



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS
RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE
COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**

Josué Gilberto Gutierrez Díaz

Asesorado por el M.A. Benedicto Estuardo Martínez Guerra

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS
RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE
COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ GILBERTO GUTIERREZ DÍAZ

ASESORADO POR EL M.A. BENEDICTO ESTUARDO MARTÍNEZ GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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 DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS
RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE
COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de octubre de 2022.

Josué Gilberto Gutierrez Díaz



EEPFI-PP-2119-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
Gilberto Morales Balza
Escuela De Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Ing. Morales

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 INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y tratamiento de residuos - Tecnologías para el tratamiento y gestión de residuos**, presentado por el estudiante **Josué Gilberto Gutierrez Díaz** carné número **200117560**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

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

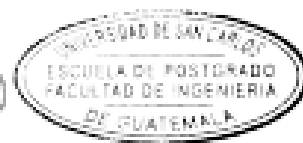
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. **Benedicto Estuardo Martínez**
Maestro en Energía y Ambiente
Col. 4157

Mtro. **Benedicto Estuardo Martínez Guerra**
Asesor(a)

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



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





EEP-EIM-1729-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica 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 INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**, presentado por el estudiante universitario **Josué Gilberto Gutierrez Díaz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, noviembre de 2022

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

LNG.DECANATO.OI.187.2023

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 Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS ESPECIALES EN UNA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE COMBUSTIBLES FÓSILES UBICADA EN PUERTO BARRIOS**, presentado por: **Josué Gilberto Gutierrez Díaz**, 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 su amor infinito, por cuidar de mí, darme fortaleza, sabiduría y por todas las bendiciones que he recibido. A Él sea toda honra.

Mis padres

Angélica Díaz y Gilberto Gutierrez. Por su amor incondicional y apoyo en cada etapa de mi vida, gracias por su esfuerzo y dedicación, no tengo palabras para agradecerles, este triunfo es suyo.

Mi esposa

Dora Contreras. Por bendecirme todos los días con su compañía, eres la luz de mi vida, gracias por tu amor, apoyo y confianza. Te amo.

Mis hijos

Kevin y Marcelo Gutierrez. Por darle significado a mi vida, son la inspiración que cada día me impulsa a ser mejor. Los amo, luchen por sus sueños.

Mis hermanos

Rigoberto Díaz, Jessica y Merlin Gutierrez. Por creer en mí, apoyarme y estar a mi lado cuando lo he necesitado. Los quiero mucho.

Mi sobrina

Nataly Díaz. Por ser parte de nuestra familia y hacerla más alegre. Te quiero chatita.

Mis suegros

Dora Yanes y José Antonio Contreras (q.e.p.d.). Por apoyarme y animarme a luchar por mis metas. Don Tono gracias por su amistad y sus consejos, se le extraña.

Mi tía

Teodora Vicente (q.e.p.d.). Sé que desde el cielo estará orgullosa de verme alcanzar este objetivo, siempre la recuerdo con cariño y amor tía Lolita.

Mi abuelita

Juana Gutierrez (q.e.p.d.). Por cuidarme y quererme, un beso hasta el cielo.

Mis familiares

Gracias a todos los que me apoyaron en algún momento de mi vida para que pudiera alcanzar este objetivo, los aprecio.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de estudiar en la mejor universidad del país. Ha sido un honor.
Facultad de Ingeniería	Por haber adquirido dentro de sus aulas los conocimientos que permitieron convertirme en un profesional.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por permitirme alcanzar este logro. Gracias por darme nuevos conocimientos y recordarme lo mucho que me gusta aprender.
Generadora de Energía Eléctrica de Puerto Barrios	Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de desempeñar mis conocimientos y habilidades dentro de sus instalaciones.
Mis compañeros	A todos con los que compartí momentos agradables, sesiones de estudio y experiencias inolvidables en esta casa de estudios. Los recuerdo con cariño.
Mi asesor	Ing. Benedicto Martínez, por su confianza y apoyo en la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Formulación del problema	11
3.3. Pregunta central	12
3.4. Preguntas auxiliares	12
3.5. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21

7.1.	Manejo integral de residuos sólidos	21
7.2.	Características del manejo integral de residuos.....	22
7.3.	Etapas del manejo integral de residuos	22
7.3.1.	Generación.....	23
7.3.2.	Separación	24
7.3.3.	Recolección.....	24
7.3.4.	Clasificación primaria y secundaria	25
7.3.5.	Disposición final (planta de tratamiento)	26
7.4.	Normativa vigente (Acuerdo Gubernativo 164-2021)	27
7.5.	Importancia del manejo integral de residuos.....	28
7.6.	Beneficios del manejo integral de residuos	29
7.7.	Impacto ambiental de los residuos sólidos.....	29
7.8.	Residuos especiales	31
7.9.	Clasificación de los residuos especiales	32
7.9.1.	Según su origen	33
7.9.1.1.	Residuos comerciales	34
7.9.1.2.	Residuos industriales	34
7.9.1.2.1.	Residuos de aceites.....	35
7.9.1.2.2.	Residuos electrónicos ...	35
7.9.2.	Según su composición	36
7.9.2.1.	Residuos orgánicos.....	36
7.9.2.2.	Residuos inorgánicos	37
7.9.3.	Según su peligrosidad.....	37
7.9.3.1.	Residuos no peligrosos	38
7.9.3.2.	Residuos peligrosos	38
7.10.	Tratamiento de residuos.....	39
7.10.1.	Incineración	39
7.10.2.	Compostaje	40
7.10.3.	Reciclaje.....	41

7.10.4.	Relleno sanitario	42
7.11.	Composición de los residuos	43
7.11.1.	Propiedades físicas	44
7.11.2.	Propiedades químicas	44
7.11.3.	Propiedades biológicas.....	45
7.12.	Efectos nocivos	46
7.12.1.	Contaminación de suelos	46
7.12.2.	Contaminación de aguas	47
7.12.3.	Contaminación atmosférica	47
7.12.4.	Vectores	48
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	51
9.	METODOLOGÍA.....	55
9.1.	Características del estudio	55
9.2.	Unidades de análisis	56
9.3.	Variables.....	56
9.4.	Fases del desarrollo de la investigación.....	57
9.4.1.	Fase 1: revisión de bibliografía	57
9.4.2.	Fase 2: diagnóstico inicial.....	57
9.4.3.	Fase 3: clasificación de los residuos	58
9.4.4.	Fase 4: desarrollo de propuesta	58
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	61
11.	CRONOGRAMA.....	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	65
12.1.	Recursos humanos.....	65

12.2.	Recursos tecnológicos	65
12.3.	Acceso a la información	66
12.4.	Recursos financieros.....	66
13.	REFERENCIAS	69
14.	APÉNDICE.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del problema.....	11
2.	Esquema de una gestión integral de residuos.....	27
3.	Vertedero de desechos sólidos en Ciudad de Guatemala	31
4.	Composición general de los residuos en Guatemala	33
5.	Planta de compostaje en Purranque, Chile	41
6.	Cronograma de actividades.....	63

TABLAS

I.	Vectores relacionados a los residuos sólidos.....	49
II.	Definición de variables	56
III.	Propuesta de clasificación de residuos	61
IV.	Recursos financieros necesarios para la investigación	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Km	Kilómetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Acopio	Juntar o reunir algo en cantidad en uno o varios lugares específicos.
Bunker	Combustible proveniente de la primera etapa del proceso de refinación del petróleo crudo.
Clasificación	Método por el cual se evita que los residuos sólidos se mezclen, mediante su almacenaje separado, para facilitar su transporte y disposición final.
Composición	Término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos.
Compostaje	Proceso biológico y controlado de oxidación.
Disposición final	Es una forma de disponer los residuos sólidos como fase final de manera segura y no dañina para el ser humano y el ambiente.
Generación	Cualquier persona u organización cuya acción cause la transformación de un material en un desecho.
Lixiviados	Líquidos resultantes de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido.

Manejo integral	Conjunto de operaciones y procesos encaminados a la reducción de la generación, segregación en la fuente y todas las etapas de la gestión de los residuos, hasta su disposición final.
Reciclaje	Proceso que permite recuperar un producto a su consumo o producción, puede ser transformado para una utilidad diferente o continuar con la misma.
Recolección	Reunir los materiales ubicados en los puntos de acopio.
Relleno sanitario	Lugar destinado a la disposición final de desechos o basura, en el cual se toman múltiples medidas para reducir los problemas generados por otro método de tratamiento.
Residuo	Material o cuerpo no útil que surge luego de actividades o procesos humanos.
Residuos especiales	Residuos que debido a la cantidad, concentración o características físicas o químicas requieren de un manejo especial, por ejemplo: aceites usados, grasas, neumáticos usados, chatarra, ripio, etc.
Residuos peligrosos	Son aquellos que representan riesgo potencial para el ser humano o el ambiente por poseer alguna de las siguientes características: corrosivo, explosivo,

inflamable, patógeno, bio infeccioso, radiactivo, reactivo y tóxico.

Reutilizar

Es el retorno de un bien o producto a la corriente económica para ser utilizado como antes, sin cambio alguno en su forma o naturaleza.

Transporte

Movilización de materiales para ser llevados al punto de disposición final.

Tratamiento

Conjunto de procesos que permite hacer cambios en las características microbiológicas, químicas o físicas de los residuos y desechos sólidos, con el objetivo de reducir el impacto negativo en el medio ambiente, la contaminación y la vida humana y animal.

Valorización

Dar valor a los residuos, aprovechando las materias y subproductos que contienen.

Vector

Organismo vivo que puede transmitir patógenos infecciosos entre personas, o de animales a personas.

RESUMEN

La presente investigación pretende implementar un sistema de manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios. Dicha implementación permitirá reproducir este procedimiento en el resto de las centrales generadoras que utilicen combustibles fósiles o una forma de operación similar en el territorio nacional.

La metodología empleada se estructura en cuatro fases: la recopilación y revisión de la bibliografía referente al tema, el diagnóstico inicial de la situación de la empresa respecto al manejo actual de los residuos que ayudará a comprender las fallas de la gestión, la clasificación de los distintos tipos de residuos generados que servirá para el diseño de la propuesta de manejo integral y por último el desarrollo de la propuesta para definir y establecer los procesos que serán implementados.

Se beneficiará a la empresa generadora y a la población guatemalteca, debido a que, al implementar el plan de manejo integral de residuos en las instalaciones de la empresa, se optimiza la eficiencia de los procesos productivos, se disminuye el consumo de recursos, se eliminan de forma segura los residuos y se reduce la contaminación.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de manejo integral de residuos se refiere a las actividades destinadas a recolectar, utilizar, destruir y eliminar desechos, así como el control de estas actividades y su reglamentación. Tiene como objetivo el minimizar el impacto perjudicial sobre el medio ambiente y las personas y cuenta con diferentes procesos que se pueden aplicar a los residuos para llevar a cabo la gestión dentro de las que se encuentran: reciclaje, incineración, digestión anaerobia, compostaje y depósito en relleno sanitario entre otras.

