis meses, para contar con datos con una mejor certeza, siendo los datos más relevantes, el número de vehículos que ingresan diariamente, el peso en kilogramos de los residuos que ingresan diariamente, así como mensualmente y así como el lugar de origen.

Con todos esos datos sintetizados se procede a llenar las siguientes tablas que darán una mejor perspectiva de la información recabada.

Tabla I. Ingreso de vehículos al vertedero controlado

Tipo de vehículo
Compactadores
1-5 toneladas
5-9 toneladas
≥ 10 toneladas
Vehículos tipo pickups
Total

Fuente: elaboración propia.

Con base a los datos recabados se podrá generar la siguiente tabla donde se hará comparación de los datos recabados mensualmente de los vehículos que ingresan y poder determinar el comportamiento de los sistemas de recolección en un periodo de seis meses.

Tabla II. Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado

Mes	Tipo de vehículo	Compactador	1-5	5-9	≥10	Pickups
Total		Tn	Tn	Tn		
febrero						
marzo						
abril						
mayo						
junio						
julio						

Fuente: elaboración propia.

Es muy importante la siguiente tabla dado que ella permitirá conocer el ingreso diario de vehículos y sus características y en base a ello poder determinar la muestra estadísticamente representativa para realizar la caracterización de los residuos.

Los datos se recabarán contando los vehículos que ingresan al vertedero desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm que es el periodo de tiempo en el que permiten el ingreso a las instalaciones. Tomando en cuenta la capacidad de carga de estos.

Tabla III. Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado

Tipo de vehículo	Total
Compactadores	
1-5 toneladas	
5-9 toneladas	
≥10 toneladas	
Vehículos tipo pickups	

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla se recabará la información en el momento de ingreso de los vehículos ya que ellos deben consignar el municipio de donde provienen los residuos, con este dato se puede tener un panorama del municipio que genera más residuos y el tipo que producen.

Tabla IV. **Ingreso de camiones por municipio al vertedero controlado**

Municipio	Cantidad promedio	Porcentaje
Amatitlán		
San Miguel Petapa		
Villa Canales		
Villa Nueva		
Otros		

Fuente: elaboración propia.

Este dato se recabará al ingreso de los vehículos, ya deben pasar por la báscula para que entren. Se tomará el dato del peso en kilogramos de cada vehículo, luego se sumarán para tener el dato diario total de residuos. Así sucesivamente se realizará todos los días esta acción por un lapso de un mes y que al final se haga la sumatoria de todos los días y poder determinar el peso mensual de ingreso de residuos sólidos.

Esta tabla contará con información para que en futuro se pueda hacer una modificación en la tasa que cobran a cada vehículo por servicio de descarga y disposición final de residuos en las instalaciones.

Tabla V. **Ingreso de kilogramos de residuos sólidos al vertedero controlado**

Diario
Mensual

Fuente: elaboración propia.

7.2.3. Fase 3: Caracterización de los residuos sólidos

Para determinar la cantidad y composición de los desechos sólidos que ingresan al vertedero controlado se procederá de la siguiente manera:

- Definir el número de muestras siguiendo la ecuación No. 1
- Dirigir los camiones seleccionados al lugar donde se realizará la caracterización.
- Realizar las divisiones de los desechos por el método de cuarteo.
- Pesar toda la muestra sin clasificar.
- Separar la muestra según la composición física de los desechos.
- Pesar cada material caracterizado y luego dividirlo dentro del peso total de la muestra para determinar el porcentaje.

