



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

**PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS  
EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM**

**Karhild Violeta Moreno Cadenas**

Asesorado por el Ing. Nicolas de Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS  
EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**KARHILD VIOLETA MORENO CADENAS**

ASESORADO POR EL ING. NICOLAS DE JESÚS GUZMÁN SÁENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Química, con fecha 17 de octubre de 2019.



**Karhild Violeta Moreno Cadenas**

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 21 de julio de 2021.  
Ref.EPS.DOC.280.07.2021.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Kárhild Violeta Moreno Cadenas** de la Carrera de Ingeniería Ambiental, con carné **201212739**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Manuel Alfredo Arnivillaga Ochaeta  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Ambiental



c.c. Archivo  
MAAO/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 21 de julio de 2021.  
Ref.EPS.D.125.07.2021.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Kárhild Violeta Moreno Cadenas**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero **Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

A handwritten signature in blue ink is written over an official stamp. The stamp is oval-shaped and contains the text: "Universidad de San Carlos de Guatemala", "DIRECCIÓN", "Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS", and "Facultad de Ingeniería".

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director

OAH/ra

Guatemala, 18 de agosto de 2022

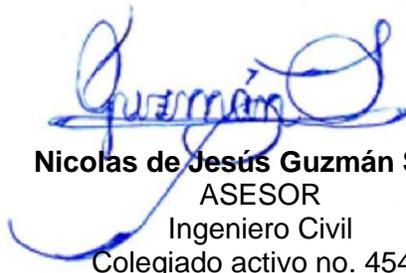
Ingeniero  
**MSc. Ing. Químico. Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Superviado , (E.P.S.) por un período de 6 meses titulado: **“PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM”**, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, **Karhild Violeta Moreno Cadenas**, quien se identifica con el registro académico **2012-12739** y con el CUI **2125222130101**.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



**Nicolas de Jesús Guzmán Sáenz**  
ASESOR  
Ingeniero Civil  
Colegiado activo no. 4540

**MSc. Nicolás Guzmán**  
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540



Guatemala, 24 de octubre de 2022.  
Ref. EIQ.TG-IF.034.2022.

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **004-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

#### INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Karhild Violeta Moreno Cadenas**.  
Identificado con número de carné: **2125222130101**.  
Identificado con registro académico: **201212739**.  
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental**.  
En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

### PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz, profesional de la Ingeniería Civil**

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Jaime Domingo Carranza Guzmán Sáenz  
Colegiado No. 408



Jaime Domingo Carranza Guzmán Sáenz  
profesional de la Ingeniería Química  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.03.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química 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 de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM**, presentado por: **Karhild Violeta Moreno Cadenas** , procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



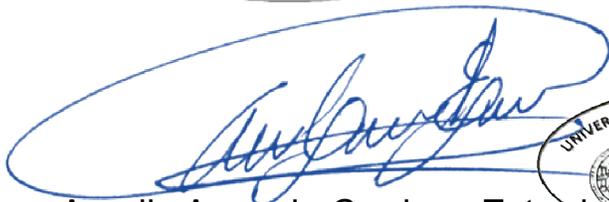
Ing. Williams G. Alvarez Mejía: M.I.Q., M.U.I.E.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero de 2023.

LNG.DECANATO.OI.005.2023

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TRES INDUSTRIAS DE ALIMENTOS PARA LA EMPRESA BIOREM**, presentado por: **Karhild Violeta Moreno Cadenas**, 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, enero de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por guiarme en la dirección correcta, otorgarme la vida y las bendiciones que me permiten seguir adelante.
<b>Mis padres</b>	Por ser un pilar en mi vida, mostrarme siempre su apoyo durante el estudio de mi carrera y motivarme a no rendirme en los momentos más difíciles de mi vida.
<b>Mis mascotas</b>	Por siempre acompañarme en cada momento de mi vida universitaria.
<b>Mi abuela</b>	Por siempre cuidarme de que no me faltará nada y siempre creer en que si lo lograra.
<b>Mi esposo</b>	Por su paciencia y apoyo incondicional durante nuestra etapa universitaria y vida juntos.
<b>Mis amigos</b>	Por hacer la experiencia universitaria gratificante y porque siempre nos apoyamos juntos para salir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de desarrollarme académicamente y permitirme aportar mi grano de arena a mi país.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por inculcar en mí el conocimiento necesario para poder desempeñarme como un buen profesional.
<b>Mi familia</b>	Por estar siempre a mi lado.
<b>Mis amigos</b>	Por su aprecio y amistad, y por apoyarme a lo largo de mi carrera.
<b>Mi asesor</b>	Por compartir sus conocimientos para el desarrollo de mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEORICO.....	3
2.1. Residuos sólidos .....	3
2.2. Clasificación de residuos sólidos comunes en Guatemala .....	4
2.2.1. Clasificación primaria.....	4
2.2.2. Clasificación secundaria .....	6
2.2.3. Clasificación de residuos sólidos según su origen..	12
2.2.4. Clasificación de residuos en la Unión Europea .....	15
2.3. Caracterización y degradación de residuos sólidos.....	19
2.4. Características de los residuos sólidos .....	20
2.4.1. Peso específico o densidad .....	20
2.5. Generación de residuos sólidos .....	20
2.6. Residuos sólidos en el sector de alimentos.....	23
2.6.1. Proceso productivo de embotelladora de bebidas gasificadas.....	24
2.6.2. Proceso productivo de una empresa de lácteos .....	25

2.6.3.	Proceso productivo de frituras.....	25
2.7.	Tipo de tratamientos de residuos sólidos.....	26
2.8.	Consecuencias de la inadecuada gestión de residuos sólidos.....	30
2.8.1.	Efectos directos.....	30
2.8.2.	Efectos indirectos.....	31
2.8.3.	Efectos sobre el medio ambiente.....	31
2.9.	Manejo integral de los residuos sólidos.....	32
2.10.	Normativa de residuos sólidos en Guatemala.....	33
2.10.1.	Leyes vigentes en el manejo de residuos sólidos en Guatemala.....	34
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Variables.....	37
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	37
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	37
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	38
3.4.1.	Materiales.....	38
3.4.2.	Equipo.....	38
3.5.	Técnicas cualitativas y cuantitativas.....	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	39
3.6.1.	Recepción de residuos sólidos en la empresa BIOREM.....	39
3.6.2.	Aplicación de metodología siguiendo la clasificación de la guía del MARN.....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	41
3.7.1.	Clasificación y separación de residuos sólidos en la empresa BIOREM.....	45

3.7.2.	Elaboración de rutas de recolección de desechos sólidos .....	47
3.8.	Análisis estadístico .....	48
3.9.	Fórmulas.....	49
3.9.1.	Densidad o peso específico.....	49
3.9.2.	Densidad total.....	49
4.	RESULTADOS .....	51
4.1.	Aplicación de la guía para la elaboración de estudios de caracterización de residuos y desechos sólidos comunes .....	51
4.2.	Propuesta de ruta de recolección .....	56
4.3.	Costos de capacitaciones.....	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59
5.1.	Incremento en la separación de residuos sólidos por su origen.....	59
5.2.	Densidades de los residuos sólidos .....	61
5.3.	Propuesta de ruta de recolección .....	66
	CONCLUSIONES .....	67
	RECOMENDACIONES .....	69
	REFERENCIAS .....	71
	APÉNDICES .....	75



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Aplicación iconográfica de los residuos orgánicos .....	5
2.	Aplicación iconográfica de los residuos inorgánicos .....	6
3.	Aplicación iconográfica para residuos plásticos .....	7
4.	Aplicación iconográfica de residuos de papel y cartón .....	8
5.	Aplicación iconográfica para identificación de residuos de vidrio .....	9
6.	Aplicación iconográfica para residuos metálicos .....	10
7.	Aplicación iconográfica para residuos multicapa .....	11
8.	Icono utilizado para desechos bioinfecciosos.....	12
9.	Macro túnel.....	29
10.	Alteración al medio ambiente .....	32
11.	Gráfica 1. Residuos identificados en planta embotelladora y peso en Kg.....	42
12.	Gráfica 2. Residuos identificados en planta de frituras y peso promedio en Kg .....	43
13.	Gráfica 3. Representación gráfica de residuos identificados en planta de lácteos .....	44
14.	Rutas actuales.....	45
15.	Mapa de ruta proporcionada por Google Maps .....	48
16.	Gráfica 4. Porcentaje de residuos sólidos en planta embotelladora .....	52
17.	Gráfica 5. Porcentaje de residuos sólidos en planta de frituras.....	53
18.	Gráfica 6. Porcentaje de residuos sólidos en planta de lácteos .....	54
19.	Mapa con nuevas rutas propuesta para planta embotelladora, planta de frituras y planta de lácteos.....	57

20.	Gráfica 7. Comparación gráfica de separación de residuos sólidos por su origen, sin el uso y con el uso de la Guía del MARN .....	60
21.	Gráfica 8. Densidades totales de los residuos sólidos en las tres plantas de alimentos .....	61
22.	Gráfica 9. Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta embotelladora versus mínimos y máximos de densidades obtenidas en estudio Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) .....	63
23.	Gráfica 10. Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta de frituras versus mínimo y máximo de densidades obtenidas en estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) .....	64
24.	Gráfica 11. Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta de lácteos versus mínimos y máximos de densidades obtenidas en estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) .....	65

## **TABLAS**

I.	Clasificación de residuos sólidos conforme a la Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes Acuerdo Ministerial 7-2019 y Clasificación de Residuos Sólidos conforme European Neighborhood Partnership.....	18
II.	Composición física de residuos sólidos .....	19
III.	Tiempo de degradación de los residuos sólidos .....	20
IV.	Composición de residuos sólidos presentados en porcentaje, perteneciente a Latinoamérica y Guatemala .....	21
V.	Generación de residuos sólidos por sectores de la economía nacional, en toneladas (2001 a 2006). Guatemala .....	22

VI.	Composición de residuos sólidos en Guatemala, 2016.....	22
VII.	Producción de residuos sólidos en la industria de alimentos 2010-2016 .....	23
VIII.	Resumen de variables.....	37
IX.	Producción de residuos sólidos sin clasificar de tres empresas del sector alimenticio en Guatemala .....	39
X.	Tamaño de muestra correspondiente a cada una de las plantas .....	41
XI.	Tipos de residuos sólidos identificados en planta embotelladora con base a Guía del MARN .....	42
XII.	Tipos de residuos sólidos identificados en planta de fritura con base a Guía del MARN .....	43
XIII.	Datos obtenidos en planta de lácteos con base a Guía del MARN.....	44
XIV.	Comparación de la masa de residuos sólidos separados por su origen, sin usar la guía del MARN y usando la guía de MARN .....	51
XV.	Proporciones obtenidas con el método de la guía de MARN en planta embotelladora .....	51
XVI.	Resultados obtenidos con el método de la guía del MARN en planta de frituras .....	52
XVII.	Resultados obtenidos con el método de la guía del MARN en planta de lácteos.....	53
XVIII.	Densidad o peso específico en planta embotelladora .....	55
XIX.	Densidad o peso específico planta de frituras.....	55
XX.	Densidad o peso específico planta de lácteos .....	55
XXI.	Densidad total de los residuos sólidos en las tres plantas .....	56
XXII.	Costos de capacitaciones .....	58



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kcal</b>	Kilocaloría
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Biogás</b>	Se genera por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.
<b>Comida animal</b>	Es un producto elaborado a base de residuos orgánicos secos que posteriormente son mezclados con otras proteínas (proceso realizado por empresa tercera) para su posterior venta como concentrado animal.
<b>Densidad o peso específico</b>	Es la relación que existe entre peso y volumen que ocupa un mismo material. Se representa como Kilogramo por metro cúbico.
<b>Desecho antineoplásico</b>	Son residuos peligrosos que presentan propiedades carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas, produciendo a su vez efectos locales irritantes, vesicantes o alérgicos.
<b>Desecho genotóxico</b>	Son los desechos muy peligrosos, mutágenos, teratógenos o cancerígenos como los medicamentos utilizados para tratar afecciones cancerígenas.

<b>Desechos reciclables</b>	Son los desechos que pueden recuperarse, transformarse o reutilizarse como el vidrio, plástico, metales, cartones.
<b>Masa</b>	Es la cantidad de materia que tiene un cuerpo y se mide en kilogramos (Kg).
<b>No recuperables</b>	Son todos aquellos desechos cuyas características físicas no permiten su reutilización como materia prima para generar energía o crear nuevos productos.
<b>Reciclaje</b>	Es un proceso donde las materias primas que componen los materiales, una vez terminado su ciclo de vida útil se transforman en nuevos materiales.
<b>Residuos sólidos comunes</b>	Son aquellos generados en oficinas, áreas comunes, cafeterías auditorias y en sitios del establecimiento del generador.
<b>Residuos sólidos industriales</b>	Son los residuos generados del proceso de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o mantenimiento generados por la actividad industrial.
<b>6Rs</b>	Se refiere a las acciones a realizar para contribuir a la sostenibilidad de los recursos, las cuales se refieren a reducir, reutilizar, reciclar, revalorizar, redistribuir y reestructurar.

## RESUMEN

Diversos estudios, como el Perfil Ambiental de Guatemala, estiman que en Guatemala se generan anualmente un promedio de 2,372,500 toneladas de residuos sólidos, de los cuales, el 54 % proviene del área urbana y el 46 % de zonas rurales.