En los últimos años a nivel mundial han venido en auge los programas de protección al medio ambiente, dentro de ellos se encuentra el manejo integral de residuos. En el año 2021 el Gobierno de Guatemala emitió el Acuerdo Gubernativo 164-2021, el cual es un reglamento para la gestión integral de los residuos sólidos generados en el territorio nacional, que dispone que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a prevenir la contaminación ambiental y mantener el equilibrio ecológico, para ello establece normas sanitarias y ambientales aplicables a la gestión integral de residuos (Acuerdo Gubernativo No. 164- 2021).

La generadora de energía eléctrica se encuentra ubicada en Puerto Barrios, opera desde 1998 y su forma de operación es a base de motores de combustión interna que utilizan búnker como combustible principal. Actualmente no se cuenta con un plan de manejo integral de residuos que establezca los procesos y actividades necesarias a seguir desde que se generan los residuos hasta su disposición final.

En las instalaciones no se realiza una clasificación de la mayoría de los residuos generados por las actividades tanto humanas, como de producción y de mantenimiento de equipos mecánicos y eléctricos. Esto supone un peligro pues se podrían mezclar residuos potencialmente peligrosos con otros normales y al mismo tiempo ocasiona un desaprovechamiento de ingresos por la comercialización de los residuos reciclables.

Lo expuesto anteriormente resalta la necesidad de implementar un plan de manejo integral de los residuos especiales que brinde la metodología necesaria para establecer los procesos que deben seguir todos los residuos desde su generación hasta su disposición final y se enfoque en la eliminación segura de los mismos, garantizando así el correcto manejo, tratamiento y disposición final de los residuos.

La investigación se compone de cuatro capítulos. En el primer capítulo se describirá un marco teórico y conceptual que incluirá conceptos básicos sobre las características y las etapas del manejo integral de residuos, la normativa aplicable en Guatemala sobre el tema y el impacto ambiental de los residuos sólidos. También se describirá la clasificación de los residuos especiales según su origen, composición y peligrosidad, los efectos nocivos que provocan y los diferentes tratamientos que pueden aplicarse a los residuos.

En el segundo capítulo se describen las fases en que se divide la investigación en las cuales se aplicará la metodología para el desarrollo de la propuesta del plan que será implementado en las instalaciones de la empresa. En el tercer capítulo se mostrarán los resultados de la información recopilada y las mediciones de campo, presentando datos sobre los residuos generados y procesos necesarios para llevar a cabo el manejo integral de los residuos especiales. Finalmente, en el cuarto capítulo se hace la discusión de los

resultados presentados en el capítulo anterior, se analizarán los resultados obtenidos a partir de la implementación de la propuesta y se mostrará que tanto se alcanzó a cumplir con los objetivos establecidos previamente.

2. ANTECEDENTES

El crecimiento desmedido de la población es un factor que ha impactado directamente en el manejo de residuos en todo el mundo. Según un informe realizado hace algunos años, se espera un incremento de desechos en el mundo de un 70 % para el año 2050 (Banco Mundial, 2018), debido a ello, el adoptar medidas que busquen revertir esta problemática se ha vuelto un tema de urgencia mundial ya que se hace necesaria una visión de responsabilidad social e institucional que garantice el correcto manejo de residuos.

En la investigación sobre el tema en la empresa Cyrgo SAS (Leiton y Revelo, 2017) aseguran que el incremento de los residuos sólidos y el problema ambiental que conllevan es debido en parte a la carencia de educación y responsabilidad ambiental para separarlos en un inicio y poder aprovecharlos como material en la fabricación de otros productos.

Un manejo integral adecuado contribuye al ahorro sostenible de los recursos, ya que permiten realizar procedimientos para la implementación de acciones respecto al manejo de dichos residuos desde que son generados hasta que son desechados, permitiendo estandarizar los procesos y las directrices a seguir en las instalaciones.

Sobre los factores que influyen respecto a los residuos y su manejo (Salas et al., 2018) postula que el crecimiento demográfico desmesurado, el incremento en el consumo de productos desechables y una disposición inadecuada, ha provocado mucha contaminación y enfermedades para las poblaciones cercanas. De igual manera plantea que se necesita involucrar a la población y educarla

respecto a temas ambientales logrando de esta manera hacerlos sentir parte de la problemática para que contribuyan al cuidado del ambiente.

En un estudio relacionado al manejo y gestión ambiental de los desechos sólidos (García et al., 2019) menciona que la preocupación social por la generación de desechos sólidos y su manejo en busca de mejorar la calidad de vida y el medio natural ha permitido crear conciencia en el cuidado del medio ambiente y crear leyes a favor de la protección ambiental. Para el estudio se evaluó la situación del entorno con respecto a las tres etapas de transición de los desechos, recolección, transporte y disposición final.

Al analizar el impacto medioambiental que genera un manejo de residuos (Bartra y Delgado, 2020) aseguran que una gestión inadecuada de residuos afecta la salud del mundo y agrava el cambio climático que afecta a todo el planeta. Al mismo tiempo determinan que, los planes de manejo integral deben vincular al Estado, la empresa privada y los ciudadanos y que el Estado debe realizar el control y garantizar que se cumplan las normas referentes a dichas gestiones.

Los residuos son los materiales que luego de su vida utilizable son descartados, la mayoría carece de valor económico y gran parte de ellos puede volver a aprovecharse con una correcta gestión. Las instituciones son las encargadas de concientizar sobre el manejo integral de los mismos, debido a que, un tratamiento inadecuado de éstos puede producir efectos nocivos al medio al cual son arrojados, provocando cambios en la forma de vida (Cedeño y Perero, 2020).

En el artículo sobre la gestión integral y la contaminación ambiental en las empresas industriales (Villanueva et al., 2020) señalan que las empresas

industriales en la actualidad generan graves daños al ecosistema y que no están implementando un plan de gestión ambiental que permita reducir el impacto de la contaminación. Es de suma importancia, además, incorporar un programa de gestión ambiental ya que permite reducir la contaminación causada con el proceso de fabricación de productos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los sectores público y privado la falta de una eficiente gestión de residuos que se relacione directamente con la población guatemalteca genera impactos negativos en el desarrollo de la educación ambiental, debido a que actualmente los hábitos de disposición de residuos producen un aumento en el volumen de éstos en vertederos, lo que conlleva un incremento de problemas ambientales, contaminación de suelo y agua debido a filtración de lixiviados y contaminación del aire debido a emisiones de gases de efecto invernadero.

3.1. Descripción del problema

La generadora de energía eléctrica en la que se basa el presente trabajo de investigación se encuentra ubicada en Puerto Barrios y opera desde 1998, su forma de operación es a base de motores de combustión interna que utilizan búnker (combustible fósil derivado del petróleo) como combustible principal. La institución carece de un plan de manejo integral de residuos que establezca los procesos y actividades necesarias a seguir desde que se generan los residuos hasta su disposición final, pasando por la recolección, acopio, transporte y aprovechamiento de éstos.

La mayoría de los residuos actualmente son tratados como desechos comunes y son transportados por una empresa privada hacia el vertedero municipal. Esto podría dar lugar a mezclar residuos potencialmente peligrosos con otros residuos normales, lo que supone peligro de enfermedades de la piel y respiratorias para el personal involucrado, además deriva en una acumulación de residuos y un menor espacio aprovechable en los contenedores al no clasificar

los residuos previamente. En menor medida existe el riesgo de contaminación del suelo y los afluentes de agua derivados de derrames de residuos aceitosos y de búnker que eventualmente podrían darse por descuidos o fallas en el proceso de almacenamiento y transporte.

Actualmente en las instalaciones no se realiza una clasificación de la mayoría de los residuos generados por las actividades humanas y de mantenimiento de equipos mecánicos y eléctricos, de igual manera, no se cuenta con contenedores etiquetados para los distintos tipos de residuos por lo que no se realiza una recolección de residuos reciclables, esto ocasiona un desaprovechamiento de ingresos por la comercialización de los residuos.

Con respecto al manejo de los residuos aceitosos y de búnker, éstos sí cuentan con manejo previo a su disposición final y el transporte fuera de las instalaciones lo realiza una empresa dedicada al tratamiento de este tipo de residuos, sin embargo, el personal interno involucrado en el manejo previo no utiliza el equipo de protección adecuado o lo hace de forma incorrecta. Esto supone un peligro a la salud del personal involucrado en estas labores.

En cuanto al almacenamiento de los residuos sólidos contaminados, sí se cuenta con contenedores específicos, pero muchas veces se utilizan de manera incorrecta incluso rebalsando los mismos. Por lo mencionado anteriormente se hace necesaria la implementación de un plan de manejo integral de los residuos especiales en la generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios, que brinde la metodología necesaria para garantizar los procesos que deben seguir todos los residuos desde su generación hasta su disposición final.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con PowerPoint.

3.2. **Formulación del problema**

En el análisis de los procesos de manejo de residuos actuales en la empresa surgen las inquietudes que sirven de guía para la elaboración de la presente investigación:

3.3. Pregunta central

- ¿Cómo debe realizarse el manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?

3.4. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la separación diferenciada que deben tener los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?
- ¿Cuál es la composición de los residuos en los centros de acopio en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?
- ¿Dónde debe ser el sitio de disposición final de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?
- ¿Cuáles son los efectos nocivos al ambiente según la naturaleza de los residuos en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?

3.5. Delimitación del problema

La investigación tendrá una duración de diez meses, se realizará durante el periodo comprendido entre enero y noviembre de 2023. Será realizada dentro

de las instalaciones de la empresa generadora de energía eléctrica en la ciudad de Puerto Barrios, Izabal.

Las áreas objeto de estudio del trabajo de graduación abarcan prácticamente la totalidad de las instalaciones de la empresa ya que será necesario el acceso a ellas para conocer la problemática actual sobre la gestión de residuos para buscarle una solución definitiva y funcional.

4. JUSTIFICACIÓN

Un sistema de manejo integral de residuos se refiere a las actividades destinadas a recolectar, utilizar, destruir y eliminar desechos, así como el control de estas actividades y su reglamentación. Tiene como objetivo minimizar el impacto perjudicial sobre el medio ambiente y las personas y cuenta con diferentes técnicas que se pueden aplicar a los residuos para llevar a cabo la gestión, dentro de las que se encuentran: reciclaje, incineración, pirólisis y gasificación, compostaje y depósito en vertedero entre otras.

La línea de investigación para el presente trabajo pertenece al área ambiental y está relacionada a la gestión y tratamiento de residuos, específicamente al inciso b, tecnologías y diseños de sistemas para el tratamiento y gestión de residuos. El aporte será la identificación y cuantificación de los residuos especiales generados en la producción de energía eléctrica por una empresa generadora que utiliza combustibles fósiles para su operación.

El producto del desarrollo de este trabajo será la gestión integral de los residuos especiales, dentro de la cual dichos residuos pasarán por ciertos procesos como clasificación, separación, recolección y disposición final. Los beneficiados serán la empresa generadora y la población guatemalteca debido a que al implementar la gestión integral de residuos se les aplican a éstos los procesos correspondientes, se optimiza la eficiencia de los procesos productivos, se disminuye el consumo de recursos, se eliminan de forma segura los residuos y se reduce la contaminación.