7.2.3.1. Definición del método de cuarteo

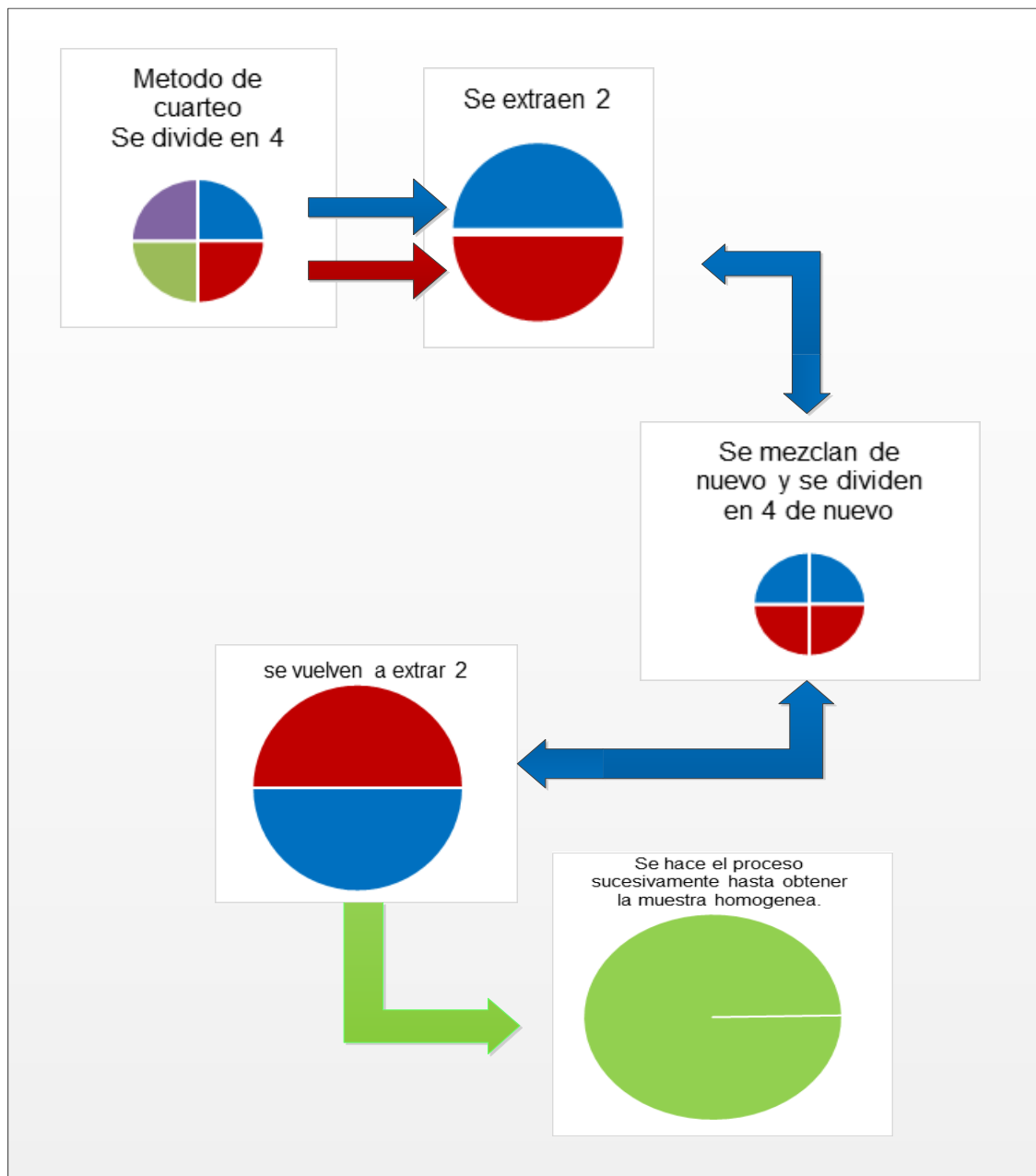
Este método consiste en la separación de la muestra de los desechos sólidos recolectados en un día, realizando un círculo y depositando en él la muestra donde se extraen dos cuartos luego se realiza otro círculo y luego se procede a sacar otros dos cuartos, así sucesivamente hasta lograr tener una muestra lo suficientemente homogenizada y manejable.

Procedimiento:

- Depositar la muestra de los camiones en una superficie plana.
- Mezclar todas las muestras para homogenizarlas.
- Dibujar un círculo y dividir en cuatro partes.
- Seleccionar dos cuartos opuestos y retirar los otros dos cuartos restantes a modo de reducir la muestra.
- Mezclar los dos cuartos y dividirlos en cuatro partes para luego extraer otros dos cuartos.

- Este procedimiento se realiza sucesivamente hasta tener una muestra homogenizada y de un peso manejable.

Figura 2. **Método de cuarteo para extraer la muestra**



Fuente: elaboración propia.

7.2.3.2. Determinación de peso de desechos sólidos

El método de cuarteo da una muestra representativa diaria de los desechos sólidos que ingresan al vertedero durante siete días.

Procedimiento:

- Se clasifica la muestra por tipo de material y posteriormente se pesan individualmente.
- Luego de obtener el peso de cada material se divide dentro del peso inicial de la muestra, para posteriormente obtener el porcentaje de cada residuo.
- Se utiliza la siguiente formula

$$\text{Porcentaje \% por día} = \left[\frac{\text{peso de cada residuo clasificado (kg)}}{\text{peso total de la muestra (kg)}} \right] * 100$$

Tabla VI. **Composición de los residuos sólidos porcentaje de los residuos sólidos**

Día%	Papel %	Cartón %	Orgánico %	Plásticos %	Metales %	Vidrios %	Otros %
lunes							
martes							
miércoles							
jueves							
viernes							
sábado							
lunes							
% de residuos							

Fuente: elaboración propia.