En términos generales, los residuos sólidos en Guatemala no son separados en orgánicos e inorgánicos; se recolectan mezclados por trenes de limpieza municipales y privados, y son transferidos a vertederos ubicados en espacios abiertos en donde se acumulan sin ningún tratamiento. En las zonas urbanas se recolecta y dispone de esta forma una mayor cantidad de residuos sólidos, comparadas con las zonas rurales, donde se acostumbra a enterrar o quemar los residuos, que son en su mayoría orgánicos. Según esta tendencia, se calcula que en las áreas rurales anualmente únicamente se recolectan y transfieren a vertederos 36,739 toneladas de residuos sólidos, lo que equivale al 3.3 % de lo generado.

En las zonas urbanas lo recolectado en los botaderos municipales se multiplica casi por 14, siendo de 500,874.49 toneladas, lo que representa casi el 39 % de lo generado en las urbes. La generación de residuos y desechos sólidos domiciliarios en centros urbanos sitúa a los departamentos de Guatemala (47.36 %), Quetzaltenango (6.43 %) y Escuintla (4.80 %) como los más importantes. En el área rural, la generación es relativamente mayor en los departamentos de Huehuetenango, Alta Verapaz, San Marcos y Guatemala, entre ellos generan más del 36 % del total producido en el área rural. El volumen total de los desechos

que no es recolectado es de aproximadamente 1,834,887 toneladas anuales, siendo tal cantidad dispuesta en botaderos ilegales, quemada o enterrada.

El servicio privado de recolección de residuos sólidos, su separación en orgánicos e inorgánicos y su disposición final más adecuada, valorizando los diferentes tipos de residuos según su naturaleza y su estado al momento de la clasificación, aún no es muy común en Guatemala, pero es un servicio con gran potencial que probablemente irá creciendo con el tiempo, en la medida que los entes rectores vayan emitiendo las leyes y reglamentos que regulen el manejo y disposición final de los residuos provenientes de la industria y domiciliarios.

BIOREMEDIACION S.A. (BIOREM) es una empresa guatemalteca que brinda el servicio de recolección domiciliar de residuos sólidos, su separación y disposición final según su naturaleza, teniendo entre sus principales clientes al sector industrial de la ciudad de Guatemala. Actualmente el personal del área de separación de residuos en BIOREM sólo utiliza el criterio de separación con base al origen, sin hacer otra clasificación más específica. Con el fin de evaluar si se registraba alguna mejora en el proceso de clasificación y separación de los residuos sólidos, se capacitó al personal usando la Guía para la identificación gráfica de los residuos sólidos comunes (Acuerdo Ministerial 7-2019), y se aplicó a los residuos provenientes de tres empresas del sector de alimentos y bebidas de la ciudad de Guatemala.

Como conclusión, se determinó que BIOREM recibe mensualmente 205,800 Kg de residuos sólidos sin clasificar provenientes de tres industrias alimenticias. Sin usar la guía, de este total se extraen 15,000 Kg de residuos orgánicos y 5,000 Kg de inorgánicos. Al aplicar la Guía del MARN se logró la extracción de 24,170 Kg de residuos orgánicos y 154,070 Kg de inorgánicos. Este incremento en residuos valorizables significa para BIOREM mayores ingresos por

concepto de producción y venta de compost y por venta de residuos inorgánicos reciclables o reusables. Asimismo, significa un impacto positivo al ambiente, al rescatar un volumen apreciable de residuos sólidos que no irán a ocupar un espacio en los rellenos sanitarios, permitiendo prolongar la vida útil de éstos.

Sin embargo, al analizar el impacto positivo que la aplicación de la Guía tuvo en el proceso de separación de residuos sólidos, se observó que las condiciones actuales de la flota de camiones recolectores, las rutas de recolección, y el almacenamiento temporal de los residuos en las instalaciones de los clientes, no serían las más adecuadas para aprovechar todo el potencial de recolección generado con la aplicación de la Guía. Por tal motivo se procedió a analizar una mejor opción, y en las recomendaciones a BIOREM se presentan tres propuestas de ruta de recolección de los residuos sólidos, desde las tres industrias estudiadas hasta las instalaciones de BIOREM, considerando el cambio en el tonelaje de los camiones recolectores, la adquisición de contenedores temporales de mayor capacidad en las instalaciones de las fábricas y la capacitación constante al personal encargado de la separación en BIOREM y en las instalaciones de los clientes.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Caracterizar y aprovechar los residuos sólidos que se generan en los procesos productivos en tres empresas de procesos de alimentos.

### **Específicos**

1. Categorizar la composición, peso y densidad de los residuos sólidos entres industrias de alimentos para la empresa BIOREM.
2. Determinar el tipo de aprovechamiento y/o tratamiento más conveniente para los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos provenientes de tres empresas dedicadas a la producción de alimentos, considerando el concepto de las 6 R's.
3. Realizar una propuesta de ruta de recolección y transporte de los residuos sólidos provenientes de tres industrias de alimentos hacia el centro de acopio de residuos sólidos de BIOREM.



## HIPÓTESIS

- Hipótesis general

La caracterización adecuada de los residuos sólidos influye positivamente en los volúmenes de residuos sólidos valorizables recuperados, de acuerdo con su clasificación primaria en orgánicos e inorgánicos, lo que puede generar mayores beneficios para la empresa BIOREM.



## INTRODUCCIÓN

BIOREMEDIACIÓN, S.A.-BIOREM- es una empresa guatemalteca ubicada en el municipio de Villa Nueva en el departamento de Guatemala, fundada en el año 2010, que se dedica al cuidado del medio ambiente al brindar a la industria nacional, soluciones integrales para obtener una economía circular con la finalidad de generar la menor cantidad de desechos líquidos y sólidos a través del manejo de aguas residuales y residuos sólidos.

Diferentes estudios indican que, del total de los residuos sólidos generados en el municipio de Guatemala, el 13.7 % son recolectados por la municipalidad de Guatemala, el 71.3 % por empresas privadas y el 15 % son depositados en basureros ilegales o son quemados a cielo abierto. Se tienen registros del año 2015 que indican que, a nivel nacional, existen 2,348 botaderos de basura; de éstos 2,078 son a cielo abierto y sólo 270 son municipales. Es importante mencionar que la presencia de basureros clandestinos y una mala gestión de los residuos sólidos generan un impacto negativo tanto para el medio ambiente como para la salud de la población que se encuentra en las zonas aledañas a los mismos (Investigación para todos, 2020).

Por otro lado, la separación de los residuos sólidos por lo menos en una clasificación primaria, como orgánicos e inorgánicos, que en otros países es obligatorio, en Guatemala está en una fase de ensayos e implementación. En algunos municipios, las autoridades locales han emitido ordenanzas que obligan a los vecinos a separar los residuos, no sólo en orgánicos e inorgánicos, sino también en plásticos y vidrio. Pero estas medidas ediles son transitorias y aparecen y desaparecen con cada cambio de autoridades.

Respecto a iniciativas privadas, en Guatemala hay empresas que se dedican a brindar el servicio de recolección de residuos sólidos y su traslado a vertederos autorizados por las municipalidades; en muy pocos casos las empresas que brindan el servicio hacen una separación de residuos sólidos según su origen y obtienen algún beneficio del reuso, reciclaje, reventa, incineración o transformación de los residuos. Tal es el caso de la empresa BIOREMEDIACION S.A. (BIOREM), la cual tiene una cartera de clientes conformada por empresas de diferentes rubros en la ciudad de Guatemala. BIOREM tiene en sus instalaciones un área de recepción de residuos, otra área para separación de los mismos y un área para fabricación de composta.

Al analizar el procedimiento de separación de residuos sólidos en BIOREM, resalta que sólo los separan en orgánicos e inorgánicos. De aquí surgió la interrogante: ¿Qué resultados se obtendrían en la separación de residuos, si el personal que lo realiza recibiera capacitación en la Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes (Acuerdo Ministerial Número 6-2019) del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala? Para ello, se recolectará la información por parte de BIOREM de la cantidad de residuos y/o desechos sólidos, posterior se realizará la caracterización de residuos sólidos conforme a la Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos sólidos Comunes correspondientes a tres industrias de alimentos los cuales serán separados por sus propiedades físicas en plásticos, papel y cartón, metal no ferroso, vidrio, madera, peligrosos y orgánicos conforme a la guía mencionada al inicio de este párrafo.

También se planteó la pregunta ¿Se lograría un incremento en los volúmenes de residuos sólidos valorizables? Para poder responder esta pregunta se realizará una comparación de los datos recolectados previo al inicio de la caracterización y la cantidad de residuos separados por medio de la guía y el

porcentaje que es destinado para aprovechamiento y así responder la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

El presente estudio detalla como en el capítulo 2 se detalla la parte teórica en la cual se abordan temas como la clasificación de residuos sólidos comunes según la Guía Gráfica para la Identificación de Residuos Sólidos la cual se encuentra dividida en clasificación primara (orgánicos e inorgánicos) y clasificación secundaria la cual se clasifica en plástico, papel y cartón, vidrio, madera y peligrosos, posteriormente se detallan los tipos de tratamiento para cada residuo sólido así como las consecuencias de un mal manejo de residuos sólidos y las ventajas de un correcto manejo de residuos sólidos; como último punto en el marco teórica se detalla la legislación ambienta vigente en Guatemala referente a residuos sólidos.

En el capítulo 3 se describe el diseño metodológico el cual involucra las variables dependientes e independientes utilizadas para el cálculo de densidad y densidad total para el presente estudio. En el capítulo 4 se detalla los resultados obtenidos en cada uno de los sitios de estudio, así como una propuesta de recolección y el costo aproximado que implicaría para BIOREM el tema de capacitación a sus colaboradores en el tema de residuos sólidos.

Posterior a los resultados obtenidos se elabora una interpretación de estos y con base en la teoría se recomienda la forma correcta de aprovechamiento de residuos sólidos.



## **1. ANTECEDENTES**

Biorremediación S.A.-BIOREM- se encuentra ubicada en el municipio de Villa Nueva del departamento de Guatemala. Es una empresa multidisciplinaria que se encarga del manejo de desechos sólidos y aguas residuales del área industrial y proporciona asesoría para la obtención de licencias ambientales y estudios de impacto ambiental.

BIOREM cuenta aproximadamente con más de 50 empresas en su cartera de clientes, y conjuntamente han disminuido el consumo de alrededor de mil millones de litros de agua al año, produciendo entre 5 a 10 toneladas de comida animal, y procesando entre 15 a 20 toneladas de frituras que son reutilizadas para otros procesos, con lo que se evita que lleguen a contaminar los ríos y los suelos. Se calcula que mensualmente BIOREM maneja 500 toneladas de material reciclado.

BIOREM se encarga de transformar residuos orgánicos en nuevos productos para nuevos fines, tales como comida para animales, producción de combustibles y fertilizantes. Sin embargo, la empresa no ha caracterizado los residuos sólidos, limitándose a separarlos en orgánicos e inorgánicos. BIOREM también presta el servicio de recolección de los residuos de puerta a puerta, pero no se ha hecho un análisis espacial de la efectividad de las rutas, por lo que la ruta sugerida se trabajó con base en la aplicación de Google Maps la cual propone la ruta más eficiente dependiendo del tráfico.

En Guatemala no se han realizado estudios de caracterización de residuos y desechos sólidos a nivel empresarial, sin embargo, se ha elaborado en el departamento de Quetzaltenango titulado *Caracterización de los residuos sólidos comunes de la ciudad de Quetzaltenango* por medio del cual lograron determinar la cantidad de residuos y/o desechos que estarán generando a futuro y determinaron el mayor porcentaje de residuos que son recolectado.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. Residuos sólidos**

Se le llama residuo a cualquier tipo de material que es generado por la actividad humana y que es destinado a ser desechado. Los Residuos Sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Pueden ser comunes o domiciliarios, industriales y bioinfecciosos.

En países desarrollados se desechan diariamente una gran cantidad de cosas que en los países en vías de desarrollo volverían a ser utilizadas o seguirían siendo bienes valiosos. Además, muchos residuos se pueden reciclar si se dispone de las tecnologías adecuadas y el proceso es económicamente rentable. Una buena gestión de los residuos persigue precisamente no perder el valor económico y la utilidad que pueden tener muchos de ellos y usarlos como materiales útiles en vez de tirarlos. (Echarri, s.f.)

El mal manejo de nuestros residuos sólidos en la actualidad ha provocado una pérdida de recursos económicos y un grave problema de contaminación del suelo, el agua y el aire. Muchos de los residuos que se encuentran en los vertederos en la ciudad y en el interior del país aún tenían un valor económico antes de ser desechados, pero ese valor se pierde cuando entran en contacto y se contaminan con residuos de distinto origen. Por ejemplo, las industrias de alimentos generan miles de toneladas de aluminio, papel, plástico y madera,

entre otros tipos de residuos, los cuales son recolectados y colocados en los vertederos municipales sin saber que se está perdiendo otra fuente de ingreso para la empresa. Esta pérdida no sólo es económica, también impacta negativamente en el ambiente y provoca un deterioro en la salud de los asentamientos humanos que se encuentran en los alrededores de los focos de contaminación. Diversos estudios han determinado que entre el 75 % y 95 % de los desechos son reciclables y algunos pueden ser reintegrados a la economía.