El trabajo es pertinente debido a que representará un beneficio en la reducción de residuos ya que al integrar procesos de control se garantizará que no llegarán sustancias peligrosas al vertedero de la localidad, logrando así reducir la huella ecológica. La maestría al encontrarse entre el marco de energía y ambiente involucra todo análisis profesional dentro del buen funcionamiento del equipo, en donde habrá un beneficio ambiental y aprovechamiento eficiente de los recursos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un plan de manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios.

5.2. Específicos

1. Determinar la separación diferenciada que deben tener los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios.
2. Determinar la composición de los residuos en los centros de acopio en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios.
3. Evaluar el sitio de disposición final de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios.
4. Identificar los efectos nocivos al ambiente según la naturaleza de los residuos en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente trabajo pretende implementar un sistema de manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios. La implementación de un sistema de manejo integral de los residuos especiales generados en la empresa en estudio permitirá reproducir este procedimiento en las demás centrales generadoras que utilicen combustibles fósiles para su operación en el territorio nacional.

Para proceder con la implementación del sistema de manejo integral de residuos se necesita realizar los siguientes procesos: separar los residuos en contenedores específicos, realizar la recolección de los residuos, concentrar los residuos en centros de acopio, clasificar los residuos según su naturaleza y peligrosidad y destinarlos a su disposición final según su clasificación previa. Con la implementación del sistema de manejo integral de residuos especiales en la empresa generadora, al mismo tiempo que se minimiza un problema ambiental al reducir la contaminación, se optimiza la eficiencia de los procesos productivos y se logra un ahorro en el consumo de recursos.

Debido a que dentro de las áreas de estudio de la Maestría en Energía y Ambiente se encuentra el área ambiental, este proyecto de manejo integral de residuos contribuye a reducir la contaminación asegurando eliminar de forma segura los residuos especiales de la empresa generadora en estudio. Al ser un profesional con conocimientos en la ingeniería mecánica y del área ambiental, este trabajo aborda específicamente la gestión de los residuos generados principalmente por motores de combustión utilizados para la generación eléctrica,

por lo que se podrá dar una propuesta para el manejo integral de estos residuos especiales de la manera correcta.

7. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta el desarrollo de las bases teóricas que sirven de fundamento a la presente investigación y que guardan relación con la propuesta que se pretende implementar como objetivo principal.

7.1. Manejo integral de residuos sólidos

Por manejo integral denotamos a un sistema compuesto por varios procesos que tiene como objetivo final la reducción de los residuos generados y los que se envían a disposición final por medio de métodos de optimización aplicados en las diferentes etapas de los residuos, logrando así, beneficios no solo ambientales sino también económicos y sociales en la institución, industria o región donde se implemente, debido a que se minimiza la contaminación del ambiente y se mantiene el equilibrio ecológico.

Podemos definirlo también como el manejo de acciones destinadas a realizar el control de los residuos, abarcando desde que se generan hasta que son desechados, con el objetivo de sacar el máximo provecho de cada residuo, para minimizar impactos tanto al ambiente como a la salud humana (Morales, 2021). El manejo integral busca de alguna manera mantener el equilibrio ambiental minimizando la contaminación generada por la gestión inadecuada que se le da a los residuos en todas partes.

Así pues, por manejo integral nos referimos a la implementación de las actividades encaminadas a solucionar la problemática relacionada con los residuos valiéndose de diversos procesos en las diferentes etapas que atraviesan

los mismos, desde la etapa de generación hasta la de disposición final, pasando por las etapas intermedias como almacenaje y reciclado entre otras.

7.2. Características del manejo integral de residuos

Existen varios factores que caracterizan el manejo integral de residuos, por ejemplo, se compone de varias acciones, métodos o procesos que se integran para asegurar que se les dé a los residuos el máximo aprovechamiento posible bien sea reutilizándolos o destinarlos para otros procesos a través del reciclaje o compostaje. Otra característica por mencionar es que uno de los objetivos de implementar un manejo integral es ayudar a prevenir o minimizar la contaminación ambiental reduciendo la cantidad de residuos que llegan a los vertederos.

Como lo menciona Guerra (2018) la gestión integral debe procurar resolver la causa fundamental del problema intentando un cambio en los modelos no sostenibles de consumo y producción. Esto se logrará reduciendo al mínimo los residuos, logrando la mayor reutilización de los productos y procurando que los residuos se eliminen de una manera ecológicamente racional entre otros aspectos.

7.3. Etapas del manejo integral de residuos

El ciclo de vida de los residuos está compuesto por las distintas etapas que éstos atraviesan a lo largo de su existencia, dentro de las etapas que se pueden mencionar en la implementación de un manejo integral de residuos están: generación, almacenamiento, recolección, transporte, reutilización, procesamiento, reciclado y disposición final entre otras. Se refieren a los procesos por los que deben pasar los residuos para su adecuada gestión en

busca de aprovecharlos de la mejor manera para minimizar costos y evitar daños al ambiente.

Según Pérez (2017) es de importancia conocer este ciclo de vida pues nos permitirá determinar de buena manera el momento en que podremos actuar en el manejo y gestión de los residuos y también nos hará tomar conciencia sobre nuestra responsabilidad ciudadana. Podemos entonces afirmar que el manejo de residuos se desarrolla en cinco fases: generación, almacenamiento, recolección y transporte, clasificación y recuperación y, por último, tratamiento y disposición final.

7.3.1. Generación

Un residuo se genera desde el momento en que el producto principal ha cumplido su función y queda el material restante, el cual ha perdido su utilidad, eso es a lo que llamamos residuo. Estos materiales son el resultado de los distintos procesos de fabricación, utilización y consumo, carecen de valor económico y normalmente nos referimos a ellos como basura o desechos.

La primera etapa del ciclo vital de los residuos es cuando son generados como material sobrante en alguna actividad determinada (González, 2020). Como afirma Pérez (2017) los residuos comienzan a generarse desde la producción de los bienes, dentro de los que se incluyen materiales para envases y embalajes, asimismo es el consumidor quien decide el momento en que desecha el producto.

Podemos afirmar que el proceso de generación de residuos empieza desde que se extrae la materia prima para la producción de algún producto o material dando inicio así al ciclo de vida de los residuos, ya que es aquí donde

se producen los primeros desechos debidos a la fabricación de los productos principales que serán utilizados en alguna actividad.

7.3.2. Separación

Es de importancia separar los residuos ya que facilita la tarea de clasificación posterior. Una buena práctica en los establecimientos es colocar diferentes cestos o contenedores destinados a almacenar residuos según su tipo ya sean inorgánicos, orgánicos, plástico, papel, vidrio, entre otros. Esta práctica ayudará mucho para conocer qué materiales pueden ser reutilizados y cuáles no, por otro lado, se evita de esta manera mezclar todo tipo de residuos ya que de lo contrario se irán directo a un vertedero y no se podrán aprovechar para usos posteriores.

Según Guerra (2018) la separación de los residuos promueve entre otros beneficios la educación ambiental, la comercialización de residuos reciclables, el involucramiento de las personas desde el hogar y la bioseguridad en la operación de las distintas entidades. Vemos pues, que aparte del beneficio ambiental y económico, la separación de residuos brinda también un beneficio social pues involucra que todos participen de manera consciente.

7.3.3. Recolección

Consiste en recoger y trasladar los distintos contenedores de residuos ubicados por todo el establecimiento, ya sea manualmente o en vehículos destinados para ese fin, hacia los centros de acopio o almacenamiento central para su posterior clasificación. Es un proceso muy importante dentro del manejo integral de residuos, debido a que, de realizarse en forma inadecuada podría mezclarse el contenido de los recipientes o también se podrían esparcir los

residuos en el interior de las instalaciones por lo que se debe efectuar con cuidado y dedicación.

Respecto al tema Ludueña (2021) menciona que el proceso de recolección contempla el retiro de los residuos desde el lugar de origen hasta el de almacenamiento temporal, realizado por personal interno. Por lo que notamos que el proceso de recolección se realiza internamente en las distintas instituciones y conlleva un cuidado especial para evitar que los residuos ya dispuestos en contenedores lleguen a mezclarse o a esparcirse por las instalaciones. En este proceso es recomendable que el personal involucrado utilice su equipo de protección personal para evitar cualquier contacto directo con los residuos.

7.3.4. Clasificación primaria y secundaria

El proceso de clasificación, llamado también caracterización de los residuos consiste como su nombre lo indica, en clasificar a los residuos para recuperar los que aún pueden tener valor económico o bien pueden servir como materia prima para otros procesos productivos como la fabricación de otros productos por ejemplo: en este proceso también se ven las alternativas que pueden darse a los residuos que no se utilicen para lo mencionado anteriormente, así los orgánicos pueden ser usados para compostaje y los peligrosos se destinarán para su tratamiento y disposición final.

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN (2018) se puede dar una clasificación primaria y una clasificación secundaria a los residuos sólidos. Así dentro de la primaria se encuentran los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos. En la clasificación secundaria se encuentran los residuos de metal, vidrio, papel, plástico y multicasas.

La clasificación es una caracterización que hacemos de los residuos para valorarlos y ver alternativas de tratamiento, con esto se evita su desperdicio en vertederos o terrenos baldíos. Es de alta importancia clasificar los residuos ya que se alarga su ciclo de vida y con ello se contribuye de forma positiva al ambiente y de la misma forma se mejora la economía de los hogares, empresas e instituciones al ahorrar costos y por la venta de los mismos.

7.3.5. Disposición final (planta de tratamiento)

Se trata de la última etapa del manejo integral, consiste en darle a los residuos un lugar para su almacenamiento permanente en condiciones adecuadas y bajo control en rellenos sanitarios diseñados y aprobados para esa finalidad. De esta manera garantizamos una disposición final segura de los residuos evitando así la contaminación del aire, el suelo y el ambiente en general.

Según Ludueña (2021) es la última fase de la gestión integral y comprende localizarlos permanentemente, usando para ello rellenos sanitarios, fosas de digestión, comercialización o reciclaje. Por su parte Ushiñahua (2019) menciona que aquellos residuos que no pueden usarse para otros procesos deben almacenarse en depósitos autorizados según sus características para eliminar los daños que puedan ocasionar.

En esta etapa final del manejo integral lo que se busca es que los residuos que ya no son aprovechables sean sometidos a procesos de tratamiento para su eliminación o almacenados en un lugar permanente como un relleno sanitario, esto tiene la finalidad de evitar que los residuos sean foco de contaminación ambiental y produzcan daños que son perfectamente evitables.

En la Figura 2 se aprecia el esquema de las distintas etapas que componen una gestión integral desde que son generados hasta la disposición última.

Figura 2. Esquema de una gestión integral de residuos



Fuente: DIGI/USAC (2019). *Esquema de la gestión integral de residuos y desechos sólidos*.

Consultado el 14 de septiembre de 2022. Recuperado de

<https://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/25-desechos-s%C3%B3lidos>.