7.2.3.3. Densidad de los residuos sólidos

Este método consiste en determinar el peso de los residuos que caben en un metro cúbico, el procedimiento se describe a continuación:

- Determinar el volumen del recipiente que se utilizará para almacenar los residuos.
- Llenar el recipiente hasta el borde sin compactar.
- Realizar sucesivamente esta actividad por cada tipo de material clasificado.
- Se sube el recipiente en la balanza y se anota el peso registrado (no se debe tomar en cuenta el peso del recipiente.)
- El dato del peso, dividido por el volumen del recipiente, dará la densidad de cada material clasificado, utilizando la siguiente fórmula:

$$Densidad = \left[\frac{\text{Peso de los residuos de un tonel (kg)}}{\text{Volumen del tonel (m}^3\text{)}} \right]$$

Tabla VII. **Densidad de los residuos solidos**

Tara de recipientes (lbs)			
Residuos sólidos	Peso bruto	Peso neto	Densidad
	(kg)	(kg)	(kg/m ³)
Cartón			
Papel			
PET			
Domiciliar			
Industria			
Otros			

Fuente: elaboración propia.

7.2.4. Fase 4: Procedimiento para el manejo de una planta de compostaje

Según la caracterización de los desechos sólidos que ingresan al vertedero se puede definir que es factible la implementación de una planta de compostaje. Se identificará el siguiente resultado con la caracterización de los desechos sólidos:

Tabla VIII. **Promedio de resultados de residuos sólidos**

Residuos	Porcentaje promedio
Papel	
Cartón	
Orgánico	
Plásticos	
Metales	
Vidrio	
Otros	

Fuente: elaboración propia.

7.2.4.1. Resultado promedio de los residuos orgánico

El resultado promedio de los residuos orgánicos, será mediante el porcentaje obtenidos de la caracterización. Residuos que corresponden a frutas y verduras, restos de comida, restos de animales, restos de jardín (hojas, ramas, troncos y otros).

Tabla IX. **Promedio de resultados de residuos sólidos orgánicos**

Residuos	Porcentaje promedio
Frutas y verdura	
Restos de comida	
Restos de animales	
Restos de jardín (hojas, ramas, troncos)	
Otros	

Fuente: elaboración propia.

7.2.4.2. Porcentaje de la humedad de la materia orgánica

Con los resultados obtenidos del porcentaje de humedad, se obtendrá el dato relevante para calcular las necesidades de riego de la compostera, también hay formas de acopio temporal en época de invierno ya que pueden humedecerse.

Se puede utilizar la siguiente ecuación:

Cálculo de porcentaje de humedad.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{a - b}{a} \cdot 100$$

7.2.4.3. Procedimiento para realizar el compostaje

Se seleccionará la tecnología que le dé la solución a la problemática que se presenta dentro el vertedero. Esto con el fin de dar tratamiento a las toneladas métricas que diariamente ingresan, por medio del procesamiento y reutilización del material biodegradable.

A continuación, se presenta los tres tipos de materiales más significativos identificados en la caracterización.

Tabla X. **Porcentaje de materiales**

Residuos	Porcentaje de materiales
%	Material orgánico
%	Material reciclable
%	Material inflamable y material no aprovechable

Fuente: elaboración propia.

Con base en la tabla anterior, se definirá la tecnología más apropiada para darle tratamiento al material orgánico, también se definirá el método de compostaje como la mejor opción.

Existen varios tipos de compostaje, siendo los más utilizados en Guatemala:

- Método de compostaje tradicional.
- Método de compostaje por medio de la lombriz roja californiana (*eisenia foetida*) o mejor conocido como lombricomposta.

Se seleccionará el método de lombricomposta debido a que las condiciones son aceptables para dicho proceso.

- Procedimientos y materiales para el compostaje:
 - Fuentes de nitrógeno: desechos de verduras, frutas, poda de grama, hojas verdes, estiércol, verduras, las de color verde.
 - Fuentes de carbón: hojas secas, paja, poda de árboles. De color café.

- Suelo arcilloso.
 - Agua
 - Compostaje terminado para inocular.
 - Palas.
 - Azadones
 - Carretas
 - Mangueras
 - Termómetros digitales con varilla.
- Procedimientos:
 - Los materiales para utilizar deben estar listos. (materia orgánica con alto contenido de carbono, materia orgánica con alto contenido de nitrógeno, agua, suelo arcilloso, palas y azadones).
 - El tamaño de la pila de compost debe medir 80 centímetros de ancho en la base, 80 centímetros de altura y 1 metro de largo.
 - Colocar la primera capa de 25 a 30 centímetros de material suelto, con alto contenido de carbono. (color café).
 - Agregar agua hasta obtener entre un 50 a 60% de humedad.
 - Agregar la segunda capa de 10 a 15 centímetros de material de alto contenido de nitrógeno. (color verde).
 - Agregar agua hasta humedecer el material nuevamente.
 - La tercera capa es de suelo arcilloso debe ser de 5 a 10 centímetros de altura.
 - Agregar agua hasta obtener un 50 a 60% de humedad.
 - Se deben repetir del paso “c” hasta el paso “h”, hasta que la pila alcance 80 centímetros de altura.
 - Inmediatamente después de armada la pila de compostaje, se procede al volteo manual con palas, se debe formar a la par de la primera pila de compostaje la segunda pila, esta actividad permite

que los materiales se mezclen, proporciona oxígeno a los materiales y eleva la temperatura.