## **2.2. Clasificación de residuos sólidos comunes en Guatemala**

Los residuos sólidos se clasifican de acuerdo con sus características fisicoquímicas por lo que se dividen en clasificación primaria y secundaria conforme al Acuerdo Ministerial 6-2019 y su reforma 7-2019 Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

### **2.2.1. Clasificación primaria**

- **Orgánicos:** los residuos sólidos orgánicos son los que provienen de productos de origen animal y vegetal, específicamente de restos animales, agricultura y jardinería. Constituyen más del 50 % de los residuos sólidos que se generan en Guatemala y se caracterizan por ser de rápida descomposición. Estos residuos son los responsables de la generación de malos olores en las acumulaciones de desechos y son fuente de alimento para especies nocivas como roedores e insectos dañinos para la salud. Son además productores de metano, uno de los principales gases de efecto invernadero. Manejados adecuadamente, los residuos orgánicos pueden convertirse en abono orgánico a través de la composta o la

biodigestión, por lo que tienen una gran valoración en el reciclaje de los residuos sólidos.

La Guía del MARN establece que la aplicación iconográfica de los residuos orgánicos corresponde a la silueta blanca de una manzana sobre un fondo verde, o una manzana en silueta verde sobre un fondo blanco, con la leyenda Orgánico en tipografía Century Gothic.

Figura 1. **Aplicación iconográfica de los residuos orgánicos**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- Inorgánico: son los residuos sólidos no provenientes de seres vivos, como el plástico, el vidrio, el aluminio, pilas y baterías, neumáticos, telas sintéticas, envases de PVC, entre otros, los cuales no son biodegradables. Se producen en menor cantidad que los orgánicos. No producen malos olores, pero al ser persistentes en la naturaleza, pueden llegar a acumularse y causar serios problemas en el funcionamiento de los ecosistemas. En la Guía del MARN le corresponde la aplicación iconográfica de la silueta de un vaso plástico en línea blanca sobre un fondo negro, o la misma silueta en línea negra sobre fondo blanco, con la leyenda Inorgánico en tipografía Century Gothic.

Figura 2. **Aplicación iconográfica de los residuos inorgánicos**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

### **2.2.2. Clasificación secundaria**

Por medio de una caracterización de residuos sólidos se puede identificar cuáles residuos sólidos orgánicos e inorgánicos son considerados para una categoría secundaria. A continuación, se listan los principales residuos sólidos secundarios:

- **Plásticos:** este tipo de material inorgánico es derivado del petróleo y es comúnmente utilizado para el almacenamiento de alimentos. Los plásticos se identifican del número 1 al 7, el cual indica el tipo de plástico del cual está fabricado el producto. Su manejo se realiza por medio del reciclaje. Su aplicación iconográfica es una silueta de botella, como se muestra en la siguiente figura.

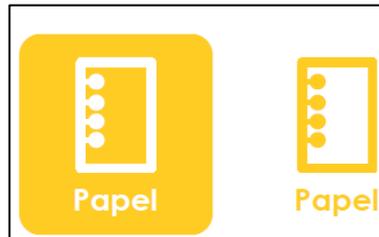
Figura 3. **Aplicación iconográfica para residuos plásticos**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- Papel y cartón: es el tipo de material que se utiliza para actividades de educación, labores de oficina e industria; en esta última en modo de empaque y embalajes; su manejo se realiza por medio de reciclaje. Son de origen orgánico, proveniente de la madera de los árboles. Su mezcla con otros tipos de residuos en el mismo contenedor reduce su valoración, ya que residuos de alimentos y grasas lo contaminan, dificultando su reciclaje. En la Guía del MARN le corresponde la aplicación iconográfica de una hoja de papel estilizada con perforaciones a un lado en línea blanca sobre fondo amarillo, y silueta amarilla sobre fondo blanco con la leyenda Papel en tipografía Century Gothic.

Figura 4. **Aplicación iconográfica de residuos de papel y cartón**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- Vidrio: es un material inorgánico utilizado frecuentemente para el almacenamiento de alimentos y en algunos casos se puede incentivar al uso retornable del mismo o pueden ser dispuestos en reciclaje, debido a que este tipo de material puede ser recuperado en su totalidad. Entre sus cualidades está su durabilidad y fácil limpieza. Para su recuperación se aplica el reúso y el reciclaje, aunque esta última opción consume una gran cantidad de energía. Le corresponde la aplicación iconográfica de una copa de vidrio en silueta blanca sobre fondo y silueta celestes sobre fondo blanco con la leyenda Vidrio en tipografía Century Gothic.

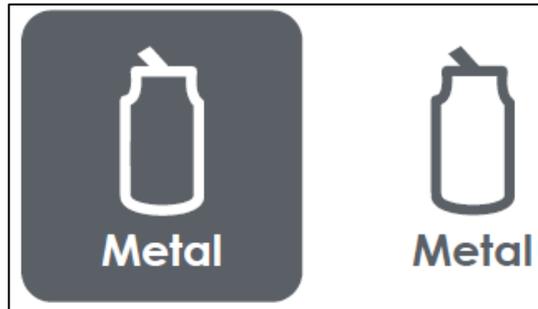
Figura 5. **Aplicación iconográfica para identificación de residuos de vidrio**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- **Metal:** los metales son residuos inorgánicos de origen mineral, muy utilizados para la elaboración de múltiples objetos, requiriendo para su producción de una gran cantidad de energía y agua. Se recuperan en su totalidad a través de procesos industriales de reciclaje. Si se depositan en vertederos comunes generan procesos de oxidación que generan lixiviados altamente contaminantes para los ecosistemas. Su aplicación iconográfica es la silueta en línea blanca de una lata de aluminio sobre un fondo gris o una lata en línea gris sobre fondo blanco con la leyenda Metal en tipografía Century Gothic.

Figura 6. **Aplicación iconográfica para residuos metálicos**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- Multicapas: el nombre de estos residuos hace referencia a su composición, ya que se trata generalmente de envases o recipientes elaborados con una capa interna de aluminio, una capa intermedia de plástico y una capa externa de cartón, destinados para envasar líquidos y alimentos. Su composición mixta orgánica/inorgánica dificulta su degradación en rellenos sanitarios, por lo que es muy importante su recuperación a través del reciclaje. Su aplicación iconográfica es la de un envase de bebida en línea blanca sobre fondo naranja, y envase en línea naranja sobre fondo blanco, con la leyenda Multicapa en tipografía Century Gothic.

Figura 7. **Aplicación iconográfica para residuos multicapa**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

- Residuos especiales: son residuos sólidos de origen orgánico o inorgánico, considerados no peligrosos por su naturaleza, sin embargo, se considera que causan un impacto al ambiente o a la salud, debido a su alto volumen de generación o su difícil degradación, por lo que se requiere implementar un sistema de recuperación específico para ellos, con el fin de reducir la cantidad de desechos generados, evitando una inadecuada disposición o la reducción del tiempo de vida de los rellenos sanitarios. Entre estos residuos se encuentran colchones, escombros, muebles, llantas, entre otros, los cuales se pueden recuperar totalmente a través del reciclaje. No tienen una aplicación iconográfica en la Guía del MARN.
- Residuos peligrosos: son residuos de origen orgánico o inorgánico que contienen sustancias que pueden ser potencialmente peligrosas para la salud o el ambiente, si no son manejados adecuadamente. Entre estos se encuentran las pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos, productos químicos, pañales, medicamentos, cadáveres, jeringas, toallas sanitarias, entre otros. Muchos de estos pueden recuperarse a través del reúso o el reciclaje, pero otros deben desecharse totalmente, requiriendo

de una gestión específica para su disposición final adecuada, ya que no deben mezclarse con otros tipos de residuos sólidos.

Existe una categoría especial que agrupa residuos peligrosos bioinfecciosos, de origen orgánico e inorgánico, generados en el sector de salud humana o animal (laboratorios, clínicas, hospitales, veterinarias y rastros) por lo que se deben de colocar en recipientes o bolsas rojas, debidamente identificados, ya que representan un nivel de peligro potencial para la salud humana, al haber estado expuestos a agentes infecciosos patógenos. Su aplicación iconográfica según el MARN es el mismo icono reconocido mundialmente de cuatro círculos negros sobre fondo blanco.

Figura 8. **Icono utilizado para desechos bioinfecciosos**



Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

### **2.2.3. Clasificación de residuos sólidos según su origen**

- Residuos sólidos urbanos: son aquellos residuos generados en domicilios, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos considerados no peligrosos.

- Residuos industriales: son aquellos generados del proceso de fabricación, transformación de utilización, consumo, limpieza o mantenimiento. Los residuos sólidos industriales pueden ser generados por las siguientes causas:
  - Residuos finales de los procesos: son los residuos de materia prima que ya no fue utilizada en el proceso de operación.
  - Productos rechazados: son productos finales que no cumplen con los criterios de calidad conforme a normas internacionales de fabricación y se convierten en residuos sólidos.
  - Embalajes: son todos los recipientes de almacenamiento y envoltorio de materias primas.
  - Fin de la vida: son los que se generan después de la fecha de vencimiento por lo que no son reutilizados. (UCI, s.f.).
  
- Residuos municipales: son los residuos generados del barrido y limpieza de espacios públicos.
  
- Residuos hospitalarios: provienen de laboratorio u hospitales. Conforme al Acuerdo Gubernativo número 509-2,001 Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios. Se clasifican en:
  - Residuos hospitalarios bioinfecciosos: son los desechos generados durante las distintas etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunizaciones, investigaciones y otros) y que por lo tanto han entrado en contacto con pacientes humanos o animales los cuales representan diferentes niveles de peligro potencial de acuerdo con el grado de exposición que hayan tenido con los agentes infecciosos que provocan las enfermedades.

- Residuos hospitalarios especiales: son todos aquellos desechos generados durante actividades auxiliares en los centros de atención de salud que no han entrado en contacto con los pacientes o con los agentes infecciosos. Estos se subdividen en:
  - Residuos químicos peligrosos: son las sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivas, reactivas, genotóxicos o mutagénicas tales como quimioterapéuticos, antineoplásicos, plaguicidas, solventes, entre otros.
  - Residuos farmacéuticos: son los medicamentos vencidos, contaminados, desactualizados o no utilizados.
  - Residuos radioactivos: son los materiales radiactivos o contaminados con radio núcleos con baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biológica, laboratorios de análisis clínicos y servicios de medicina nuclear.
- Residuos hospitalarios comunes: son todos los residuos generados por las actividades administrativas, auxiliares y generales que no corresponden a ninguna de las categorías anteriores, no presentan peligro para la salud y sus características son similares a las que presentan los desechos domésticos comunes.
- Otros residuos: son los desechos de equipo médico obsoleto o sin utilizar.

- Residuos sólidos de construcción: son los desechos provenientes de construcciones debido a ampliaciones, remodelaciones o elaboración de una nueva edificación, los cuales pueden aprovecharse y no presentan un gran impacto por lo que son considerados desechos inertes.

#### **2.2.4. Clasificación de residuos en la Unión Europea**

La Unión Europea publicó en septiembre de 2016 una guía de residuos sólidos comunes municipales, divididos en primarios y secundarios. Según esta guía, los residuos sólidos comunes pueden tener cuatro categorías de recuperación o disposición final:

- Incineración (separadamente según se recupere o no se recupere energía).
- Disposición final en el suelo en relleno sanitario.
- Recuperación a través del reciclaje (con exclusión de compostaje o fermentación).
- Compostaje o biodigestión.

La clasificación de los residuos sólidos comunes, según esta guía, se basa en los materiales que pueden separarse en los hogares y en las municipalidades:

- Papel y cartón, consiste en papel y cartón de embalaje, así como en papel gráfico.
- Textiles, consiste en ropa y otros textiles, por ejemplo, alfombras.

- Plásticos, consiste en envases de plástico y productos de plástico.
- Vidrio, consiste en envases de vidrio y otros productos de vidrio, por ejemplo, vidrio plano, lámparas o platos; incluye vidrio transparente y vidrieras.
- Metales, consiste en envases metálicos, por ejemplo, latas y chatarra de los hogares; comprende metales ferrosos y no ferrosos.
- Materiales orgánicos: desechos de cocina (restos de comida, entre otros), desechos de jardín (recortes de césped, hojas, entre otros). No se considera el compostaje doméstico.
- Residuos domésticos peligrosos (Eurostat 2012): disolventes gastados, ácidos, alcalinos, fotoquímicos, pesticidas, aceites usados, pinturas, tintas, adhesivos y resinas (parcialmente peligrosas), residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (parcialmente peligrosos), pilas y acumuladores (parcialmente peligrosos), detergentes (parcialmente peligrosos), medicamentos peligrosos.
- Otros residuos: aceites y grasas comestibles, residuos de caucho, cerámica, entre otros.
- Residuos voluminosos: residuos que por su gran volumen necesitan consideraciones especiales para su manejo. Incluye desechos de madera y otros materiales voluminosos, como productos metálicos.
- Residuos mixtos de hogares e instituciones similares con la excepción de fracciones recolectadas por separado.

- Residuos de servicios municipales, como materias orgánicas de los servicios del municipio: residuos de jardines y parques de los municipios. Residuos del mantenimiento de los bordes de las carreteras, si se gestionan como residuos. Los recortes de césped, que quedan en el suelo, quedan excluidos.
- Residuos de cocina y comedor: residuos de papeleras públicas y basura callejera, residuos de limpieza de mercados y residuos de cementerio.