7.4. Normativa vigente (Acuerdo Gubernativo 164-2021)

El Acuerdo Gubernativo 164-2021 es un reglamento relativo a una gestión integral que compete de forma conjunta a las municipalidades y a los Ministerios de Ambiente y de Salud. El objetivo del Reglamento es establecer las normas sanitarias y ambientales aplicables a una gestión integral de residuos comunes

sólidos, asegurando proteger la salud y de esa manera evitar la contaminación del ambiente (Presidencia de la República, 2021).

Además, da instrucciones al Ministerio de Ambiente para que coordine y elabore guías pertinentes para que los planes de gestión integral sean desarrollados cumpliendo las normas, regulaciones y especificaciones técnicas aplicables al tema. Establece lineamientos y normas que deberán cumplir las personas, empresas, vehículos e instalaciones para llevar a cabo los procesos correspondientes a la gestión integral.

7.5. Importancia del manejo integral de residuos

La implementación de un manejo integral es de vital importancia para todas las instituciones tanto por motivos económicos como ambientales y sociales. Al disponer de una manera controlada y segura los residuos, se tiene la opción primeramente de abaratar costos por la venta y reutilización de materiales de reciclaje y se contribuye con el ambiente disminuyendo el total de residuos que llegarán a los vertederos, lo que tendrá ventajas sociales ya que la población se verá beneficiada por menor contaminación y basura en las calles.

Según Escobar (2020) la gestión de residuos es de importancia en nuestra moderna sociedad porque la mayoría de los bienes tiene un tiempo de vida establecido, así como la gran variedad de materiales que se usan en su fabricación. En este sentido, la gestión integral busca reducir el impacto debido al consumo de recursos y evitar que los residuos creen un problema mayor asegurando su manejo adecuado, así como su final disposición.

7.6. Beneficios del manejo integral de residuos

Dentro de los beneficios del manejo integral destacan sobre todo los ambientales y financieros, por ejemplo: disminución de residuos generados y lógicamente de los residuos depositados en vertederos, lo que conlleva una mejora ambiental considerable, mejora la educación ambiental de las personas involucradas en los procesos del manejo integral, reutilización de materiales, disminución de los costos, mejora en la imagen ambiental y social de las instituciones involucradas, entre otras.

Como lo menciona Pérez (2017) dentro de los beneficios de un programa de gestión integral se encuentran la reducción de la contaminación, ahorro de recursos, aumento de credibilidad y confianza con autoridades y ciudadanos, mejora en la calidad de los lugares de trabajo y mejora de la imagen de la empresa. Los beneficios son muchos principalmente ambientales para la población en general y financieros para las empresas particularmente ya que no solo se estaría ayudando al ambiente sino también a sí mismas al lograr ingresos económicos adicionales por la venta de materiales reutilizables o disminuir costos por la reutilización de los mismos residuos.

7.7. Impacto ambiental de los residuos sólidos

Un manejo ineficiente de los residuos tiene consecuencias y repercusiones dañinas para el ambiente y la salud principalmente, al existir más residuos, es mayor la probabilidad de que finalicen en algún vertedero no controlado incrementando de esa forma las enfermedades que la contaminación trae consigo. Este tipo de problemas son los que actualmente se buscan solucionar en nuestras sociedades, donde aún no se le da la importancia debida al manejo integral.

Como lo afirma Morales (2021) el manejo inadecuado de los residuos trae consigo una serie de consecuencias negativas en la vida de la población y el ecosistema. La contaminación ambiental es la consecuencia directa de ello llegando a contaminar el agua, aire y suelo por la descomposición de los residuos. El ejemplo claro de un mal manejo de residuos lo tenemos en los vertederos no controlados, donde vemos caracterizadas las graves consecuencias que esto trae a todas las personas y al ambiente principalmente.

En la Figura 3 podemos tomar una idea del impacto ambiental producido por un vertedero no controlado, dónde los residuos son depositados a cielo abierto sin ningún tipo de gestión. En este tipo de vertederos, no sólo se pone en riesgo el medio ambiente a través de las filtraciones, malos olores y riesgos de incendios sino además las vidas de las personas involucradas en las distintas labores dentro del vertedero, porque aparte de todos los riesgos mencionados anteriormente se le suma el tener contacto directo con los residuos de todo tipo que llegan a parar a dicho lugar de final disposición.

Figura 3. **Vertedero de desechos sólidos en Ciudad de Guatemala**



Fuente: DIGI-USAC (2019). *Vertedero de desechos sólidos Guatemala*. Consultado el 14 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/25-desechos-s%C3%B3lidos>.

7.8. Residuos especiales

Son denominados así los residuos que contienen materiales de todo tipo, incluyendo los plásticos, cauchos, vidrios, eléctricos y los producidos por las diferentes industrias, laboratorios, construcción, veterinarios, entre otros. Algunos de ellos por sus características, naturaleza o composición no deben manejarse de la misma forma que los residuos comunes por lo que existen empresas que prestan servicios de recolección únicamente para residuos de este tipo.

Como afirma Escobar (2020) se les coloca en la categoría de especiales por la alta diversidad de materiales que contienen, por ejemplo, electrodomésticos, electrónicos, equipos de laboratorio entre una amplia variedad. Según Ushiñahua (2019) son los que por su cantidad o tipo necesitan manejarse de forma particular, por ejemplo, desechos de laboratorio, de veterinarias, de espectáculos de gran magnitud y de derribo de antiguas construcciones.

El término residuo especial engloba los residuos sólidos producidos en los procesos de las industrias de químicos, petróleo, automotriz, cementera, entre otras, asimismo hace referencia a los residuos electrónicos, médicos, y los que no pueden ser manejados, tratados o dispuestos normalmente por los servicios de recolección debido a sus condiciones.

7.9. Clasificación de los residuos especiales

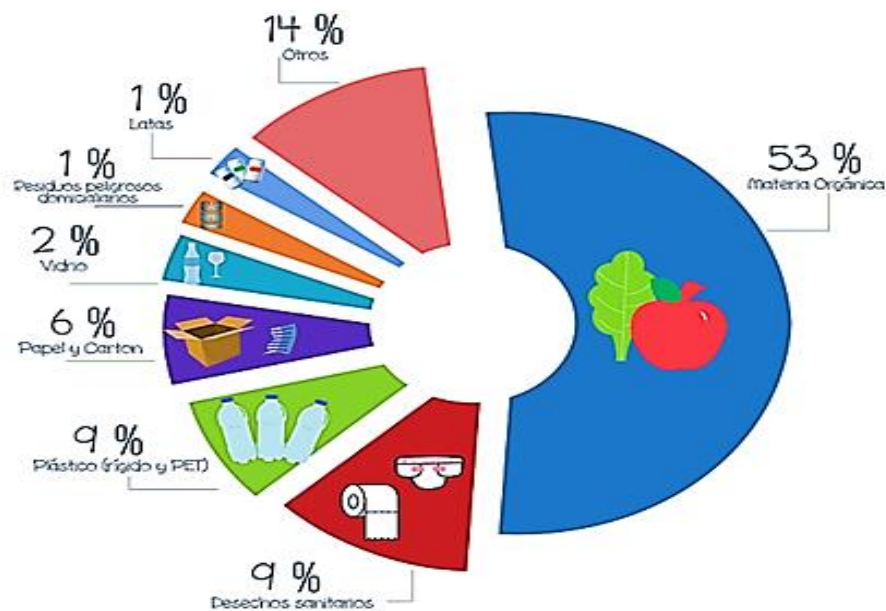
Existen varios criterios para clasificar los residuos sólidos, tres de los más usados son los siguientes: según su origen, según su composición y según su peligrosidad. El origen se refiere al lugar dónde son generados los residuos, por ejemplo, comercios, industrias, talleres, entre otros. La composición indica el tipo de materia que contienen, pudiendo ser orgánicos e inorgánicos. La peligrosidad hace referencia al riesgo que representan a la salud y al ambiente, los residuos pueden ser inertes, peligrosos y no peligrosos.

Según el MARN (2018) en Guatemala, la composición estimada de los residuos comunes es de 53 % orgánicos, 9 % desechos sanitarios, 9 % plásticos, 6 % papel o cartón, 2 % vidrio, 1 % residuos peligrosos, 1 % latas y 14 % de otros tipos. El estudio de la composición de estos residuos sólidos debe ser realizado

con base a una metodología confiable que identifique los tipos más generados y valorizables, esto permitirá determinar la clasificación a considerar.

En la Figura 4, vemos la manera en que están compuestos los residuos comunes en Guatemala.

Figura 4. **Composición general de los residuos en Guatemala**



Fuente: MARN (2018). *Guía para la identificación gráfica de los residuos sólidos comunes*.

7.9.1. Según su origen

Los residuos sólidos se pueden clasificar según el lugar dónde éstos son generados, pudiendo existir varias fuentes como lo son hogares, talleres, instituciones de estudio o gobierno, comercios, empresas, hospitales, obras en construcción, fincas ganaderas, etc. En la presente investigación nos

enfocaremos en dos tipos de residuos según la fuente, comerciales e industriales. De acuerdo con Barreto (2006) existen una gran variedad de clasificaciones para los residuos sólidos, la selección de un método en particular depende de lo que se busque en cada caso. De esta forma los residuos sólidos se pueden clasificar según su origen.

7.9.1.1. Residuos comerciales

Llamados así los residuos que son producto de las actividades comerciales, como restaurantes, hoteles, almacenes, oficinas y edificios. Generalmente se tratan de residuos comunes pues en dichas actividades no se realizan procesos de producción o manufactura por lo que su composición es similar a la de los residuos domésticos, como pueden ser, restos de comida, papel, plásticos, vidrios y latas principalmente. De acuerdo con Morales (2021) los residuos comerciales son generados a causa de las actividades propias del comercio y se constituyen principalmente de latas, papel, plástico, restos de aseo personal, entre otros.

7.9.1.2. Residuos industriales

Los residuos industriales son los producidos por las distintas actividades de las industrias entre ellas la química, alimenticia, electrónica, electricidad, pesquera, etc. Dentro de ellos podemos encontrar algunos que debido a sus características, naturaleza, dimensiones o peso necesitan de un manejo especial y por ello se requiere que sean manejados por empresas específicas de recolección y tratamiento. Según Agustín (2011) son cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad, de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad.

7.9.1.2.1. Residuos de aceites

Dentro de esta clasificación se enumeran los aceites que ya se hayan utilizado y son producto del recambio en el proceso de mantenimiento de máquinas, herramientas, motores eléctricos o de combustión interna, entre otros. Se trata de aceites usados, los cuales necesitan almacenarse en contenedores especiales destinados para ese fin, éstos deben disponer de sistemas de contención de derrames y deberán estar protegidos de la intemperie.

Se incluyen dentro de esta clasificación a aquellos aceites que ya no son aptos para su uso original, como “aceites industriales o de lubricación, de origen mineral, natural o sintético, aceites usados de motores de combustión, aceites de cajas de cambios, aceites lubricantes, aceites para turbinas y aceites hidráulicos, excluidos los aceites de cocina usados” (Sánchez, 2022, p.18).