- Voltear la pila cada 24 horas durante diez días.
- Monitorear a diario la temperatura que no se sobrepase los 58°C.
- Al segundo día agregar dos libras de material compostado como inoculador.
- Posterior a los primeros diez días, se debe voltear la pila de compostaje cada semana o cuando la temperatura supere 58°C.
- A los once días agregar dos libras de material compostado para asegurar la inoculación de microorganismos
- Se debe incorporar agua durante los volteos o cuando se muestren niveles de humedad inferiores al 50%.
- El producto del compostaje se observará de 6 a 8 semanas posteriores al inicio, donde se registrará disminución de la temperatura, el material compostado tendrá olor a tierra mojada y su apariencia será la de la tierra con alto contenido de materia orgánica.
- Caracterización física y química del material compostado.

7.2.4.4. Condiciones climáticas para el desarrollo de la lombriz

Las condiciones adecuadas para el desarrollo de la lombriz se detallan a continuación:

- Humedad: es óptima el 70 % por debajo se paraliza la actividad y se reduce la población.
- Temperatura: alrededor de 20°C.
- PH: es ideal 7 aunque puede tolerar entre un rango de 6-8.
- Aireación: es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las

lombrices.

Cuando las condiciones climáticas son las adecuadas se logra la reproducción rápida poniendo un huevo llamado cocón cada 7 días del cual eclosionaran entre una y veinte lombrices.

Para comprobar que todo está funcionando adecuadamente, existe una hoja de control donde se debe anotar los parámetros básicos citados y así verificar que son las condiciones ideales para la lombriz se reproduzcan y se alimenten adecuadamente.

Se deben anotar las condiciones climáticas para comprobar el peso de las lombrices y se hará un conteo de los distintos tamaños de crecimiento de la lombriz. Siendo los óptimos: 500 cocones/m² (2,) 40 %, adultos 60 % juveniles.

7.2.5. Fase 5: Diseño de una planta de compostaje

Para realizar el diseño se necesita hacer el cálculo del área de la pila el número de pilas de compostaje, que se realizará mediante una ecuación.

7.2.5.1. Ecuación para el área de la planta de compostaje

Está estimado según el área requerida para compostar el 50% de los desechos sólidos, mediante:

$$A = b * h$$

Dónde:

A = área

b = base

h = altura

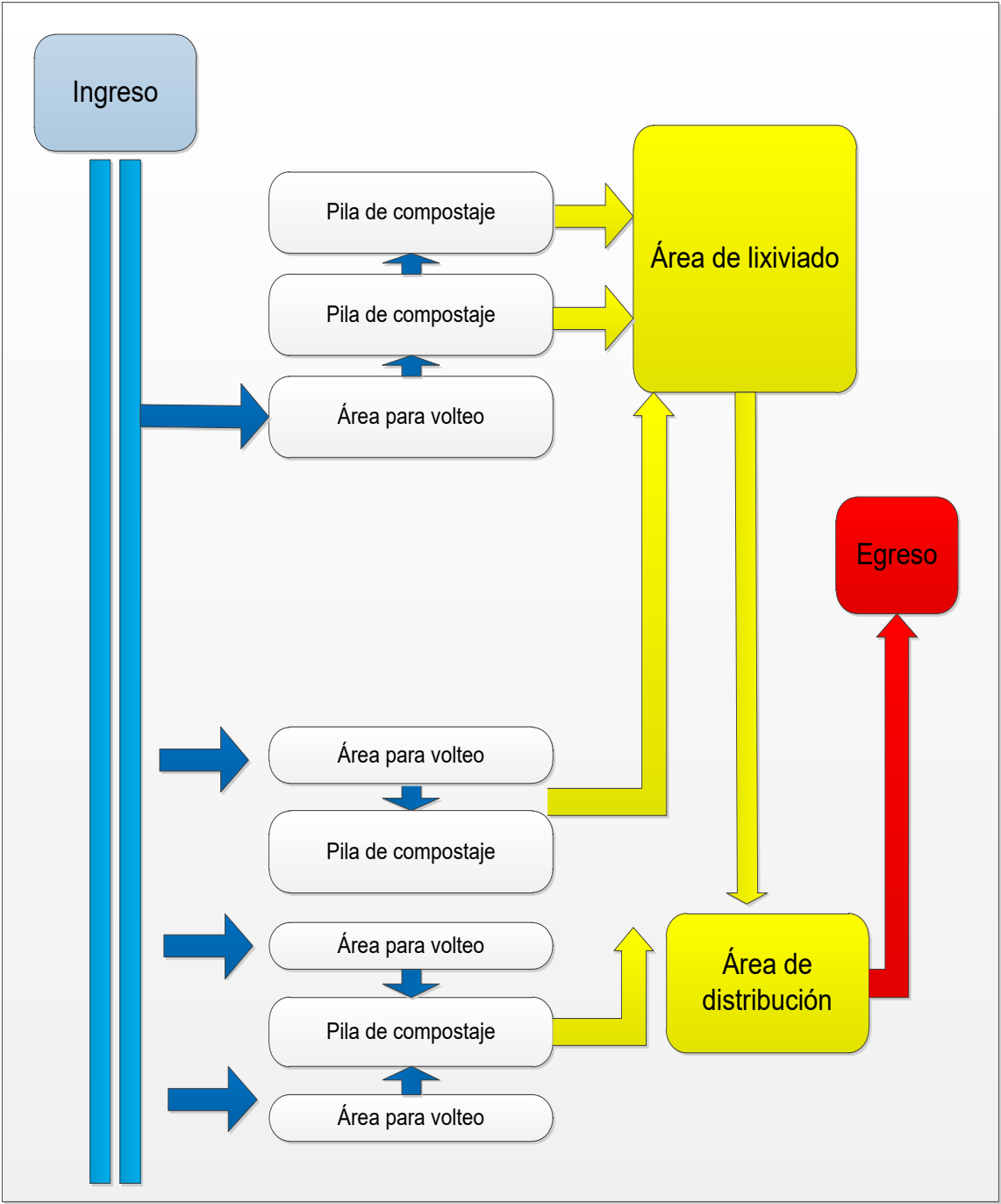
Tabla XI. **Metros cuadrados del área de compostaje**