Salta a la vista que la clasificación de residuos sólidos comunes de la Unión Europea (Región Oeste) es mucho más amplia y completa que la existente en Guatemala.

A continuación, se presenta un cuadro que compara la clasificación de los residuos sólidos comunes contenida en el Acuerdo Ministerial 7-2019 Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes publicado el 8 de enero 2019 y la Clasificación de Residuos Sólidos de *European Neighborhood Partnership Instrument (Eastern Region)*.

Tabla I. **Clasificación de residuos sólidos conforme a la Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes Acuerdo Ministerial 7-2019 y Clasificación de Residuos Sólidos conforme European Neighborhood Partnership**

Acuerdo Ministerial 7-2019 Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes, MARN	European neighborhood partnership instrument (eastern region). Municipal wastes and similar commercial, industrial and institutional wastes including separately collected fractions (2011)
<b>Papel y cartón</b>	Papel y carton
<b>Vidrio</b>	Vidrio
<b>Plástico</b>	Plásticos pequeños
	Otros plásticos
<b>Metal</b>	Metales pequeños
	Otros metales
	Madera
<b>Orgánico</b>	Desechos orgánicos de cocina
	Solventes
	Ácidos
	Alcalinos
	Fotoquímicos
	Tubos fluorescentes y otros contenedores con mercurio
<b>Residuos peligrosos</b>	Aerosoles
	Equipo sin uso con contenido de clorofluorocarbonos
	Aceite de combustible y grasa
	Aceite y grasa
	Pintura, tinta, adhesivos y resinas
	Equipo para descartar
<b>Residuos especiales</b>	
<b>Multicapas</b>	
<b>Inorgánico</b>	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Como se puede observar en el cuadro anterior la *European Neighborhood Partnership Instrument* indica una clasificación más detallada con base en los sistemas de clasificación entre cada uno de los países de estudio. Como ejemplo se puede tomar el plástico. En la guía establecida por MARN indica que los

plásticos se consideran PET, poliuretano y plástico rígido por lo cual son destinados a reciclaje. Mientras que en la guía propuesta por la Unión Europea aparecen los plásticos pequeños, clasificados así aquellos que tienen como mínimo 5 milímetros de largo, los cuales provienen del poliestireno y acrílico de las prendas de ropa, los cuales tienen un alto impacto en el ambiente si no son dispuestos correctamente, incluso han sido encontrados flotando en los océanos. Con base en este panorama se puede concluir que una clasificación de calidad es un apoyo para la incorporación de un residuo sólido en la economía circular.

### 2.3. Caracterización y degradación de residuos sólidos

La composición física de los residuos sólidos para su posterior tratamiento y /o disposición final toma un papel importante por lo que a continuación se presenta una caracterización con base a la composición física de los residuos sólidos:

Tabla II. **Composición física de residuos sólidos**

Componente	Tipo de residuo
<b>Orgánico</b>	Restos de alimentos, agricultura y jardinería
<b>Plástico</b>	Envases de alimentos reutilizables, desechables, bolsas, implementos de aseo, juguetes, entre otros
<b>Papel y Cartón</b>	Periódicos, revistas, cajas, papel usado
<b>Vidrio</b>	Recipientes de vidrio
<b>Metal</b>	Baterías, latas, marcos de hierro
<b>Residuos Especiales</b>	Material de construcción, colchones, muebles y llantas
<b>Residuos Peligrosos</b>	Pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos, acumuladores, productos químicos, medicamentos, jeringas, pañales, toallas sanitarias, entre otros
<b>Inorgánicos</b>	Son todos los sólidos que se produzcan en menor cantidad

Fuente: MARN. (2019). *Acuerdo 7-2019. Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes.*

A continuación, se presenta una tabla sobre los residuos sólidos generados en el área urbana y su tiempo de degradación.

Tabla III. **Tiempo de degradación de los residuos sólidos**

Producto	Tiempo
Desechos orgánicos vegetales	3 a 4 semanas
Una página de papel bond	3 a 8 semanas
Materiales de algodón y lino (no sintéticos)	1 a 5 meses
Lazo	3 a 14 meses
Una media de lana	1 año
Papel celofán	1 a 2 años
Bambú	1 a 3 años
Zapato de cuero no sintético	3 a 5 años
Envase de lata	10 a 100 años
Estaca de madera pintada	12 a 15 años
Envase de aluminio	350 a 500 años
Material Plástico	500 años
Cerámica, vidrio, loza, vinil	Indefinido

Fuente: GREENPEACE, Centroamérica. (1998). *Manual del Ciudadano sobre Desechos Sólidos*.

## 2.4. Características de los residuos sólidos

Las características están definidas por las propiedades físicas y químicas de los componentes de los residuos sólidos comunes lo cual constituye un aspecto importante para su manejo y disposición.

### 2.4.1. Peso específico o densidad

Es un parámetro que aporta información para dimensionar los recipientes que se utilizarán para el acopio temporal de los residuos.

$$\text{Densidad de residuos sólidos} = \frac{\text{masa de residuo sólido (Kg)}}{\text{volumen de residuo sólido (m}^3\text{)}}$$

## 2.5. Generación de residuos sólidos

El crecimiento desordenado de la población en el área urbana y la falta de políticas claras para el cuidado del medio ambiente y sobre todo la falta de

cumplimiento de la política ambiental instaurada en Guatemala ha provocado flujos de contaminación por medio de materiales gaseosos, líquidos y sólidos; en dimensiones que exceden las capacidades de asimilación de los ecosistemas naturales nacionales. La tabla muestra una comparación entre países de Latinoamérica con respecto a la composición de residuos sólidos.

Tabla IV. **Composición de residuos sólidos presentados en porcentaje, perteneciente a Latinoamérica y Guatemala**

<b>País</b>	<b>Cartón Papel</b>	<b>Metales</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Textiles</b>	<b>Plásticos</b>	<b>Orgánicos</b>	<b>Otros</b>
<b>Barbados</b>	20	0	0	0	9	59	12
<b>Belice</b>	5	5	0	0	5	60	20
<b>México</b>	20	3.2	8.2	4.2	6.1	43	27.1
<b>Costa Rica</b>	19	0	2	0	11	58	10
<b>El Salvador</b>	18	0.8	0.8	4.2	6.1	43	27.1
<b>Perú</b>	10	2.1	1.3	1.4	3.2	50	32
<b>Ecuador</b>	9.6	0.7	3.7	0	4.5	71.4	0
<b>Guatemala</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>44</b>	<b>11</b>

Fuente: Universidad Rafael Landívar. (2016). *Perfil Ambiental 2016*.

En 2009 Guatemala generó aproximadamente 1,746,059 toneladas de desechos sólidos domiciliarios comunes, de los cuales el 26 % fue depositado en sitios no autorizados, 30 % fue quemado, el 30 % fue recolectado por el tren de aseo municipal o privado y el 14 % de los desechos sólidos fue enterrado o para reciclaje (Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2015). En la tabla siguiente se presenta la cantidad de residuos sólidos de cada sector económico.

Tabla V. **Generación de residuos sólidos por sectores de la economía nacional, en toneladas (2001 a 2006). Guatemala**

Actividad	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Agricultura</b>	17,504,222	17,968,016	18,141,819	18,969,089	19,452,734	19,075,981
<b>Biodiversidad</b>	744,554	764,064	1,346,789	703,894	856,564	766,366
<b>Minería</b>	20,938	24,877	27,247	26,434	20,696	19,466
<b>Industria</b>	62,233,185	71,742,841	65,054,607	89,214,621	79,187,994	92,446,900
<b>Servicios</b>	40,710	40,124	39,297	38,674	38,361	37,860
<b>Hogar</b>	1,321,016	1,350,053	1,383,067	1,416,754	1,444,909	1,485,973
<b>Importaciones</b>	1,921	1,549	1,748	3,396	2,025	1,664

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. (2011). *Compendio Estadístico 2010*.

La caracterización de residuos sólidos cambia de país a país debido a que la actividad económica es distinta, por lo que a continuación se presenta la composición de los residuos sólidos en Guatemala de acuerdo con el Informe Ambiental de Estado de Guatemala en el año 2016:

Tabla VI. **Composición de residuos sólidos en Guatemala, 2016**

Año	Composición	Producción (%)
2016	Materia orgánica	34.2
	Papel y cartón	18.6
	Madera y follaje	2.9
	Caucho y plástico	17
	Cuero	2
	Vidrio y lata	28
	Textiles	2.8
	Ripio	13

Fuente: GREENPEACE, Centroamérica. (1998). *Manual del Ciudadano sobre Desechos Sólidos*.

El departamento de Guatemala cuenta con un vertedero municipal de residuos sólidos, ubicado en la zona 3 de la ciudad de Guatemala, y un relleno

sanitario en el Municipio de Villa Nueva, el cual cuenta con un sistema de tratamiento de lixiviados de tipo anaeróbico.

## 2.6. Residuos sólidos en el sector de alimentos

La industria alimenticia constituye uno de los sectores más dinámicos, en respuesta a las necesidades sociales de consumo, cada vez más exigentes. Este crecimiento ocasiona que la producción de residuos sólidos aumente. Estos residuos sólidos provienen de materia primas alimentarias básicas cuyo reciclaje puede llegar a causar un problema económico y ecológico. Los residuos generados por esta industria son muy ricos en sustancias no aprovechables por el sector de donde provienen, pero pueden ser aprovechados por otro sector. Al momento de recibir este tipo de residuos lo que se realiza es una extracción de nutrientes y otras sustancias bioactivas las cuales pueden llegar a representar ingredientes valiosos para la elaboración de otro tipo de alimentos.

Tabla VII. **Producción de residuos sólidos en la industria de alimentos 2010-2016**

Composición	Producción (%)
<b>Residuos Industriales</b>	46
<b>Vidrio</b>	27
<b>Plástico</b>	16
<b>Papel</b>	5
<b>Madera</b>	4
<b>Metal</b>	1
<b>Aluminio</b>	Menos de 1
<b>Residuos Peligrosos</b>	1

Fuente: GREENPEACE, Centroamérica. (1998). *Manual del Ciudadano sobre Desechos Sólidos*.

La investigación se concentró en tres industrias de las cuales se describe su proceso productivo.

### **2.6.1. Proceso productivo de embotelladora de bebidas gasificadas**

Para la elaboración de bebidas gasificadas se utilizan los siguientes elementos:

- Agua
- Concentrado para el sabor de la bebida
- Azúcar
- Gas carbonatado

Para el proceso de producción de bebidas gasificadas se utiliza agua proveniente de pozos subterráneos, la misma es sometida a muestreos para verificar que el agua es la adecuada para consumo humano conforme a la norma correspondiente y es almacenada en una cisterna.

Como primer paso se remueven minerales como el calcio y magnesio para evitar que ocasionales incrustaciones de sales en la tubería y ductos puedan ocasionar obstrucción en un futuro, este proceso se realiza por medio de un reactor clarificador en el cual se agregan elementos como cal, sulfato de aluminio, solución de cloro y cloruro de calcio, posteriormente se traslada a un filtro de arena el cual se encarga de eliminar compuestos y materia en suspensión, el agua resultante pasa por un filtro purificador que elimina cloro y por último pasa por un filtro pulidor que detiene partículas mayores a 5 micras.

El agua con el jarabe pasa por un equipo que enfría la bebida a un promedio de 2 grados Celsius y se le inyecta el gas carbónico. Por último, se coloca en el envasado plástico, de aluminio o de vidrio que ha sido previamente inspeccionado y desinfectado para su uso.

### **2.6.2. Proceso productivo de una empresa de lácteos**

A continuación, se presenta el proceso de producción estándar de una industria de lácteos:

- Extraer leche de vaca.
- Trasladar a un tanque de refrigeración y realizar una evaluación organoléptica para verificar su cumplimiento con la calidad para consumo.
- Transferir a un filtro primario y refrigerar.
- Descargar hacia una serie de filtros y almacenar en un tanque silo.
- Llevar a cabo el proceso de pasteurización y homogenización.
- Envasar.

### **2.6.3. Proceso productivo de frituras**

La fritura es un proceso de deshidratación en el que las sustancias solubles en agua se extraen del producto que se fríe y se traspasan a la grasa de cocinar; al mismo tiempo, el producto que se fríe absorbe la grasa que le rodea; durante este proceso el agua se evapora, la misma se transporta a la superficie para que se evapore.

El recubrimiento de vapor que rodea al producto impide que la grasa penetre demasiado rápido; si el contenido en agua del producto disminuye,

entonces se reduce el recubrimiento de vapor protector y la grasa caliente puede entrar a través de los poros y se cocerá el centro del producto a freír.

Al mismo tiempo la temperatura en la superficie del producto a freír aumenta y produce el emparedamiento (reacción de Maillard), dependiendo de la calidad y edad de la grasa, este procedimiento puede suceder con mayor o menor rapidez y, por consiguiente, influye sobre la calidad de los productos a freír.

- La extracción rápida del agua: si el agua escapa con demasiada rapidez (con grasas más viejas), puede entrar más grasa a través de los poros y cocerse demasiado el producto frito (Se quema la fritura).
- La extracción lenta del agua: si la extracción del agua es muy lenta (con grasa fresca) entonces la costra se cocina con mucha rapidez y no permite que se evapore el agua suficiente del centro (La fritura sale cruda).