7.9.1.2.2. Residuos electrónicos

Comprenden los equipos de aparatos electrónicos cuya vida útil ha llegado a su fin, dentro de éstos podemos mencionar televisores, electrodomésticos, computadoras, teléfonos celulares, cámaras digitales, medidores digitales, entre otros. Dichos equipos se componen de varios elementos en su interior como plástico, vidrio y algunos metales preciosos como el oro, los cuales son recuperables.

Asimismo, poseen cierta cantidad de materiales peligrosos que necesitan un tratamiento especial para evitar impactos negativos. Los residuos eléctricos y electrónicos son aquellos aparatos que luego de finalizar de utilidad de vida ya

sea por uso, deterioro u otras razones son convertidos en residuos. Comprenden las piezas, partes y periféricos de algunos aparatos (Peruano, 2012).

7.9.2. Según su composición

En esta clasificación, los residuos sólidos se agrupan por su composición química y se dividen en residuos orgánicos (biodegradables) y en residuos inorgánicos (no biodegradables). Las principales diferencias entre ambos es que mientras los orgánicos provienen de fuentes naturales y sufren un proceso de descomposición que los vuelve a integrar al ambiente, los inorgánicos son de origen sintético y su proceso de descomposición es demasiado lento por lo que se les debe aplicar otro tipo de tratamiento para volverlos a integrar al ambiente.

Debe establecerse como base una clasificación primaria, residuos orgánicos e inorgánicos; sin embargo, podrá ampliarse a una clasificación secundaria, donde deba utilizarse mayor número de contenedores, por ejemplo: papel, plástico, cartón, metal, multicapas y vidrio. Esto brinda una calidad superior en el proceso de recuperar los residuos (MARN, 2018).

7.9.2.1. Residuos orgánicos

Son los residuos caracterizados porque pueden degradarse de forma rápida y convertirse en otro tipo de materia orgánica ya que su origen es biológico, derivan de fuentes orgánicas como plantas y animales, por ejemplo, restos de alimentos, plantas, hojas, cáscaras, excretas de animales, huesos, semillas. Debido a su característica principal de descomponerse e integrarse de nuevo a la naturaleza, son ideales para los procesos de fabricación de compostaje o biogás.

Según Morales (2021) son los desechos biológicos cuya descomposición sucede de forma natural provocando una liberación de gases como dióxido de carbono y metano y sus restos se pueden aprovechar como mejoradores del suelo a través de compostaje para obtener abono. Por lo anterior, vemos que estos residuos pueden tener un doble aprovechamiento, tanto para procesos productivos industriales, así como agrícolas.

7.9.2.2. Residuos inorgánicos

Se refiere a los residuos que no se degradan de manera natural o lo hacen de manera demasiado lenta, pudiendo tardar cientos de años en algunos materiales debido a que su origen es mineral o sintético, dentro de éstos se encuentran los plásticos, vidrio, metales y materiales de construcción. Debido a que son materiales de difícil descomposición, son ideales para aprovecharse por medio del reciclaje. Para Ludueña (2021) son aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre éstos se encuentran papel, plástico, chatarra, telas y radiografías.

7.9.3. Según su peligrosidad

Existe otro tipo de clasificación de los residuos sólidos y es según su peligrosidad o, lo que es lo mismo, el peligro que estos residuos representan para la salud y el medio ambiente. Debido a ello se requiere de manejo y tratamiento especial atendiendo a sus características de toxicidad, reactividad, inflamabilidad, entre otras. Dentro de esta clasificación los residuos se dividen en no peligrosos y peligrosos.

Existe un sistema que nos facilita seleccionar a los residuos por su tipo de riesgo y pueden ser: residuos no peligrosos, los que podemos manipular porque

no tienen componentes que representen riesgos para el ambiente o la salud y residuos peligrosos, todos los que sí afectan al medio ambiente o a la salud (Ministerio de Salud, 2006).

7.9.3.1. Residuos no peligrosos

Son los residuos sólidos que por su composición y características no representan riesgos para la salud o el medio ambiente, son fáciles de manipular y reutilizar. Los residuos de este tipo generados en las actividades industriales son los que contienen restos de papel, cartón, plástico, metal, entre otros. Son aprovechables para procesos de reciclaje por lo que se les llama valorizables. Según Morales (2021) se refiere a los desechos que, por su caracterización o manejo, no representan un riesgo significativo para la salud humana, o del medio ambiente, por ejemplo, el papel y cartón.

7.9.3.2. Residuos peligrosos

Son los residuos que representan un alto riesgo para la salud y el medio ambiente debido a que la mayoría de ellos contienen sustancias tóxicas, corrosivas, inflamables o reactivas. Por ello necesitan ser tratados y dispuestos de manera especial. Su descarte incorrecto puede provocar contaminación del suelo y aguas subterráneas.

Como afirma Escobar (2020) este tipo de materiales se encuentran tanto en residuos industriales como en residuos domiciliarios, por ejemplo: pilas de todo tipo, aceites y lubricantes, focos y lámparas, pinturas, solventes, insecticidas, productos de limpieza, medicamentos vencidos, jeringas y afeitadoras.

7.10. Tratamiento de residuos

El tratamiento se refiere al método utilizado en los residuos sólidos con el objetivo de darles a éstos reutilización, ya sea para producir nuevos productos a partir de la materia prima recuperable, aprovechar su poder calorífico para producir calor, sus características químicas para producir abonos y gases combustibles o darles disposición final de manera controlada sin provocar daños al ambiente.

“El tratamiento de los residuos tiene como objetivo principal reducir la contaminación y los efectos nocivos sobre la salud. Las alternativas consideradas deben optar por la solución más adecuada a las condiciones técnicas y socioeconómicas, asimismo analizar los aspectos ambientales” (Flores, 2018, p. 17).

Existen distintos métodos de tratamiento de los residuos sólidos, por ejemplo, incineración, compostaje, reciclaje y disposición en rellenos sanitarios. Para decidir qué método aplicar se deben tomar en cuenta diversos aspectos como la composición y tipo de residuos, el espacio disponible y los recursos técnicos con que se cuenta para su realización.

7.10.1. Incineración

Se refiere al proceso de combustión de los residuos sólidos, llevado a cabo con la finalidad de reducir el volumen de éstos y de aprovechar el calor generado para obtener productos utilizables, como el vapor, con el que se puede alimentar una caldera para generación eléctrica o utilizarlo directamente en procesos productivos. “Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua, y

rechazos no combustibles. Se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de la combustión” (SEMARNAT, 2002, p. 62).

El método de tratamiento por incineración es una buena alternativa para disponer de los residuos combustibles y tiene algunas ventajas como reducir el volumen de residuos por lo que no se necesita de mucho espacio para disponer de ellos, el proceso es controlable con lo que se puede garantizar un bajo nivel de emisiones y además brinda un subproducto que también es aprovechable. Como desventajas se pueden mencionar la alta inversión económica y gastos de funcionamiento.

7.10.2. Compostaje

El compostaje utiliza los residuos orgánicos o biodegradables como material principal en un proceso de fermentación en ciertas condiciones de temperatura, humedad y nutrientes entre otras y es debida a la acción de microorganismos que se alimentan de algunos compuestos de los residuos produciendo reacciones químicas que ayudan a formar un material rico en nutrientes utilizado para mejorar la fertilidad del suelo y abonar plantas.

“Los principales agentes responsables de la descomposición y transformación de la materia orgánica son las bacterias. Esta biodegradación es un proceso natural de trámite lento que puede llevarse a cabo tanto en un medio natural como en una instalación artificial” (Pérez, 2017, p. 28).

Al utilizar este método de tratamiento se obtienen muchos beneficios tanto ambientales como económicos por la reducción de los residuos y la producción de abono natural que puede utilizarse para alimentar y nutrir el suelo, de la misma

manera puede comercializarse para su venta, además de que asegura la transformación de los residuos orgánicos de una manera confiable.

En la Figura 5 se observa una planta de compostaje en Chile, podemos notar la disposición de los residuos orgánicos y las dimensiones de la planta.

Figura 5. Planta de compostaje en Purranque, Chile



Fuente: González, C. País Circular (2022). *Mega planta abierta de compostaje en Chile*. Consultado el 12 de octubre de 2022. Recuperado de <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/zero-corp-la-unica-planta-abierta-de-compostaje-a-gran-escala-en-chile-funciona-en-el-sur/>.

7.10.3. Reciclaje

Es el proceso de utilizar algunos residuos como materia prima para la fabricación de otros productos, es decir, se aprovecha la parte recuperable de los

residuos como metales, cartón, papel, vidrio, plásticos, entre otros. Este ciclo puede repetirse una y otra vez ya que las propiedades y características de los materiales se mantienen, lo que permite alargar al máximo la utilidad de los mismos. Esta actividad integra a un ciclo ya sea natural, comercial o industrial de nuevo a los residuos generados, por medio de un proceso que recupera y transforma dichos residuos de manera limpia y adecuada (Barradas, 2009).

Es el proceso más conocido de tratamiento, ya que se le ha dado bastante difusión y existen muchas campañas de reciclaje prácticamente en todas partes del mundo que involucran a las personas para que reutilicen los productos y materiales o bien que los depositen en contenedores específicos para que luego sean trasladados a centros de reciclaje donde serán procesados. A través del reciclaje evitamos que materiales útiles se desperdicien en basureros se incineren o sean enterrados.

7.10.4. Relleno sanitario

Se refiere a la disposición final de los residuos en un espacio destinado específicamente para ese objetivo. El proceso consiste en mezclar, esparcir y compactar los residuos sólidos, luego de ello se sepultan bajo capas de tierra y un revestimiento impermeable que evita filtraciones al suelo y los mantos acuíferos por el proceso de descomposición de la materia orgánica. Estos sitios están diseñados para aprovechar el biogás producido por esa descomposición y al mismo tiempo evitan la contaminación ambiental debido a ella.

En esta técnica a diario se mezclan los residuos, son esparcidos en delgadas capas, compactados y sepultados bajo capas de tierra o algún tipo de espuma plástica. Consiste en excavar el suelo y recubrirlo con un revestimiento

de plástico o arcilla que reduce infiltraciones y sobre esta excavación se disponen y distribuyen los residuos (Jaramillo, 2002).

Estos rellenos se utilizan en nuestros países para darle un destino final a las cantidades enormes de residuos sólidos generados y de esta manera reducir la contaminación atmosférica, del suelo y del agua subterránea, logrando en algunos casos beneficios por el biogás aprovechable para varios fines, producto de la descomposición de la materia orgánica.

7.11. Composición de los residuos

Los residuos sólidos pueden dividirse por su composición química en biodegradables y no biodegradables. Los biodegradables son los que provienen de fuentes orgánicas y se descomponen eventualmente, integrándose de nuevo al entorno natural. Los no biodegradables provienen de fuentes sintéticas o de materiales que tardan mucho tiempo en descomponerse, este tipo de residuos son ideales para reciclar.

Según Flores (2018), los residuos sólidos se dividen en biodegradables y no biodegradables, ya que poseen distinta composición química, por lo que la diferencia entre ambos es el tiempo en que se degradan o integran de nuevo a la naturaleza. Se debe considerar la composición de dichos residuos para así aplicarles el tratamiento adecuado, por ejemplo, los biodegradables se pueden utilizar en los procesos de compostaje y producción de biogás en rellenos sanitarios y los no biodegradables en los procesos de incineración y reciclaje. De esta forma aseguramos la adecuada gestión integral y la sostenibilidad ambiental que deriva de ella.