Área	Metros cuadrados
Pila de compostaje	
Total de pilas de compostaje	
Área de volteo por pila	
Total de área de volteo	
Área de estabilización de material compostado	
Área total requerida	

Fuente: elaboración propia.

El área del compostaje se distribuirá por el número de pilas, así logrando mantener el suministro constante del material compostado.

Figura 3. **Diseño y distribución de una planta de compostaje**



Fuente: elaboración propia.

7.2.6. Fase 6: Normativa para la recepción de residuos sólidos

Esta fase 6, corresponde a la normativa para la recepción de residuos sólidos, en el siguiente apartado se describe de forma general el Acuerdo Gubernativo Número 164-2021 emite el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes.

7.2.6.1. Norma según Acuerdo Gubernativo Número 164-2021

Según el Acuerdo Gubernativo Número 164-2021 emite el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes establece lo siguiente:

Todas aquellas personas, individuales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, que como consecuencia de su producción generen residuos, deben tener la siguiente clasificación:

- a) Clasificación primaria:
 - a.1) Orgánico
 - a.2) Inorgánico

- b) Clasificación secundaria:
 - b.1) Papel y cartón
 - b.2) Vidrio
 - b.3) Plástico
 - b.4) Metal
 - b.5) Multicapa
 - b.6) Otros

Teniendo los primeros dos años la implementación de la clasificación primaria de forma obligatoria y luego de esos dos años se debe empezar a implementar la clasificación secundaria. Es importante resaltar que, este reglamento se hace fundamental para la clasificación de los residuos comunes, siendo la estructura principal para iniciar la clasificación desde el hogar y así poder hacer más práctico el trabajo en el vertedero controlado a la hora de la clasificación y posterior compostaje.

8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La información obtenida de la investigación realizada del valor, caracterización de residuos y resultados.

Se comparten las herramientas:

- Fórmula para la frecuencia y el tamaño de las muestras.
- Se usará una tabla para el cálculo de nivel de confianza.
- Se utilizará una gráfica de barra para los resultados de características de los desechos.
- Mediante una gráfica de barra de contenido de humedad de los desechos.
- Se utilizará una gráfica de barra para la densidad de los desechos.
- Fórmula para el cálculo de las densidades de las pilas de compostaje.
- Se usará una gráfica circular para los parámetros del compostaje.
- Se usará una tabla para el control de temperatura de compostaje.

Luego de este proceso de analizarán y se presentarán los resultados por herramientas estadísticas:

- Se realizará la desviación como medida diferencial para el cálculo del tamaño de las muestras.
- Se establecerá la razón entre la temperatura y la duración mínima de los días en la pila de compostaje. Así mismo, el porcentaje de los nutrientes existentes por kilogramo de compost.
- La importancia de las distribuciones de frecuencias que se realizaran con graficas de pie.

9. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación será financiado con recursos propios del estudiante de la maestría, siendo la investigación de tipo descriptiva, se debe contar con permisos de AMSA para poder realizar los estudios, se debe recolectar información haciendo necesarios los siguientes recursos.