## **2.7. Tipo de tratamientos de residuos sólidos**

- Reciclaje: es el proceso de convertir los materiales de desecho en materia prima o en otros productos, de tal manera que se extienda la vida útil, evitando la acumulación de desechos sólidos.

Entre los materiales que se consideran aptos para reciclaje se encuentran el cartón, vidrio, aluminio, papel y distintos tipos de plásticos. Los materiales mencionados anteriormente pueden ser utilizados para procesos de reaprovechamiento cuyo objetivo es iniciar nuevamente el ciclo de utilidad del material recolectado.

- Co-procesamiento: consiste en la integración segura de residuos generados por una industria o fuente conocida a otro proceso productivo, el Co-procesamiento convierte los residuos en recursos.

Las empresas que se dedican a producir cemento por medio del Co-procesamiento recuperan la energía y la materia contenida en los residuos para utilizarla en la producción de cemento.

Beneficios del co-procesamiento en hornos cementeros:

- Reducción de impactos en la salud y el medio ambiente.
  - Eliminación segura y definitiva de residuos industriales.
  - Reducción de la emisión de Dióxido de Carbono y Óxido de Nitrógeno.
  - Reducción de costos en el manejo de residuos.
  - Elevación en la jerarquía tecnológica, en la gestión de residuos.
  - Mejora la competitividad del sector industrial.
  - Es una forma segura de gestión de residuos la cual recupera el contenido de energía y minerales para su uso como combustible y material en proceso de fabricación.
  - Permite preservar combustibles fósiles y recursos minerales naturales.
- Biodigestión: es un proceso biológico el cual se lleva a cabo por medio de microorganismos anaeróbicos, que se desarrollan en ambientes con ausencia de oxígeno; posteriormente al tratamiento, la materia orgánica genera un biogás del cual se obtiene un biofertilizante caracterizado por tener un alto contenido de nutrientes que puede aplicarse a cultivos con fines no alimenticios.

- Incineración: es un proceso que se lleva a cabo por medio de una combustión controlada en la cual se transforma la fracción orgánica de los residuos en materia inertes y gases (cenizas, CO<sub>2</sub> y agua).
- Reutilización: es la acción de utilizar un componente o material sin someterlo a ningún tratamiento previo.
- Comida animal: es el proceso que consiste en la trituración de residuos inorgánicos no peligrosos para ser utilizados como comida animal.
- Compostaje: es una técnica que transforma de forma acelerada todo tipo de restos orgánicos de tal forma que se pueda obtener compost o abono natural. Este tipo de proceso se lleva a cabo a través de un compostador sin ningún tipo de mecanismo o motor. La empresa BIOREM cuenta con una compostera en donde se desarrolla en términos generales el siguiente proceso:
  - Descarga materia orgánica del camión.
  - Depósito de la materia orgánica en macro túnel.
  - Aplicación de bacterias mesófilas y termófilas que ayudan en la aceleración del compostaje.
  - Volteo de capa cada semana hasta que el producto esté seco.
  - Una vez seco se traslada a un molino para empaque.

El área de compostaje de BIOREM cuenta con aproximadamente 500 macro túneles, los cuales funcionan creando un efecto invernadero, lo que acelera la deshidratación de la materia orgánica.

Figura 9. **Macro túnel**



Fuente: BIOREM. (s.f.). *Soluciones que dan vida*. Consultado el 10 de octubre de 2019.  
Recuperado de <https://solucionesbiorem.com/>.

- *Waste to energy*: es el término que se refiere al aprovechamiento energético de residuos sólidos.
  - Incineración: es la combustión de material orgánico con energía recuperable.
  - Tecnología térmica: existen diferentes tipos de tecnología térmica. Se pueden mencionar la gasificación, que produce combustibles gaseosos como el hidrógeno, gasolina, queroseno, gasóleo; la pirolisis que produce bioaceite; la despolimerización térmica que produce petróleo crudo sintético el cual puede ser procesado para su refinación; la gasificación por arco de plasma la cual produce gas incluyendo hidrógeno y monóxido de carbono, utilizados para generar electricidad.

- Tecnología no térmica: de este tipo se pueden mencionar la digestión anaeróbica rica en metano, la fermentación, el tratamiento biológico y el mecánico.

## **2.8. Consecuencias de la inadecuada gestión de residuos sólidos**

El manejo inadecuado de desechos sólidos, el aumento de actividades productivas industriales y el crecimiento de la población mundial a través de los años, genera impactos negativos hacia el ambiente y la salud de las personas; la inadecuada disposición final en vertederos o rellenos sanitarios clandestinos provoca que la población interactúe con ellos de forma que se pone en riesgo la salud.

De acuerdo con una investigación realizada por la Universidad Nacional de Timor Lorosa é en Timor Oriental, se determinó que la inadecuada disposición de residuos sólidos provoca enfermedades respiratorias agudas con un 8.6 % de incidencia en la población, seguida muy de lejos por el parasitismo intestinal con 2.2 %, diarreas con un 1.1 %, dengue con un 0.3 % y malaria con 0.1 %. Esto se debe a que la quema no controlada de residuos plásticos, industriales, baterías y pilas produce gases que son perjudiciales para la salud del ser humano.

Los efectos de la inadecuada disposición de los residuos sólidos pueden clasificarse en directos e indirectos.

### **2.8.1. Efectos directos**

Este concepto se refiere al contacto ocasional directo con los desechos, en algunas de esas ocasiones se tiene contacto con desechos provenientes de

seres humanos, animales y restos de otros agentes, los cuales pueden ser una fuente transmisora de enfermedades.

### **2.8.2. Efectos indirectos**

Los efectos indirectos están vinculados a los vectores de importancia sanitaria entre los cuales se encuentran las moscas, ratas, cucarachas. Estos vectores se encuentran en los residuos sólidos.

### **2.8.3. Efectos sobre el medio ambiente**

La ineficiencia del manejo de residuos sólidos produce deterioro del paisaje natural, contaminación de agua, suelo y aire; también produce cambios perjudiciales en las características físicas, químicas y biológicas en el aire, tierra, agua y alimentos; lo cual causa afecciones a la vida del ser humano, plantas y animales, lo que genera deterioro en los recursos naturales renovables y no renovables.

- La inserción de materiales peligrosos desechos comunes o industriales, entre otros, provoca un desequilibrio físico, químico y biológico, lo cual afecta de manera negativa a las plantas, humanos y animales.
- El incremento de carga orgánica en las aguas disminuye el oxígeno disuelto, lo cual es consecuencia del vertido directo de desechos sólidos hacia los ríos y quebradas; esto aumenta los niveles de nutrientes y algas, en detrimento de peces y otra fauna acuática.
- Los incendios que se desarrollan en botadores a cielo abierto tienen como consecuencia el daño a la salud del ser humano, plantas y animales.

Figura 10. **Alteración al medio ambiente**



Fuente: Ecología Verde. (s.f.). *Como afecta la contaminación al medio ambiente*. Consultado 4 de abril de 2020. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com>.

## **2.9. Manejo integral de los residuos sólidos**

El manejo integral de residuos sólidos es el conjunto de adoptar todas las medidas necesarias de prevención, minimización, separación, almacenamiento, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos peligrosos, no peligrosos y especiales el cual busca prevenir o disminuir el riesgo de posibles afectaciones sobre la salud y el ambiente. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017, p. 8).

Las etapas del manejo integral de los residuos sólidos es el siguiente:

- Realizar un diagnóstico ambiental.

- Formular el compromiso institucional.
- Diseñar la estructura funcional y asignar responsabilidades.
- Definir o establecer mecanismos de coordinación.
- Gestionar el presupuesto para implementar las medidas de Manejo Integral de Residuos.
- Velar por la ejecución de las medidas establecidas en el Manejo Integral de Residuos.
- Realizar campañas de capacitación periódicas.
- Establecer medidas para el mejoramiento continuo en relación con el manejo integral de los mismos.
- Verificar que las empresas a las que se hace entrega de residuos peligrosos y especiales cuentan con Licencia Ambiental vigente aprobada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

#### **2.10. Normativa de residuos sólidos en Guatemala**

En el país existen normas y reglamentos de caracterización de desechos sólidos. A continuación, se presentan las más importantes.

### **2.10.1. Leyes vigentes en el manejo de residuos sólidos en Guatemala**

- Constitución Política de la República de Guatemala (Reformada por Acuerdo Legislativo No. 18-93 del 17 de noviembre de 1993)

Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. (Constitución Política de la República de Guatemala, 1985, p. 18)

- Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental. Acuerdo Gubernativo 137-2016

El objetivo principal de este reglamento es la determinación de las características y los posibles impactos ambientales, para orientar el desarrollo en armonía con la protección del ambiente y los recursos naturales.

- Reglamento de manejo de desechos sólidos para el Municipio de Guatemala. Acuerdo de Consejo Municipal COM 028-2002.

Este reglamento regula el sistema de almacenamiento, limpieza, recolección, transporte, reciclaje y disposición final de los desechos sólidos en el Municipio de Guatemala.

Artículo 8. En todo proyecto, obra, industria o cualquier actividad que desarrolle toda persona individual o jurídica y que por sus características requiera de un Estudio de Impacto Ambiental, deberá contemplarse una evaluación relacionada con el proceso del manejo de desechos sólidos que el mismo tendrá y en el que involucrará a la Municipalidad de Guatemala para su autorización, control y supervisión. (Diario de Centroamérica, 2002, p. 4)

- Política nacional para la gestión integral de residuos y desechos sólidos. Acuerdo Gubernativo 281-2015.

Este Acuerdo Gubernativo tiene como objetivo principal la implementación y fortalecimiento de la gestión integral de los residuos y desechos sólidos con los actores y sectores involucrados a través de la participación social para proporcionar un desarrollo sostenible en Guatemala.

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

El objetivo de esta ley es velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

- Acuerdo Ministerial 6-2019 Guía para la identificación gráfica de los residuos sólidos comunes (MARN, 2019)

El objetivo principal es establecer el color y gráfica según tipos de residuos sólidos comunes que puedan ser aplicables en el país para la clasificación desde la fuente de generación.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Las variables involucradas para el informe final se muestran en la siguiente tabla, según su intervención en el diseño metodológico:

Tabla VIII. **Resumen de variables**

Variable	Dimensional
<b>Independiente</b>	
Masa	Kg
Volumen	m <sup>3</sup>
Altura	m
<b>Dependiente</b>	
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

#### 3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente estudio se realizó en tres plantas industriales pertenecientes al sector de alimentos, ubicadas en la Ciudad de Guatemala, departamento de Guatemala.

#### 3.3. Recursos humanos disponibles

Investigadora: Karhild Violeta Moreno Cadenas

Asesorada por: Ingeniero Carlos Vinicio Godínez Miranda

Profesional de la empresa BIOREM: Ingeniero Carlos Pérez

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Se describen a continuación los recursos materiales disponibles con los que se contaron.

#### **3.4.1. Materiales**

- Formulario de recolección de información
- Bolsas plásticas
- Lapicero
- Etiquetas identificadoras
- Cilindro de metal con capacidad de 5 galones

#### **3.4.2. Equipo**

- Balanza
- Computadora portátil
- Calculadora
- Instalaciones de acopio pertenecientes a BIOREM
- Equipo de protección personal

### **3.5. Técnicas cualitativas y cuantitativas**

La obtención de datos para este proyecto se realizó a través de técnicas cualitativas y cuantitativas. El enfoque cualitativo se realizó por medio de visitas a las plantas correspondientes; en tanto que el enfoque cuantitativo se realizó por

medio del análisis de densidad e interpretación para el aprovechamiento de residuos sólidos.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación, se detalla el procedimiento llevado a cabo en la empresa BIOREM, para efectuar la separación de los residuos sólidos en orgánicos e inorgánicos:

#### 3.6.1. Recepción de residuos sólidos en la empresa BIOREM

Las tres empresas seleccionadas para este estudio generan un promedio diario y mensual de residuos sólidos sin clasificar, con las siguientes características:

Tabla IX. **Producción de residuos sólidos sin clasificar de tres empresas del sector alimenticio en Guatemala**

Empresa	Generación diaria promedio de residuos sólidos sin clasificar en Kg	Generación mensual promedio de residuos sólidos sin clasificar en Kg
Embotelladora	5,733.02	171,990.47
Frituras	2,382.57	71,447.14
Lácteos	1,881.41	56,442.30

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de BIOREM. (s.f.). *Soluciones que dan vida*. Consultado el 10 de octubre de 2019. Recuperado de <https://solucionesbiorem.com/>.

Los residuos que son generados provienen del área de producción, control de calidad y administración. La empresa BIOREM cuenta con procesos establecidos para la recolección de los residuos sólidos, la cual se realiza a requerimiento de las empresas.