7.11.1. Propiedades físicas

Son las propiedades que se basan principalmente en la estructura de los residuos, son visibles y medibles, entre ellas podemos mencionar, tamaño, densidad, contenido de humedad y peso específico. Nos sirven principalmente para determinar qué tratamiento se le podrán aplicar a los residuos y qué tipo de riesgo representan para el medio ambiente.

Dentro de las propiedades físicas de los residuos, las más importantes son “la densidad o el peso específico sirven principalmente para determinar el volumen ocupado por una masa de residuos y calcular las necesidades de espacio en el transporte y almacenaje” (Ríos, 2009). Tomadas en consideración para calcular el área necesaria de disposición de residuos, el volumen que ocupan y en qué forma se transportarán, estas propiedades son además determinantes para la toma de decisiones en cuanto al manejo y la final disposición de los residuos.

7.11.2. Propiedades químicas

Se refieren a las características internas o moleculares de la materia de la que están conformados los residuos sólidos. Deben considerarse, al igual que las propiedades físicas, para determinar el manejo y tratamiento aplicable a los determinados residuos, por ejemplo, si van a utilizarse como combustible o en procesos de compostaje y descomposición en rellenos sanitarios.

“Son importantes para conocer la capacidad de estos residuos para ser procesados y/o recuperados, ya sea para estudiar la viabilidad de la incineración, las posibilidades de compostaje o en depósito en vertedero autorizado, con el fin de obtener biogás” (Avendaño, 2003). Tanto las propiedades químicas como las

físicas deben considerarse juntamente para tener la información completa de todas las características con las que contamos, esto nos ayudará a decidir el tratamiento y asegurar una gestión adecuada.

7.11.3. Propiedades biológicas

Existen algunos elementos o componentes de los residuos que no son deseables cuando se quiere aplicar un tratamiento de digestión o descomposición para la obtención de biogás. Únicamente son aptos para este proceso de tratamiento los residuos biodegradables y por lo tanto los que no poseen esta propiedad no serán de utilidad.

“La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los desechos sólidos es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes” (Tchobanoglous, 1994). Las propiedades biológicas son importantes para la tecnología de la digestión aerobia/anaerobia en la transformación de residuos en energía y en productos finales beneficiosos. El proceso anaerobio implica la descomposición biológica de residuos alimenticios en productos finales como: dióxido de carbono, metano y otros (Ríos, 2009).

Debido a que, para la realización del proceso anaerobio es necesaria la descomposición biológica, y que los residuos biodegradables son los usados para obtener productos utilizables como biogás, es necesario aprovechar esta parte orgánica de los residuos que son los más comunes de encontrar ya que son producidos en todos los hogares.

7.12. Efectos nocivos

Todo residuo, no importando su origen o composición, provoca un impacto en el ambiente y por lo tanto tiene efectos nocivos en el entorno, por otra parte, todo proceso o actividad productiva genera residuos por lo que deben analizarse los efectos nocivos que provocan y como deben clasificarse y tratarse. Los residuos pueden contaminar el ambiente de muchas maneras, pudiendo alterar el suelo, el aire y los mantos freáticos.

De la misma forma pueden provocar contaminación visual, y su descomposición genera moscas, gusanos y gases tóxicos. Los residuos “tienen diferentes efectos potenciales sobre el ambiente, lo cual hace necesario que cada uno de estos sea manipulado y tratado de forma distinta y adecuada, a modo de evitar en la medida de lo posible incidencias negativas sobre el entorno” (Recinos, 2018, p. 31).

7.12.1. Contaminación de suelos

Los lixiviados, líquidos formados por la mezcla de agua de lluvia infiltrada en los residuos y otros compuestos de la descomposición de los residuos, pueden provocar daños permanentes en el suelo, por lo que es necesario su correcta captación, transporte y tratamiento. De esta manera se evitarán los efectos que puedan ocasionar estos líquidos si llegaran a esparcirse sin control.

Para Recinos (2018), los lixiviados pueden alterar la integridad de los suelos ocasionando la inutilización de éstos por mucho tiempo. Una correcta gestión de los residuos en depósitos controlados conlleva un control de los líquidos formados en el proceso de descomposición de éstos. Se deben analizar

las características de los lixiviados para seleccionar un proceso adecuado de tratamiento que evite o disminuya sus efectos en el suelo.

7.12.2. Contaminación de aguas

Las filtraciones de los rellenos sanitarios pueden llegar hasta los mantos acuíferos y contaminar grandes cantidades de agua, provocando la proliferación de enfermedades mediante el uso de esta agua contaminada por microorganismos que afectan la salud. De la misma manera las filtraciones pueden contaminar fuentes de agua cercana como ríos, lagos o lagunas.

Esto puede traer repercusiones y consecuencias también en los animales y vegetación que utiliza estos cuerpos de agua. El agua “tiene la característica de mezclarse con varios de los contaminantes presentes en los residuos, lo que ocasiona que tanto el agua corriente como el agua subterránea se vean afectadas por estas sustancias” (Recinos, 2018, p. 35).

7.12.3. Contaminación atmosférica

Bien es sabido que la degradación de residuos orgánicos, como restos comestibles, plantas o animales provoca olores desagradables y proliferación de insectos. Estos olores son debidos a los gases que se forman en el proceso de degradación de la materia orgánica, como el metano, que es uno de los gases que provoca el efecto invernadero. Sumado a ello la contaminación visual que causan los residuos es otro factor para tomar en cuenta.

“Durante el proceso de descomposición y como resultado de la actividad de microorganismos, los residuos orgánicos emiten gases como metano y dióxido de carbono. Estos son elementos contaminantes para la atmósfera, debido a su

efecto invernadero” (Recinos, 2018, p. 36). Si no se cuenta con una instalación para captar y almacenar el biogás que produce la descomposición de los residuos biodegradables, este se libera a la atmósfera y contribuirá a la emisión de gases de efecto invernadero y al calentamiento global.

7.12.4. Vectores

Se refiere a las enfermedades propagadas por algunos insectos como zancudos, que transportan bacterias o virus y pueden transmitirlas a humanos, tal es el caso del dengue, zika o chikungunya. Estos insectos se propagan y reproducen por los envases con agua contaminada que abundan en los vertederos. Los vectores permiten que las plagas como zancudos, moscas, roedores y otros se reproduzcan. Por las características de los residuos orgánicos y las reacciones físicas y químicas que sufren mientras se degradan son foco de proliferación de enfermedades que representan riesgos a la salud (Recinos, 2018).

Los vectores pueden propagarse en vertederos no controlados o al aire libre, en los rellenos sanitarios se sepultan los residuos impidiendo que los insectos puedan reproducirse, igualmente en el compostaje los residuos se mantienen en constante movimiento evitando acumulación de agua en depósitos. En la tabla I enumera las enfermedades transmitidas por vectores y que están relacionadas a los residuos.

Tabla I. **Vectores relacionados a los residuos sólidos**

VECTORES	FORMA DE TRANSMISIÓN	ENFERMEDADES
Rata y pulga	Mordida, orina, heces y picadura	Leptospirosis Peste bubónica Tifus murino
Mosca	Alas, patas, cuerpo, heces y saliva	Fiebre tifoidea Cólera Amebiasis Disentería Giardiasis Ascariasis
Mosquito	Picadura	Malaria Fiebre amarilla Dengue Leishmaniasis
Cucaracha	Alas, patas, cuerpo y heces	Fiebre tifoidea Cólera Giardiasis

Fuente: adaptado de Manual de Saneamento, Fundacao Nacional de Saúde (2004).

Enfermidades relacionadas com os residuos sólidos, transmitidas por macro vetores e reservatorios.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Manejo integral de residuos
- 1.2. Características del manejo integral de residuos
- 1.3. Etapas del manejo integral de residuos
 - 1.3.1 Generación
 - 1.3.2 Separación
 - 1.3.3 Recolección
 - 1.3.4 Clasificación primaria y secundaria
 - 1.3.5 Disposición final (planta de tratamiento)
- 1.4. Normativa vigente (Acuerdo Gubernativo 164-2021)
- 1.5. Importancia del manejo integral de residuos
- 1.6. Beneficios del manejo integral de residuos
- 1.7. Impacto ambiental de los residuos sólidos
- 1.8. Residuos especiales
- 1.9. Clasificación de los residuos especiales
 - 1.9.1. Según su origen

- 1.9.1.1. Residuos comerciales
 - 1.9.1.2. Residuos industriales
 - 1.9.1.2.1. Residuos de aceites
 - 1.9.1.2.2. Residuos electrónicos
 - 1.9.2. Según su composición
 - 1.9.2.1. Residuos orgánicos
 - 1.9.2.2. Residuos inorgánicos
 - 1.9.3. Según su peligrosidad
 - 1.9.3.1. Residuos no peligrosos
 - 1.9.3.2. Residuos peligrosos
- 1.10. Tratamiento de residuos
 - 1.10.1. Incineración
 - 1.10.2. Compostaje
 - 1.10.3. Reciclaje
 - 1.10.4. Relleno sanitario
- 1.11. Composición de los residuos
 - 1.11.1. Propiedades físicas
 - 1.11.2. Propiedades químicas
 - 1.11.3. Propiedades biológicas
- 1.12. Efectos nocivos
 - 1.12.1. Contaminación de suelos
 - 1.12.2. Contaminación de aguas
 - 1.12.3. Contaminación atmosférica
 - 1.12.4. Vectores

2. METODOLOGÍA

- 2.1. Características del estudio
- 2.2. Unidades de análisis
- 2.3. Variables

- 2.4. Fases del desarrollo de la investigación
 - 2.4.1. Fase 1: revisión de bibliografía
 - 2.4.2. Fase 2: diagnóstico inicial
 - 2.4.3. Fase 3: clasificación de los residuos
 - 2.4.4. Fase 4: desarrollo de propuesta

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Resultado de separación diferenciada de residuos especiales
- 3.2. Resultado de composición de residuos en centros de acopio
- 3.3. Resultado de evaluación de disposición final de residuos
- 3.4. Resultado de efectos nocivos según la naturaleza de residuos

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICE

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación tiene un diseño de tipo no experimental, se hará uso del método de investigación lógico deductivo ya que a partir de la observación se recolectará la información que servirá de base para su desarrollo. El estudio será de tipo mixto pues se trabajará con una variable cualitativa (manejo integral de residuos) y una cuantitativa (residuos especiales) y tendrá un alcance descriptivo en donde ya se conocen las características de la problemática y se busca dar una propuesta que dé solución a la misma.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio es mixto ya que será con variables cualitativas y cuantitativas, dado que se hará una clasificación de los residuos especiales generados de acuerdo con su composición y peligrosidad (variables cualitativas binarias y ordinarias), pero también se procederá a realizar una cuantificación de la cantidad o porcentaje de los residuos reciclables, reutilizables, orgánicos, peligrosos, entre otros (variables cuantitativas continuas).