9.1. Recursos humanos

- Personal administrativo de AMSA
- Personal de campo de AMSA
- Personal encargado de realizar el estudio de caracterización
- Personal docente de la Escuela de Postgrado de Ingeniería
- Estudiante de maestría
- Ingeniero asesor

9.2. Recursos tecnológicos

- Computadora portátil
- Cámara fotográfica
- Impresora

9.3. Recursos físicos

A continuación se presenta el listado de los materiales de oficina, los materiales didácticos de consulta y material para realizar caracterización.

9.3.1. Materiales de oficina

- Resmas de papel bond
- Lapiceros
- Lápiz
- Calculadora

9.3.2. Material didáctico de consulta

- Guías
- Manuales
- Libros
- Trabajos de graduación

9.3.3. Material para realizar caracterización

- Pesas de piso (capacidad mínima de 100 kg)
- Pesas sensibles (capacidad mínima de 10 kg)
- Mascarillas
- Guantes
- Escobas
- Palas
- Tonel
- Tableros tamaño carta
- Bolsas de polietileno

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

Descripción	Costo
Pago de honorarios de asesor	Q. 2,500.00
Pago de personal de apoyo para estudio de caracterización	Q. 2,500.00
Viáticos (comida, combustible)	Q. 1,000.00
Compra de materiales de oficina	Q. 500.00
Compra de materiales para realizar caracterización	Q. 1,000.00
Impresión de tesis	Q.1,000.00
TOTAL	Q. 8,500.00

Fuente: elaboración propia.

Considerando que los recursos aportados son suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

REFERENCIAS

1. Allen, B. K. (2011). *Alternativas para el aprovechamiento de los desechos sólidos del relleno sanitario de tecnología apropiada de AMSA.*
2. AMSA. (2010). *Folleto Educativo. Situación Actual del Lago de Amatitlán y su Plan de Recuperación.*
3. Brincker, E. J. (2017). *Elaboración de un plan de manejo integral de residuos sólidos para el vertedero controlado, ubicado en el km 22, Carretera al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala.*
4. Carlos Henríquez, Luis Mora. (2003) *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Produciendo Abono de Lombriz. Una forma entretenida de manejar los residuos orgánicos para no contaminar nuestro ambiente.*
5. Contreras, L. C. (2018). *Modelo de Gestión para la Erradicación de Basureros Clandestinos. Estudio de Dos Casos en el Municipio de Villa Nueva.*
6. Estévez, E. D. (2019). *Plan Municipal de Manejo de Desechos Sólidos en el Casco Urbano del Municipio de Puerto Barrio. Departamento de Izabal.*
7. García, A. G. (2015). *Las lombrices y la agricultura. Agro Cabildo.*

8. García, J. P. (2013). *Manual de Lombricompostaje de pulpa de café para los caficultores de la región Otomi-Tepehua de Hidalgo*.
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes*.
10. Recinos, S. A. (2010). *Gestión de los Residuos en la Cabecera Municipal de Santiago Sacatepéquez*. Sacatepéquez.
11. Velásquez, H. A. (2018). *Gestión de los Desechos Sólidos en la Cabecera Municipal de Tejutla*. San Marcos.
12. Velásquez, L. F. (2020). *Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios, en colonia las brisas, zona 6 Municipio de Mixco, Guatemala*. Guatemala.

Legislación:

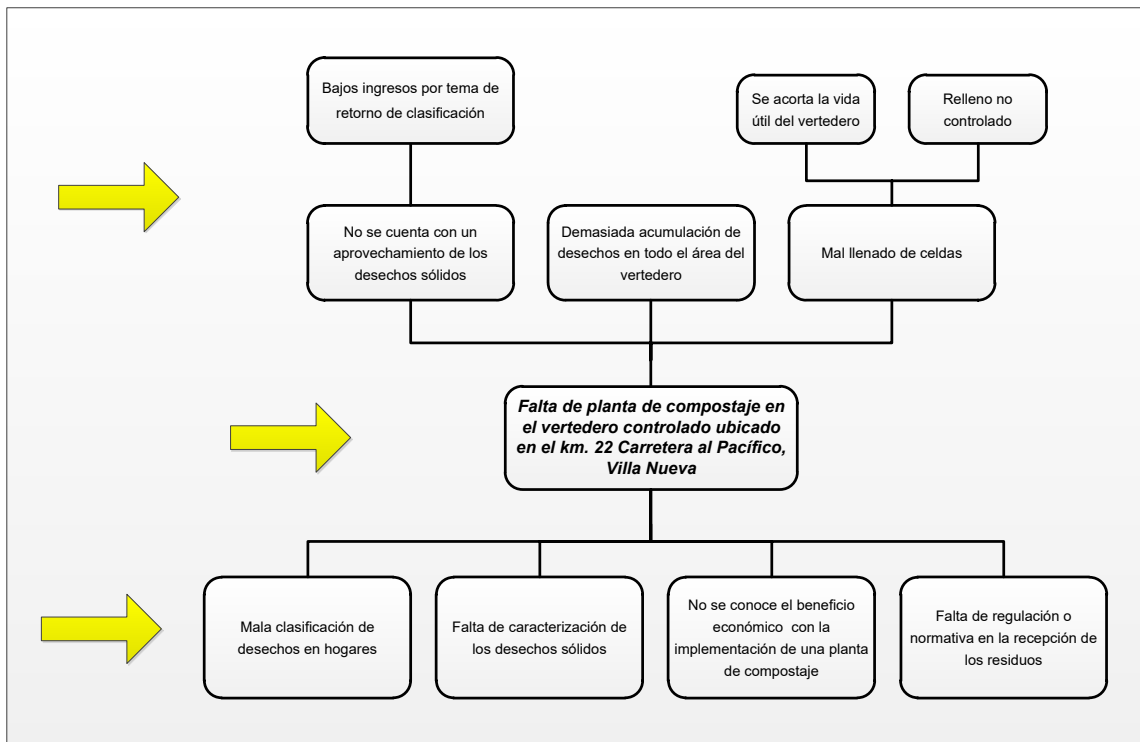
13. Código de Salud. Decreto No. 90-97. Congreso de la República de Guatemala. 1997.
14. Código Municipal. Decreto No. 12-2002. Congreso de la República de Guatemala. 2002.
15. Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente. Decreto No. 68 86. Congreso de la República de Guatemala. 1986.