### 3.6.2. Aplicación de metodología siguiendo la clasificación de la guía del MARN

El objetivo de utilizar esta metodología fue determinar si era posible obtener una mayor masa de residuos sólidos valorizables, tanto orgánicos como inorgánicos. Eventualmente, también designar un mejor tratamiento basado en los datos obtenidos. Se implementó el método recomendado por la Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes del MARN. Los pasos desarrollados fueron los siguientes:

- Se llevó a cabo la capacitación dirigida a los colaboradores que trabajan en el área de separación de residuos sólidos; la capacitación se impartió a un total de 4 colaboradores. Durante la capacitación se les explicó en qué consisten los residuos orgánicos e inorgánicos, características físicas de los residuos sólidos para su identificación, el proceso de pesaje y se les explicó el motivo por el cual se deben separar los residuos y las ventajas que esto conlleva tanto para BIOREM como para el ambiente.
- Se realizó la mezcla de residuos sólidos y se procedió a su separación de acuerdo a sus características físicas, posteriormente se tomó la muestra de cada uno de los residuos sólidos para así poder realizar las pruebas de densidad correspondiente. La fórmula para el cálculo de muestra fue la siguiente:

$$N = \frac{z^2 * p * (1-p)}{d^2}$$

En donde:

N = Cantidad de la muestra en unidades peso

z = Factor de la distribución normal, que puede tomarse igual a 2.0

p = Proporción del total que posee la característica deseada

q = (1-p) Proporción del total que no posee la característica deseada

d = Precisión deseada en la proporción (es razonable un valor de 2.5 % (0.025))

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con base en la fórmula descrita anteriormente:

Tabla X. **Tamaño de muestra correspondiente a cada una de las plantas**

<b>Descripción</b>	<b>Peso (kg)</b>
<b>Planta Embotelladora</b>	3,555.91
<b>Planta de Frituras</b>	2,674.03
<b>Planta de Lácteos</b>	2,782.45

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Una vez determinada la muestra, se procedió a determinar la densidad cuando correspondió.
- Se procedió a pesar el total de residuos que irían a compostaje, a reúso y a disposición final.
- Se tabularon los datos.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la clasificación de los residuos sólidos utilizando la guía del MARN en cada una de las empresas seleccionadas para el estudio.

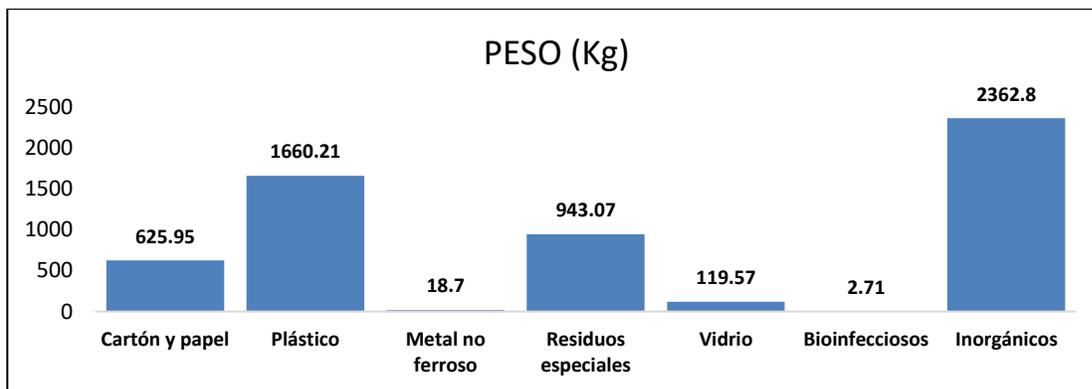
Tabla XI. **Tipos de residuos sólidos identificados en planta embotelladora con base a Guía del MARN**

Tipo de residuo	Peso promedio (Kg)
Cartón y papel	625.95
Plástico	1,660.21
Metal no ferroso	18.70
Madera	943.07
Vidrio	119.57
Bioinfecciosos	2.71
Recuperables	2,362.80

\*Nota: los residuos bioinfecciosos son mascarillas quirúrgicas desechadas.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Figura 11. **Gráfica 1. Residuos identificados en planta embotelladora y peso en Kg**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

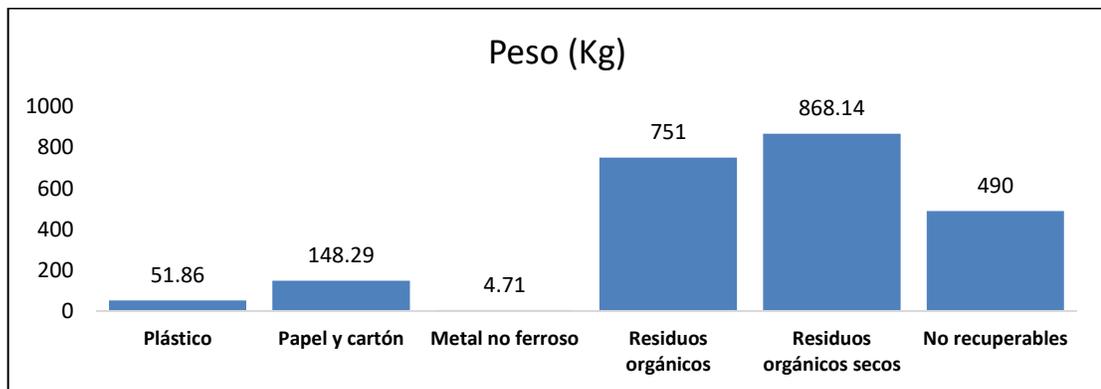
Tabla XII. **Tipos de residuos sólidos identificados en planta de fritura con base a Guía del MARN**

Tipo de residuo	Peso promedio (kg)
Plástico	51.86
Papel y cartón	148.29
Metal no ferroso	4.71
Residuos orgánicos	751
Residuos orgánicos secos	868.14
No recuperables	490

\*Nota: Los residuos bioinfecciosos son mascarillas quirúrgicas desechadas.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Figura 12. **Gráfica 2. Residuos identificados en planta de frituras y peso promedio en Kg**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

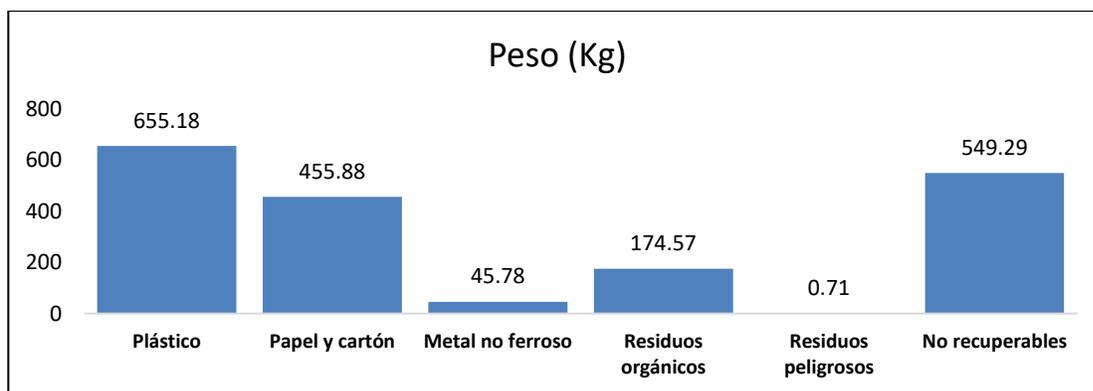
Tabla XIII. **Datos obtenidos en planta de lácteos con base a Guía del MARN**

Tipo de residuo	Peso promedio (Kg)
Plástico	655.18
Papel y cartón	455.88
Metal no ferroso	45.78
Residuos orgánicos	174.57
Bioinfeccioso	0.71
No recuperables	549.29
Plástico	655.18

\*Nota: Los residuos bioinfecciosos son mascarillas quirúrgicas desechadas.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Figura 13. **Gráfica 3. Representación gráfica de residuos identificados en planta de lácteos**

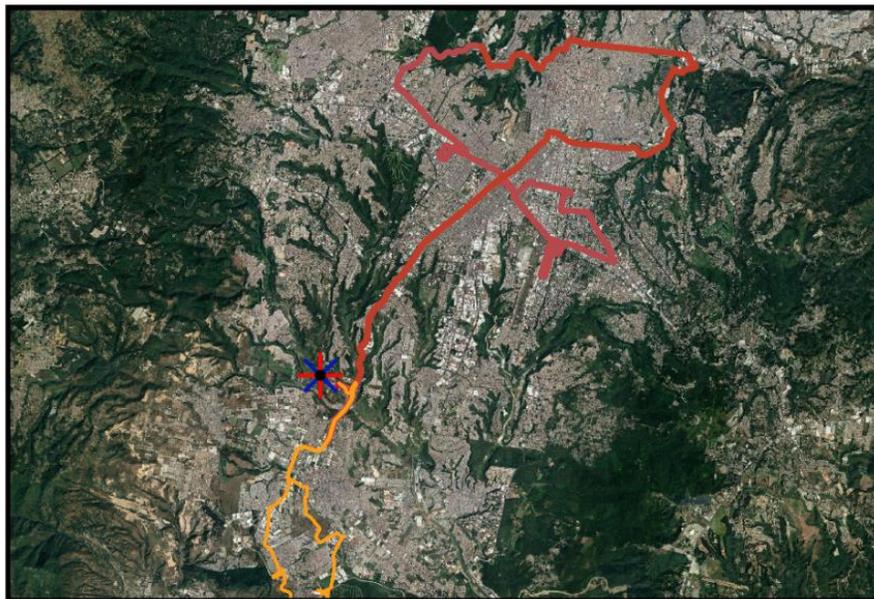


Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

### 3.7.1. Clasificación y separación de residuos sólidos en la empresa BIOREM

BIOREM actualmente cuenta con una ruta para la recolección de residuos sólidos y camiones con una capacidad aproximada de 3 toneladas la cual se muestra en la siguiente figura:

Figura 14. **Rutas actuales**



Fuente: elaboración propia, realizado con QGIS.

Con la ruta que se muestra en la imagen anterior, figura 14, la empresa BIOREM recolecta los residuos sólidos conforme la necesidad de los clientes lo cual se estima que se realizan 4 veces a la semana y es realizada en un total de tres horas y media y la cantidad de camiones depende del número de recolectas que se deban de realizar.

Una vez los residuos son recolectados se trasladan hacia las instalaciones de BIOREM para su clasificación en orgánicos e inorgánicos.

El procedimiento que se desarrolla es el siguiente:

Los residuos son separados de forma manual en las instalaciones de BIOREM entre orgánicos, que están compuestos de residuos de comida exceptuando huesos de animal, e inorgánicos. Actualmente la empresa BIOREM no utiliza una normativa específica para la separación de los residuos; la misma es realizada dependiendo de las características físicas del residuo que es recibido en las instalaciones.

Una vez los residuos son separados, se procede a realizar el pesaje por medio de una balanza.

Los residuos orgánicos son trasladados a la compostera; es importante mencionar que la compostera no recibe residuos orgánicos con hueso o servilletas debido a su diseño; de acuerdo a lo mencionado anteriormente los residuos de hueso o servilletas son dispuestos hacia el vertedero municipal autorizado.

Los residuos inorgánicos son utilizados como reciclaje y co-procesamiento dependiendo del tipo de residuo sólido.

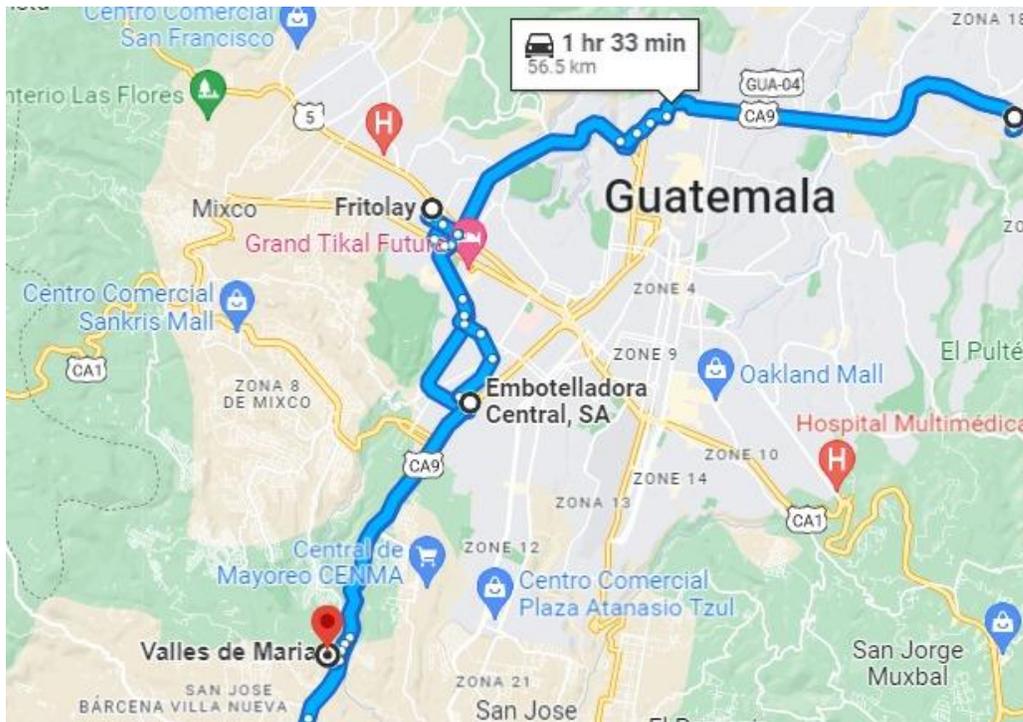
### **3.7.2. Elaboración de rutas de recolección de desechos sólidos**

Actualmente la empresa BIOREM cuenta con una ruta establecida la cual se determina por la demanda de clientes por ello para estas tres empresas se sugiere el realizar una ruta con base en lo siguiente:

- Distancia
- Toneladas generadas diarias
- Capacidad de los camiones recolectores
- Horario de recolección

Para determinar la ruta más idónea se utilizó la aplicación de Google Maps y se analizó las rutas en horarios de mayor circulación vehicular y fuera de la restricción de vehículos los cuales corresponden entre los horarios de 09:00 a 16:30 horas.