El alcance será descriptivo, puesto que las características de las variables en estudio ya son conocidas (tipos de residuos, etapas del manejo integral, tratamiento de residuos, entre otros.) y lo que se hará es realizar una clasificación y mediciones para, por medio de análisis estadísticos proceder con el establecimiento de los procesos en la empresa que permitirán la implementación de la propuesta del manejo integral de los residuos especiales.

El diseño adoptado será no experimental, ya que no se manipularán las variables involucradas, sino que se utilizarán la técnica de la observación para recolectar la información que servirá de base para el desarrollo de la investigación, y se complementará con una clasificación y medición de los tipos de residuos.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio serán los residuos especiales generados en el proceso de producción de energía eléctrica en una generadora que utiliza combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios. Se realizará una clasificación de dichos residuos según sus características, obteniendo la caracterización por cada tipo y de esta manera se podrá determinar el tratamiento correspondiente.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla II. Definición de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA
Manejo integral de residuos	Manejo de acciones para realizar un control de los residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final, con la finalidad de aprovechar al máximo cada residuo, para minimizar daños al ambiente y a la salud humana (Morales, 2021).	Tipo de residuo Peligrosidad del residuo Puntos de mayor generación Rutas de recolección
Residuos especiales	Tipos de residuos a los que se coloca en la categoría de especiales por la alta diversidad de materiales que contienen, por ejemplo: electrónicos, electrodomésticos y equipos de laboratorio, entre otros (Escobar, 2020)	% de residuos orgánicos % de residuos reciclables % de residuos peligrosos Volumen de residuos aceitosos

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del desarrollo de la investigación

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizará en las fases que a continuación se detallan.

9.4.1. Fase 1: revisión de bibliografía

Se hará una recopilación y revisión de bibliografía relacionada al tema de investigación, propuestas para el manejo integral de residuos en industrias, metodologías aplicables, legislación sobre manejo de residuos y ambiental vigente en Guatemala y contenido útil que sirva para el desarrollo de la propuesta planteada sobre la problemática actual de la empresa.

9.4.2. Fase 2: diagnóstico inicial

Se realizará el diagnóstico inicial para conocer la situación de la empresa respecto al manejo que actualmente se les da a todos los residuos que se generan, para ello se procederá a emplear la técnica de observación en los puntos de recolección de residuos, con el objetivo de recolectar información de los procesos utilizados que se estén aplicando en las instalaciones. Esto se llevará a cabo durante un mes completo para tener una buena referencia tanto de los residuos generados como de los procesos aplicados, esto debido a que la generación de residuos (aceitosos, sobre todo) está ligada directamente a las horas de producción, y estas últimas son alternativas y dependen de la demanda del mercado eléctrico nacional.

La información obtenida se analizará y será la base de datos inicial de la investigación y servirá para tener un panorama amplio con respecto al recorrido

que los residuos experimentan desde la generación hasta la disposición final dentro de las instalaciones, lo que servirá para determinar las falencias de la gestión actual y para conocer la cantidad y tipos de residuos que se generan durante un periodo determinado.

9.4.3. Fase 3: clasificación de los residuos

Durante esta fase se procederá a realizar la clasificación de los residuos especiales en los centros de recolección, de acuerdo con las características de estos residuos, su composición y tipo de peligrosidad, así también se cuantificarán las cantidades y porcentajes de los distintos tipos de residuos generados.

Para el desarrollo de esta fase se tiene contemplado un periodo de cuatro meses debido a que se necesita primeramente separar los residuos en contenedores específicos, realizar la recolección de los residuos y trasladarlos a los centros de acopio y finalmente proceder con la caracterización. Al finalizar con dicha clasificación podrá realizarse una comparativa con respecto a lo realizado en el diagnóstico inicial y será posible extraer conclusiones que sirvan para definir de forma óptima los procesos que integrarán la propuesta de manejo integral de los residuos para la empresa.

9.4.4. Fase 4: desarrollo de propuesta

En esta fase se establecerán y definirán los distintos procesos que serán implementados en la empresa para el manejo integral de los residuos especiales, asimismo se procederá a identificar cuáles son los efectos nocivos de estos residuos, conforme a los lineamientos de las normas ambientales aplicables para el tema, por ejemplo, el Acuerdo Gubernativo 164 – 2021 y otras normas

ambientales vigentes en Guatemala. Se evaluará en esta fase la inversión mínima necesaria para la implementación de la propuesta en las instalaciones de la empresa generadora, esto con el objetivo de poder aplicar los procesos propuestos y alcanzar los resultados esperados.

Se pretende obtener datos concretos sobre los tipos de residuos generados, la cantidad y porcentaje de los mismos en las instalaciones de la generadora eléctrica, y con ello desarrollar una propuesta de plan de manejo integral para estos residuos especiales. Se espera con ello contribuir tanto a la empresa como a la comunidad de Puerto Barrios en cuanto a disminuir la cantidad de contaminación producida por los residuos potencialmente peligrosos que llegan al relleno sanitario de la localidad.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La técnica que se utilizará será de tipo descriptivo, se analizarán los resultados que se obtengan en la fase de diagnóstico inicial en la que se observará durante un mes, dividido en periodos de una semana, la situación actual de la empresa en cuanto al manejo de residuos; luego se procederá a la fase de clasificación de los residuos en la que durante cuatro meses se realizará una caracterización de los residuos generados. Las variables serán de tipo cualitativo y cuantitativo ya que la clasificación se hará por características y al mismo tiempo se realizarán mediciones para determinar peso, volumen y otros parámetros de los residuos.

Tabla III. **Propuesta de clasificación de residuos**

TIPO DE RESIDUO	PESO	VOLUMEN	PORCENTAJE
Orgánicos			
Vidrio			
Papel y cartón			
Plásticos			
Metales			
Aceites			
Combustibles			
Electrónicos			
Químicos			

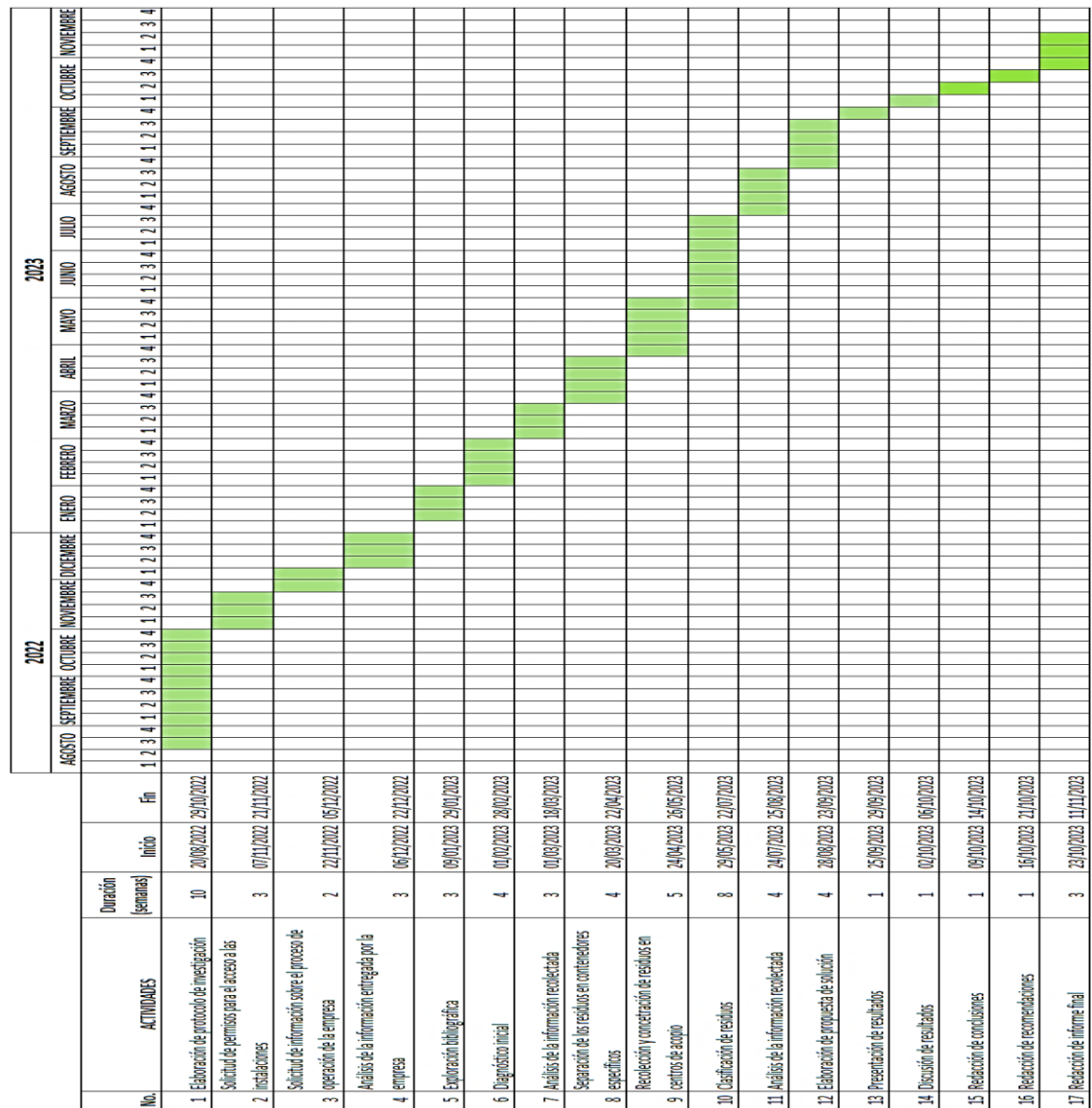
Fuente: elaboración propia.

Se utilizarán técnicas de estadística descriptiva que servirán para reunir, organizar, analizar e interpretar los datos recolectados durante las fases de diagnóstico inicial y clasificación de los residuos. Se hará uso de algunas medidas de tendencia central para el análisis de los datos y para tomar decisiones en

cuanto al manejo de los residuos, definiendo de esta manera los procesos óptimos a implementar.

11. CRONOGRAMA

Figura 6. **Cronograma de actividades**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo las fases que lo componen. Se necesitarán los siguientes recursos para desarrollar la investigación:

12.1. Recursos humanos

Se dispone de un investigador tesista quién será el encargado de recopilar toda la información necesaria para el desarrollo de la investigación, como las consultas bibliográficas, observación y medición en campo. Será necesaria también la colaboración de personal de la empresa para realizar la clasificación de los residuos. Se cuenta con el apoyo de un profesional con título de Maestría en Energía y Ambiente, quién será el encargado de dar asesoría para el trabajo de investigación durante el desarrollo del mismo.

12.2. Recursos tecnológicos

Son los diferentes equipos y aparatos que serán utilizados para realizar la investigación, por ejemplo: cámara fotográfica, teléfono celular, computadora, impresora, balanza, internet, energía eléctrica, oficina y escritorio, entre otros. Algunos de los cuales serán proporcionados por la empresa al estar disponibles en sus instalaciones y otros serán proporcionados por el investigador.