16. Política para el Manejo de los Residuos y Desechos Sólidos. Acuerdo Gubernativo 111-2005. Congreso de la República de Guatemala. 2005.
17. Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes. Acuerdo Gubernativo 164-2021. Congreso de la República de Guatemala. 2021.

APENDICE

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.

Cronograma de actividades

No.	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Cálculo de muestra	■																							
2	Selección de muestra aleatorio		■																						
3	Cálculo de PPC			■																					
4	Clasificación de muestra por tipo de material			■																					
5	Finalización de caracterización				■																				
6	Elaboración de actividades de manual					■																			
7	Elaboración de procesos de recepción de desechos						■																		
8	Definición de condiciones de materiales orgánicos						■	■																	
9	Análisis del tipo de compostaje óptimo según muestras							■	■	■															
10	Evaluación del tipo de material orgánico que ingresa									■	■														
11	Evaluación del aporte económico										■	■													
12	Definición de la tecnología a utilizar para el compostaje													■											
13	Diseño del sistema de clasificación														■	■									
14	Definición de propuestas															■	■								
15	Diseño principal de la planta de compostaje																■								
16	Evaluación de producto final																	■							
17	Elaboración de normativo para recepción de desechos																	■	■						
18	Análisis de resultados																	■	■	■					
19	Elaboración de informe final																					■	■	■	■