Figura 15. **Mapa de ruta proporcionada por Google Maps**



Fuente: elaboración propia, realizado con Google Maps.

### 3.8. **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se efectuó solamente sobre las diferentes proporciones de residuos sólidos clasificados según la Guía de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes, para determinar sus porcentajes y en qué proporción variaron las masas de residuos sólidos obtenidas sin la Guía y con la Guía del MARN.

### **3.9. Fórmulas**

Las fórmulas que se utilizaron son las que sugiere la Guía de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes del MARN, para determinar la densidad de los residuos sólidos.

#### **3.9.1. Densidad o peso específico**

$$\text{Densidad de los residuos sólidos} = \frac{\text{peso de los residuos sólidos (kg)}}{\text{volumen de los residuos sólidos (m}^3\text{)}}$$

#### **3.9.2. Densidad total**

$$\text{Densidad ponderada} = \frac{\text{Densidad} * \text{porcentaje promedio}}{(100)}$$



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Aplicación de la guía para la elaboración de estudios de caracterización de residuos y desechos sólidos comunes

Al realizar la separación de los residuos sólidos usando la guía de MARN se obtuvo un incremento notable en los materiales recolectados, mensualmente.

Tabla XIV. **Comparación de la masa de residuos sólidos separados por su origen, sin usar la guía del MARN y usando la guía de MARN**

Descripción	Sin la guía MARN Kg/mes	Con la guía MARN Kg/mes
Orgánicos	15,000	24,170
Inorgánicos	5,000	154,071
<b>TOTAL</b>	<b>25,000</b>	<b>178,241</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

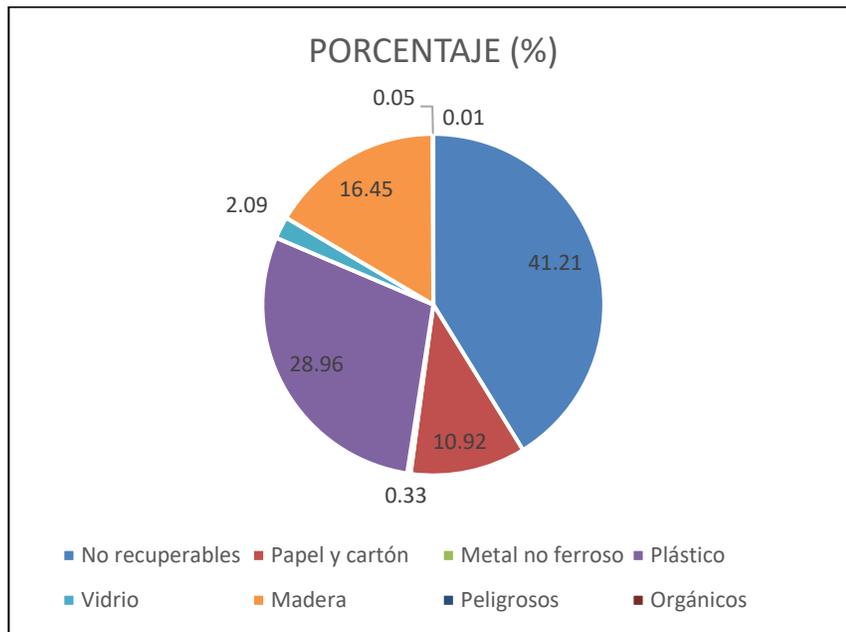
Tabla XV. **Proporciones obtenidas con el método de la guía de MARN en planta embotelladora**

Tipo de residuo	Peso promedio (Kg)	Porcentaje (%)
Varios	2,362.8	41.21
Papel y cartón	625.95	10.92
Metal no ferroso	18.7	0.33
Plástico	1,660.21	28.96
Vidrio	119.57	2.09
Madera	943.08	16.45
Peligrosos	2.71	0.05
Orgánicos	0.60	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>5,735.72</b>	<b>100.00</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para determinar los pesos promedio, se tomaron los datos registrados en BIOREM durante siete días.

Figura 16. **Gráfica 4. Porcentaje de residuos sólidos en planta embotelladora**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

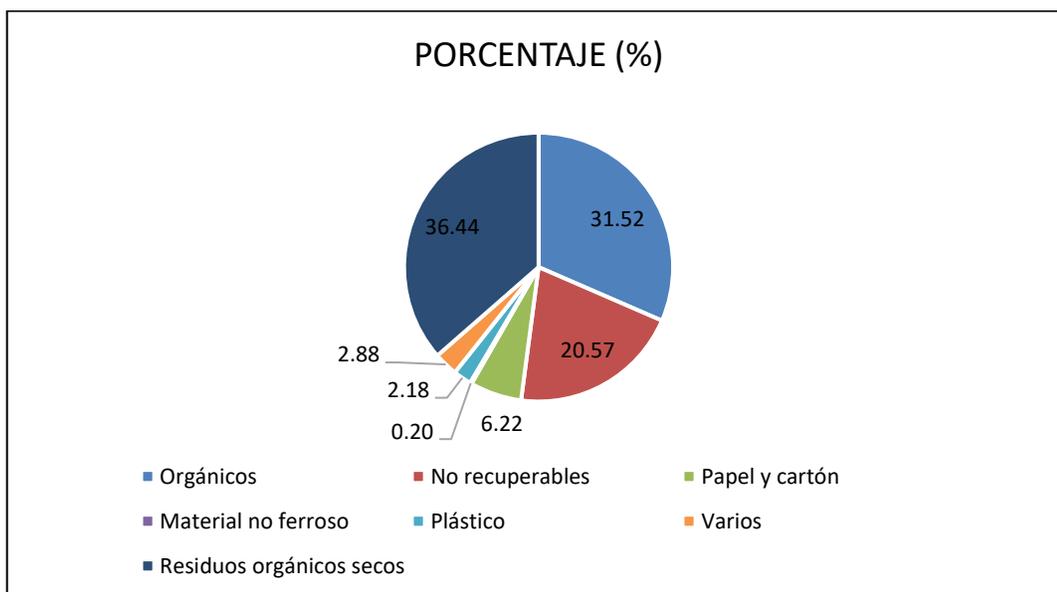
Tabla XVI. **Resultados obtenidos con el método de la guía del MARN en planta de frituras**

Tipo de residuo	Peso promedio (Kg)	Porcentaje (%)
<b>Orgánicos</b>	751.00	33.22
<b>Varios</b>	490.00	21.68
<b>Papel y cartón</b>	148.29	6.56
<b>Metal no ferroso</b>	4.71	0.13
<b>Plástico</b>	51.85	2.72
<b>Madera</b>	68.57	3.03
<b>Residuos orgánicos secos</b>	868.14	32.65
<b>TOTAL</b>	<b>2,382.56</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para determinar los pesos promedio, se tomaron los datos registrados en BIOREM durante siete días.

Figura 17. **Gráfica 5. Porcentaje de residuos sólidos en planta de frituras**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

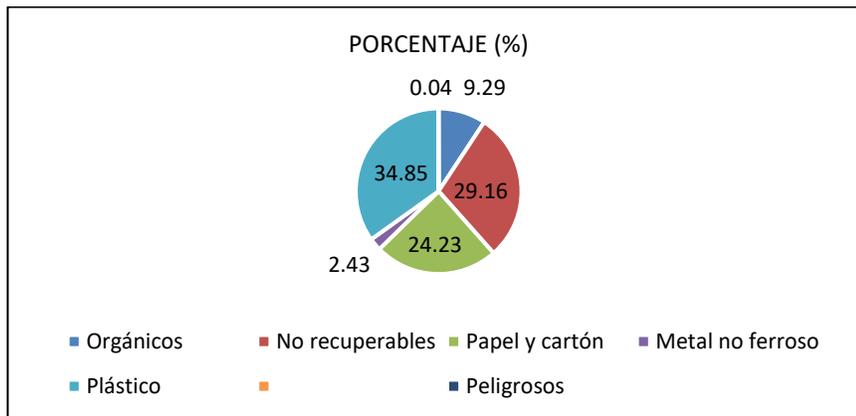
Tabla XVII. **Resultados obtenidos con el método de la guía del MARN en planta de lácteos**

Tipo de residuo	Peso promedio (Kg)	Porcentaje (%)
Orgánicos	174.57	9.28
Varios	548.28	29.16
Papel y cartón	455.58	24.23
Metal no ferroso	45.78	2.43
Plástico	655.18	34.85
Peligrosos	0.71	0.04
<b>TOTAL</b>	<b>2,054.67</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para determinar los pesos promedio, se tomaron los datos registrados en BIOREM durante un período de siete días.

Figura 18. **Gráfica 6. Porcentaje de residuos sólidos en planta de lácteos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Para el cálculo de la densidad se utilizó un recipiente metálico de 55 galones con un volumen de 0.2 metros cúbicos.

Se pesó el recipiente vacío, posteriormente se depositaron los residuos en el recipiente hasta la capacidad del mismo, se dejó caer al suelo tres veces a modo de compactar los residuos y se volvió a pesar el tonel. El dato del peso de residuos dividido el volumen del tonel proporcionó el dato de la densidad. A continuación, se presentan los resultados:

Tabla XVIII. **Densidad o peso específico en planta embotelladora**

Desecho Sólido	Peso (Kg)	Volumen de cilindro (m3)	Densidad (Kg/m3)
Papel y cartón	19.16	0.18	106.44
Plástico	27.60	0.19	145.26
Madera	26.92	0.19	141.68
Metal no ferroso	17.15	0.18	95.28
Vidrio	46.61	0.19	245.32
Peligrosos	N/A	N/A	N/A
Varios	N/A	N/A	N/A

NOTA: Los residuos orgánicos no fueron incluidos en esta prueba debido a que la compostera de BIOREM no admite huesos de animal por lo que se clasificó como no recuperables

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla XIX. **Densidad o peso específico planta de frituras**

Desecho Sólido	Peso (Kg)	Volumen cilindro (m3)	Densidad (Kg/m3)
Residuos orgánicos	59.07	0.20	295.35
Papel y cartón	22.73	0.14	162.36
Plástico	26.59	0.18	147.72
Metal no ferroso	15.07	0.20	75.35
Varios	N/A	N/A	N/A
Madera	25.06	0.18	139.22
Residuos orgánicos secos	N/A	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla XX. **Densidad o peso específico planta de lácteos**

Desechos Sólido	Peso (Kg)	Volumen cilindro (m3)	Densidad Kg/m3
Papel y cartón	25.02	0.20	125.10
Metal no Ferroso	31.34	0.19	164.95
Residuos Orgánico	45.33	0.19	238.58
Plástico	36.88	0.19	194.11
Peligroso	N/A	N/A	N/A
Varios	N/A	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla XXI. **Densidad total de los residuos sólidos en las tres plantas**

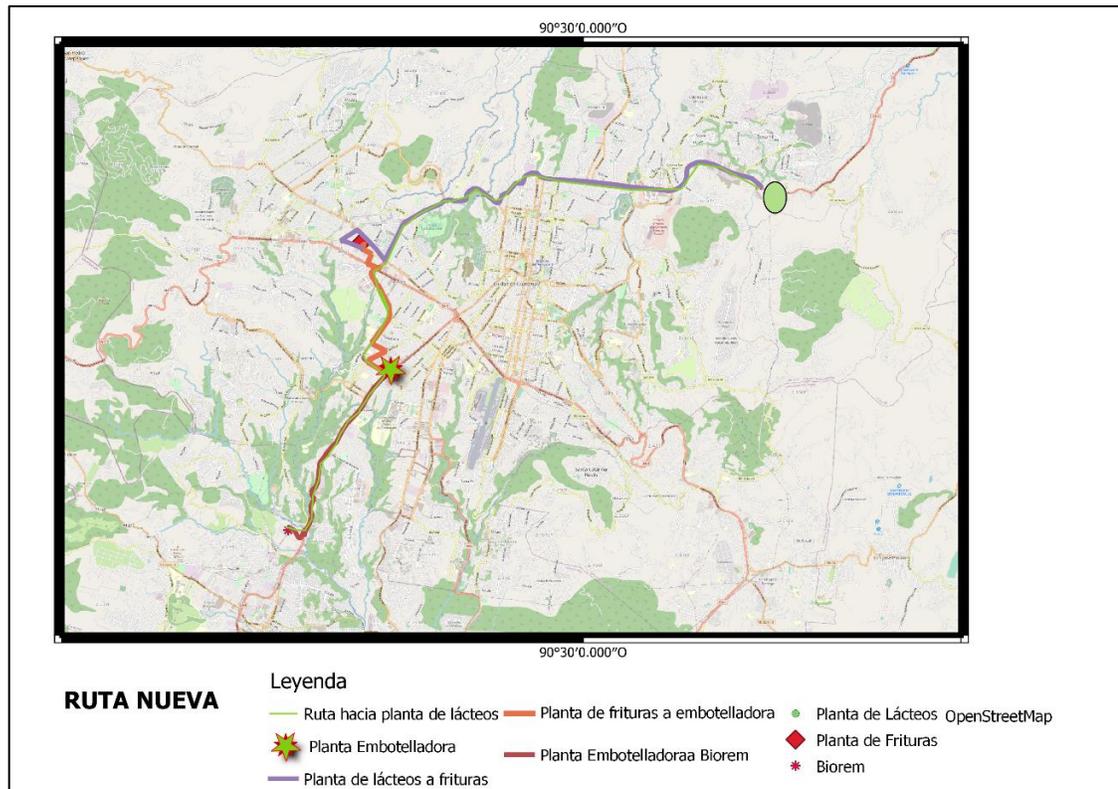
Descripción	Densidad (Kg/m3)
Planta Embotelladora	82.95
Planta de Frituras	117.18
Planta de Lácteos	124.65