12.3. Acceso a la información

Se cuenta con autorización de la empresa para el acceso a las instalaciones para realizar el trabajo de campo, para acceder a los equipos, tanques, contenedores y todo lo relacionado a almacenaje de residuos, a las fuentes de generación de residuos, a los manuales y documentos que apoyen el desarrollo del presente trabajo. De la misma forma, la empresa brindará apoyo con personal interno para la realización de la clasificación de los residuos.

12.4. Recursos financieros

Los gastos económicos que sean necesarios para realizar la investigación serán financiados por el estudiante de maestría con recursos propios. A continuación, se detalla el presupuesto económico necesario para la elaboración de la investigación:

Tabla IV. Recursos financieros necesarios para la investigación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	Exploración Bibliográfica	1	Global		Q 6,574.50
1.1	Energía eléctrica	60	Horas	Q 0.20	Q 12.00
1.2	Conexión a internet	0.75	Mes	Q 350.00	Q 262.50
1.3	Impresión de documentos	300	Hojas	Q 1.00	Q 300.00
1.4	Recurso humano (tesista)	60	Horas	Q 100.00	Q 6,000.00
2	Diagnóstico inicial	1	Global		Q 8,594.00
2.1	Depreciación de vehículo	240	Km	Q 1.00	Q 240.00
2.2	Combustible	6	Galón	Q 34.00	Q 204.00
2.3	Alimentación	24	Días	Q 25.00	Q 600.00
2.4	Materiales de oficina	1	Global	Q 350.00	Q 350.00
2.5	Recurso humano (tesista)	72	Horas	Q 100.00	Q 7,200.00
3	Clasificación de residuos	1	Global		Q 50,798.00
3.1	Depreciación de vehículo	1080	Km	Q 1.00	Q 1,080.00
3.2	Combustible	27	Galón	Q 34.00	Q 918.00
3.3	Alimentación	108	Días	Q 25.00	Q 2,700.00

Continuación tabla IV.

3.4	Equipo de protección (botas, ropa, guantes, lentes, casco, tapones)	1	Global	Q 1,000.00	Q 1,000.00
3.5	Materiales y utensilios (botes, cubetas, bolsas, cajas, cinta métrica)	1	Global	Q 800.00	Q 800.00
3.6	Alquiler de balanza	55	Días	Q 20.00	Q 1,100.00
3.7	Recurso humano (tesista)	432	Horas	Q 100.00	Q 43,200.00
4	Elaboración de propuesta	1	Global		Q 6,000.00
4.1	Evaluación de efectos nocivos	20	Horas	Q 100.00	Q 2,000.00
4.2	Evaluación de infraestructura necesaria	20	Horas	Q 100.00	Q 2,000.00
4.3	Análisis de procesos a implementar	20	Horas	Q 100.00	Q 2,000.00
5	Redacción de informe final	1	Global		Q 9674.50
5.1	Energía eléctrica	60	Horas	Q 0.20	Q 12.00
5.2	Conexión a internet	0.75	Mes	Q 350.00	Q 262.50
5.3	Impresión y encuadernado de documentos	900	Hojas	Q 1.00	Q 900.00
5.4	Recurso humano (tesista)	60	Horas	Q 100.00	Q 6,000.00
5.5	Asesor	1	Global	Q 2,500.00	Q 2,500.00
Total					Q 81,641.00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo No. 164 – 2021. Reglamento para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comunes. Diario de Centroamérica. Guatemala. 9 de agosto de 2021.
2. Agustín, S. (Mayo, 2011). Desechos industriales. Ecología Hoy. Recuperado de <https://www.ecologiahoy.com/desechos-industriales>.
3. Avendaño Rojas, D. A. (2003). El proceso de compostaje (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. Recuperado de <https://docplayer.es/17073510-El-proceso-de-compostaje.html>.
4. Banco Mundial. (20 de septiembre de 2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>.
5. Barradas Rebolledo, A. (2009). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales: estado del arte*. Minatitlán, Veracruz, México: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://oa.upm.es/1922/>.

6. Barreto, D. (2006). Evaluación de la gestión socioeconómica y ambiental en el manejo de residuos sólidos en la plaza de mercado Carlos E. Restrepo. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás de Aquino.
7. Bartra, J. y Delgado, J. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos y su impacto medioambiental. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 4(2), 993-1008. Recuperado de <https://doi.org/10.37811/clrcm.v4i2.135>.
8. Cedeño, A. y Perero, G. (2020). Propuesta de manejo de residuos sólidos en la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas UTM. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 4(7), 192-199. Recuperado de <https://doi.org/10.46296/yc.v4i7.0042>.
9. Escobar, E. (2020). Diseño de investigación del plan para la gestión de residuos sólidos con base en el sistema zero waste en la comunidad del jardín botánico de la Ciudad de Guatemala (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1088_M.pdf.
10. Flores, L. (2018). Modelo de gestión para la erradicación de basureros clandestinos, estudio de dos casos en el municipio de Villa Nueva (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0638_MT.pdf.
11. Fomento a la vida (agosto, 2018). *Segregación de residuos sólidos y cambio climático*, 1-12. Recuperado de

<https://fovida.org.pe/publicacion/segregacion-de-residuos-solidos-y-cambio-climatico/>.

12. Fundação Nacional de Saúde (2004). *Manual de Saneamento*. Brasília, Brasil: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde. Recuperado de <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/Manual%20de%20Saneamento.pdf>.
13. García, R., Socorro, A. y Maldonado, A. (2019). Manejo y gestión ambiental de los desechos sólidos, estudio de casos. *Universidad y Sociedad*, 11(1), 265-271. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>.
14. González, B. DIGI-USAC (Octubre, 2019). *Los desechos sólidos en la Ciudad de Guatemala*. Recuperado de <https://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/25-desechos-s%C3%B3lidos>.
15. González C. (10 de junio de 2022). *Zero Corp: la mega planta de compostaje que funciona de forma abierta en el sur de Chile*. País Circular. Recuperado de <https://www.paiscircular.cl/economia-circular/zero-corp-la-unica-planta-abierta-de-compostaje-a-gran-escala-en-chile-funciona-en-el-sur/>.
16. González, N. (2020). Diseño de una estrategia en el manejo integral de residuos sólidos para promover la cultura ambiental en la Institución Educativa Las Arepas Municipio de Cotorra-Córdoba (tesis de maestría). Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y

Tecnología, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.umecit.edu.pa/bitstream/handle/001/2823/Tesis%20Nirma%20Del%20Rosario%20Gonz%c3%a1lez%20Gonz%c3%a1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

17. Guerra, H. (2018). Manejo integral de desechos sólidos caso: barrio La Democracia, Ciudad de Jutiapa (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_4989.pdf.
18. Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>.
19. Leiton, N., y Revelo, W. (2017). Gestión integral de residuos sólidos en la empresa Cyrgo Sas. *Revista Tendencias*, 18(2), 103-121. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22267/rtend.171802.79>.
20. Ludueña, F. (2021). Gestión de residuos sólidos y el manejo de residuos generados por dos clínicas veterinarias, Lima, año 2020 (tesis de maestría). Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú. Recuperado de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4884/LUDE%c3%91A_FERNANDEZ_FELIPE_ANGEL_MAESTRIA_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018). Guía para la identificación gráfica de los residuos sólidos comunes. Guatemala: Artes Litográficos S.A.
22. Ministerio de Salud (2006). Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú. Lima: Sonimágenes S.C.R.L.
23. Morales, S. (2021). Importancia de la planificación en la gestión de desechos sólidos como una herramienta para el desarrollo en la cuenca del lago del municipio de Amatitlán departamento de Guatemala durante el periodo de Gobierno 2020-2024 (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03-8089.pdf>.
24. Organización Internacional de Normalización (2015). Gestión ambiental (ISO 14001). Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>.
25. Pérez, C. (2017). Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos para el Recinto Universitario Rubén Darío Unam-Managua, durante el plazo del 2016 al 2022 (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/9425/1/98435.pdf>.
26. Peruano, E. (27 de junio de 2012). Decreto Supremo N° 001-2012-MINAM "Aprueban el Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos Electricos y Electronicos". Diario Oficial El Peruano, p. 10.

27. Recinos, A. (2018). Plan de manejo de materiales residuales generados en el taller agrícola y automotriz de un ingenio azucarero, ubicado en el departamento de Escuintla (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0622_MT.pdf.
28. Ríos Hernández, A. (2009). Gestión integral de los residuos sólidos urbanos (tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3066/GESTIONINTEGRAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
29. Roper, S. (27 de mayo de 2020). Vertederos: qué son, tipos y consecuencias. *Ecología verde*. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/vertederos-que-son-tipos-y-consecuencias-2788.html>.
30. Salas, R., Goñas, H. y Sanchez, E. (2018). Factores que influyen en el manejo de los residuos sólidos municipales, Pomacochas, Amazonas. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, 2(1), 36-41. Recuperado de <https://doi.org/10.25127/aps.20181.382>.
31. Sánchez, J. (2022). La gestión de residuos específicos: biorresiduos, aceites usados y residuos de la construcción (arts. 28 a 30). *Revista Aragonesa de Administración Pública*, (XXI), 283-309. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8509600>.

32. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2002). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. México: P7 Ediciones.
33. Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
34. Ushiñahua, M. (2019). Gestión ambiental y su relación con el manejo integral de residuos sólidos en la Municipalidad Provincial de San Martín (tesis de maestría). Universidad César Vallejo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31290>.
35. Villanueva, K., Reyes, G., Obando, E. y Rodríguez, S. (2022). Gestión de residuos sólidos y la contaminación ambiental en las empresas industriales: una revisión de la literatura científica entre 2011-2020. *Polo del conocimiento*, 7(70), 79-92. Recuperado de <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.3946>.

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Falta de un manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles	Proponer un plan de manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios				
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS				Tipo de residuo
¿Cómo debe realizarse el manejo integral de los residuos especiales en una generadora de energía eléctrica a base de combustibles fósiles ubicada en Puerto Barrios?	1. Determinar la separación diferenciada que deben tener los residuos especiales.	Manejo integral de residuos sólidos			Peligrosidad del residuo
		Etapas del manejo integral de residuos			Puntos de mayor generación
		Residuos especiales		Manejo integral de residuos	Rutas de recolección
		Clasificación de los residuos especiales	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Residuos especiales	Porcentaje de residuos orgánicos
		Tratamiento de residuos			Porcentaje de residuos reciclables
		Composición de los residuos			Porcentaje de residuos peligrosos
		Efectos nocivos			Volumen de residuos aceitosos
PREGUNTAS SECUNDARIAS					
1. ¿Cuál es la separación diferenciada que deben tener los residuos especiales?	2. Determinar la composición de los residuos en los centros de acopio.				
2. ¿Cuál es la composición de los residuos en los centros de acopio?	3. Evaluar el sitio de disposición final de los residuos especiales.				
3. ¿Dónde debe ser el sitio de disposición final de los residuos especiales?	4. Identificar los efectos nocivos al ambiente según la naturaleza de los residuos.				
4. ¿Cuáles son los efectos nocivos al ambiente según la naturaleza de los residuos?					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Marco metodológico



Fuente: elaboración propia.