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3

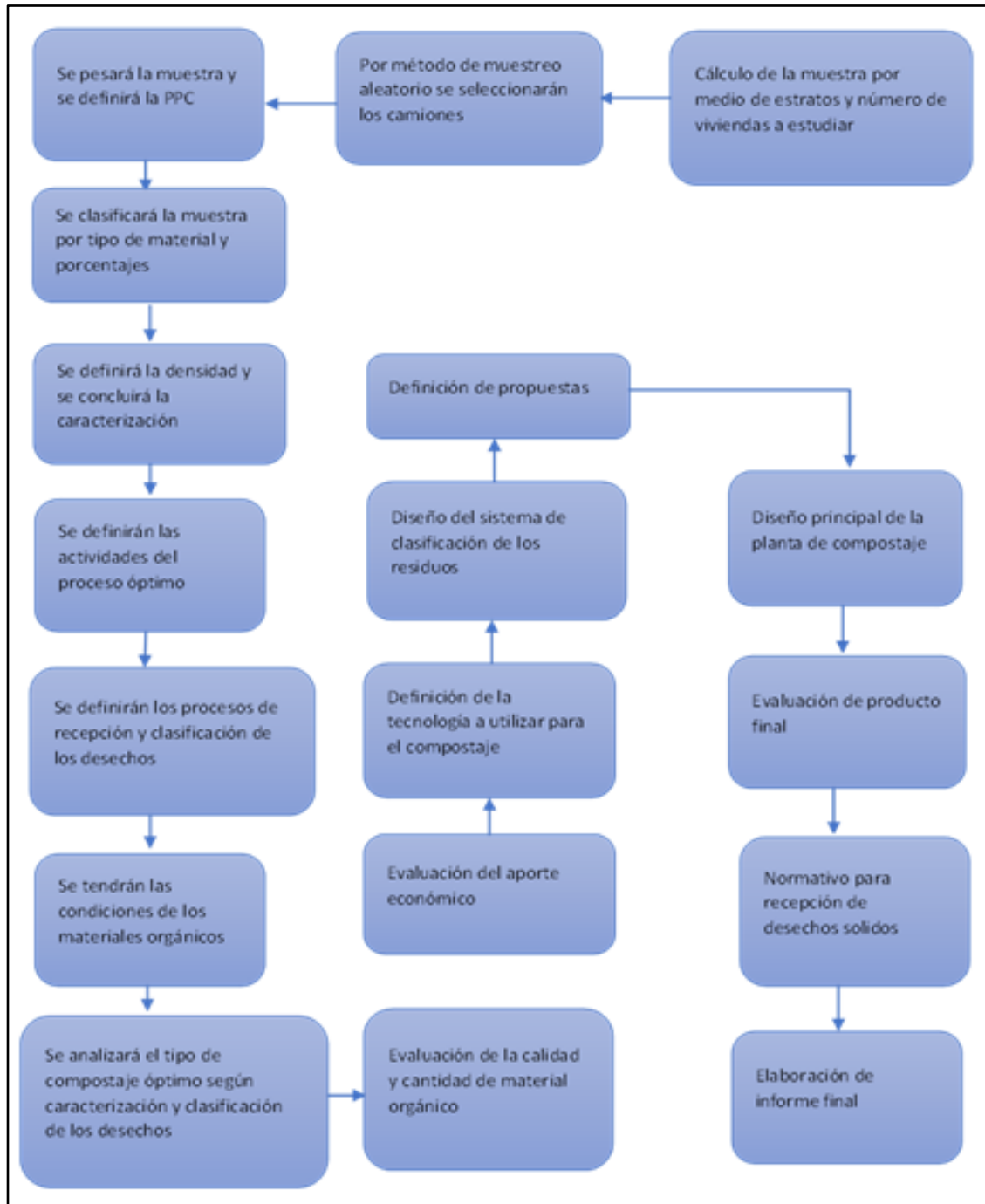
Matriz de coherencia

TITULO: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA				
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA PRINCIPAL	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	JUSTIFICACIÓN	PLAN DE ACCIÓN
FALTA DE PLANTA DE COMPOSTAJE EN EL VERTEDERO CONTROLADO UBICADO EN EL KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA.	PRINCIPAL ¿Cuál debe ser la mejor alternativa para el manejo de los desechos sólidos orgánicos en el vertedero controlado del km. 22 carretera al Pacífico, Villa Nueva,	GENERAL Implementación de una planta de compostaje para los desechos sólidos orgánicos en el vertedero controlado del Km. 22 Carretera al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala.	Elaboración de la caracterización de los desechos sólidos que ingresan al vertedero, ya que no existe un estudio como tal, luego se definirá un manual donde se estipulen los procesos óptimos para la separación de los desechos orgánicos que su destino final será la planta de compostaje, diseño correcto para la implementación de la planta de compostaje, Como parte de la gestión se establecerá una normativa que regule la recepción de los desechos sólidos que ingresarán al vertedero. Con la clasificación se logrará identificar los materiales que pueden ser reutilizados y los materiales que no pueden ser reutilizados, los materiales que ya no pueden recibir ningún tratamiento y su final es depositarlo en una celda del relleno sanitario. Los habitantes del municipio de Villa Nueva serán beneficiados con la implementación de la planta de compostaje, ya que se generarán empleos. La mancomunidad del sur se beneficiará pues los desechos sólidos se dispondrán eficientemente y en conciencia.	Se realizará la caracterización de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, muestreo tipo aleatorio siguiendo los procedimientos que establece el Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente y la Guía para elaborar estudios de caracterización de Residuos Sólidos Comunes del Ministerio de ambiente y Recursos Naturales. Por medio de la caracterización se desarrollará un manual que especifique los procesos óptimos que debe llevar el tratamiento, ya que ahí se definirá que material va al proceso de compostaje, que material puede ser reutilizado y cual material y a no puede ser reutilizado. Ya definidos los procesos se realizará el diseño de la planta de compostaje tomando en cuenta todos los aspectos de beneficio a la población, el tema de beneficio económico con la implementación y el resultado final que se obtendrá. Se realizará un normativo de cómo debe llegar clasificada la basura antes de ingresar al vertedero.
	SECUNDARIAS 1. ¿Cuál son las características de los desechos sólidos que ingresan al vertedero? 2. ¿Cuáles son los procesos óptimos para el manejo de una planta de compostaje? 3. ¿Cuál debe ser el diseño de una planta de compostaje a implementar? 4. ¿Qué lineamientos se deben seguir para la recepción de desechos sólidos?	ESPECÍFICOS 1. Elaborar una caracterización de los desechos sólidos que ingresan al vertedero. 2. Definir los procesos óptimos para el manejo de una planta de compostaje. 3. Definir el diseño de la planta de compostaje a implementar. 4. Definir una normativa que regule la recepción de los desechos sólidos.		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.

Plan de actividades



Fuente: elaboración propia.