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

#### **4.2. Propuesta de ruta de recolección**

La propuesta de ruta la que se muestra en la figura 19 inicia a las 09:00 horas en el sitio de acopio de BIOREM ubicado en Villa Nueva con un camión de 4.5 toneladas el cual se dirige hacia la planta de lácteos ubicada en zona 18 (ruta en color verde claro) arribando al destino a las 09:57 horas donde se realizará la separación y recolección de residuos y/o desechos sólidos en un tiempo aproximado de 20 minutos; después hacia la planta de frituras (ruta color lila) llegando a las 10:41 horas para realizar la recolección y separación en un tiempo aproximado de 25 minutos; posteriormente se dirige hacia la planta embotelladora (ruta color naranja) ubicada en zona 11 llegando a las 11:18 horas en donde se llevará a cabo la recolección y separación de residuos y/o desechos sólidos en un tiempo aproximado de 35 minutos y por último se conducirá hacia el centro de acopio BIOREM llegando al sitio un tiempo aproximado de 12:13 horas finalizando el recorrido y descargando los residuos y/o desechos sólidos recolectados a las 13:13 horas cumpliendo con el horario que le es permitido la circulación de vehículos pesados. La ruta se propone que se realice los días lunes, miércoles y viernes recorriendo 49.6 kilómetros cada dos días.

Figura 19. **Mapa con nuevas rutas propuesta para planta embotelladora, planta de frituras y planta de lácteos**



Fuente: elaboración propia, realizado con QGIS.

### 4.3. Costos de capacitaciones

A continuación, se presentan los costos de capacitaciones para los empleados activos y colaboradores de BIOREM; estos costos se calcularon sobre la base de 10 personas, haciendo un total de 20 horas de capacitación:

Tabla XXII. **Costos de capacitaciones**

DESCRIPCIÓN	COSTOS APROXIMADOS (Q.)
Capacitador	3,000.00
*Material para la capacitación	0
Refacción	173.90
<b>TOTAL</b>	<b>3,173.90</b>

\*Los materiales para la capacitación no se encuentran cuantificados debido a que las capacitaciones se llevarán a cabo en el área de la empresa con los equipos que la misma posee

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología indicada en la Guía para la Elaboración de Estudios de Caracterización de Residuos y Desechos Sólidos Comunes del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, se obtuvo una serie de datos referidos al pesaje de residuos sólidos por un período de 7 días como lo indica la *Guía para la Elaboración de Estudios de Caracterización de Residuos y Desechos Sólidos*, provenientes de tres industrias de alimentos (frituras, lácteos y embotellado) la frecuencia de recolección fue definida de esta forma . Con base al pesaje se obtuvo una muestra para poder realizar las pruebas de densidad, separar y determinar el tipo de tratamiento y/o reúso, con los siguientes resultados.

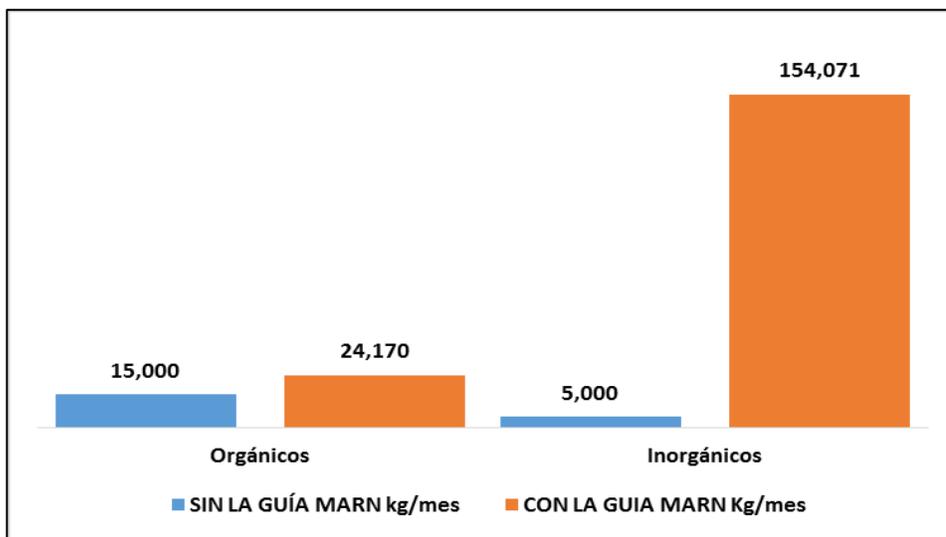
### 5.1. Incremento en la separación de residuos sólidos por su origen

“Deberán ser separados mediante al momento de su generación de acuerdo a la clasificación siguiente:

- Clasificación primaria
  - Orgánico
  - Inorgánico
  
- Clasificación secundaria
  - Papel y cartón
  - Vidrio
  - Plástico
  - Metal

- Multicapa
- Otros". (Méndez, 2022, p. 7)

Figura 20. **Gráfica 7. Comparación gráfica de separación de residuos sólidos por su origen, sin el uso y con el uso de la Guía del MARN**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Con relación a la separación de residuos sólidos por su origen, se observa un claro incremento en las masas de residuos obtenidos cuando se aplica la Guía del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, comparado con la masa que se obtuvo cuando no se aplicó la Guía. En el caso de residuos orgánicos, se incrementó de 15,000 kilogramos al mes sin el uso de la Guía, a 24,170 Kg de residuos orgánicos con el uso de la Guía, representando un incremento del 161 %. Pero el incremento es aún más fuerte en el caso de residuos inorgánicos, pues de 5,000 kilogramos recolectados al mes sin el uso de la Guía, se incrementó a 154,071 kilogramos aplicando la Guía, significando más de

3,000 % de incremento. Globalmente se incrementó de 25,000 kilogramos de residuos sólidos sin el uso de la Guía a 178,241 kilogramos utilizando la Guía, representando un incremento del 713 % el artículo publicado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2022) indica que el objetivo principal de realizar una caracterización es llevar a cabo con efectividad el manejo de residuos sólidos incluida la reducción de la posible cantidad de residuos que se generan.

## 5.2. Densidades de los residuos sólidos

Aquellos cuya naturaleza no representa en sí misma un riesgo especial para la salud humana o al ambiente, por lo que no poseen características, tóxicas, corrosivas, reactivas, explosivas, patológicas, infecciosas, punzocortantes, radioactivas u otras de similar riesgo.

Figura 21. **Gráfica 8. Densidades totales de los residuos sólidos en las tres plantas de alimentos**



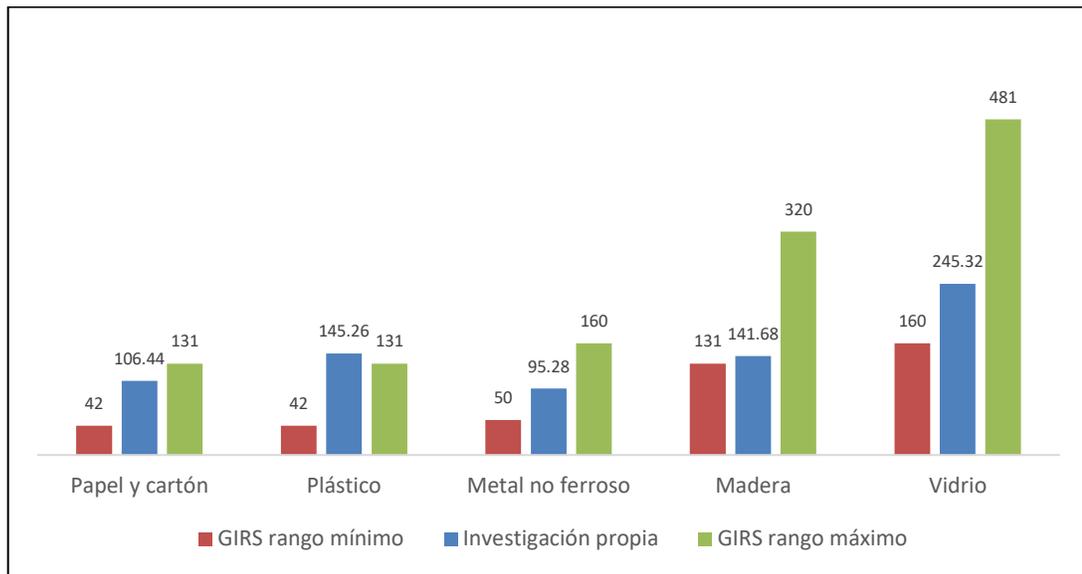
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En la gráfica 8 se presenta la densidad total de cada uno de los residuos que fueron caracterizados en las plantas de producción; como se puede observar el residuo que posee una mayor densidad es el plástico, con un resultado de 469.34 kilogramos por metro cúbico, por lo que este residuo es el que requerirá un espacio de almacenaje temporal de mayor capacidad en cada uno de los puntos evaluados en este estudio. Con base en esto se puede concluir que al realizar una adecuada separación de residuos sólidos se disminuirá el espacio que estos residuos ocuparán en un vertedero autorizado y que al separarlos tienen un valor comercial como materia prima para elaborar nuevos productos.

Respecto a los residuos sólidos clasificados como orgánicos, es evidente que después del plástico son los que ocupan un mayor volumen en la disposición final. En este caso, si se clasifican adecuadamente y se destinan al compostaje, esto generara un beneficio para el suelo donde sea aplicado ya que el compost contiene un alto porcentaje de materia orgánica y permite aumentar la materia orgánica necesaria para el suelo, conduce a una mejor estabilidad de los agregados del suelo y mayor capacidad de retención e infiltración del agua.

El determinar la densidad de los residuos sólidos permite determinar las dimensiones de los recipientes que se estarán utilizando para la recolección de los mismos en cada una de las plantas de estudio.

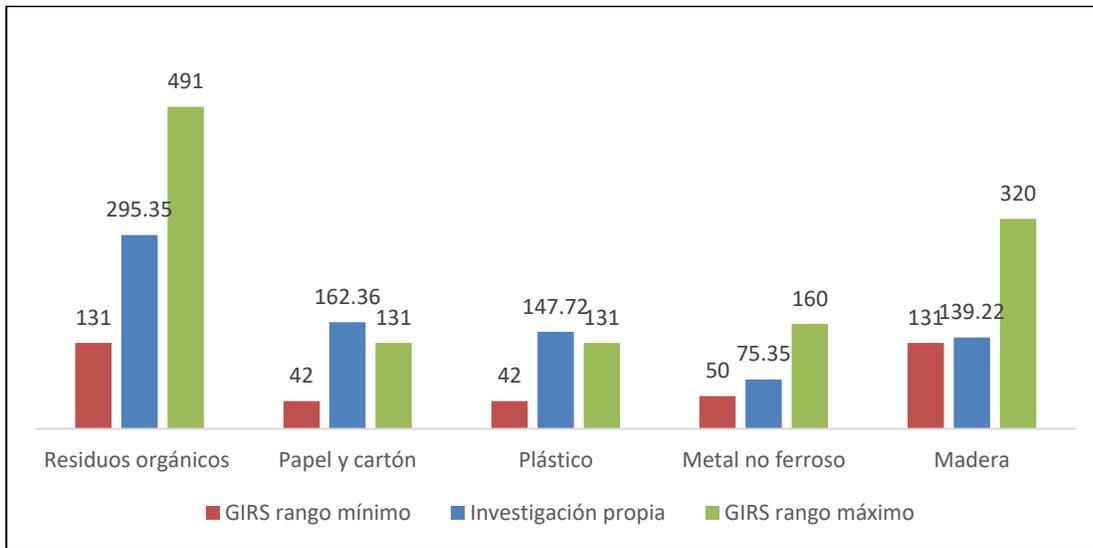
Figura 22. **Gráfica 9. Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta embotelladora versus mínimos y máximos de densidades obtenidas en estudio Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En la gráfica 9 se puede observar los datos obtenidos en la planta embotelladora comparando los rangos mínimos y máximos. Enciclopedia del medio ambiente urbano. Espacios verdes. Clasificación, diseño y gestión. Las densidades obtenidas de papel y cartón, metal no ferroso, madera y vidrio cumplen con el rango máximo establecido; no obstante, en el plástico se puede observar que la densidad se encuentra arriba del rango máximo indicado en dicho documento; esto se puede deber a errores en el pesaje o a una compactación realizada de forma inadecuada, que pueden causar variaciones de hasta un 50 % de los valores representativos.

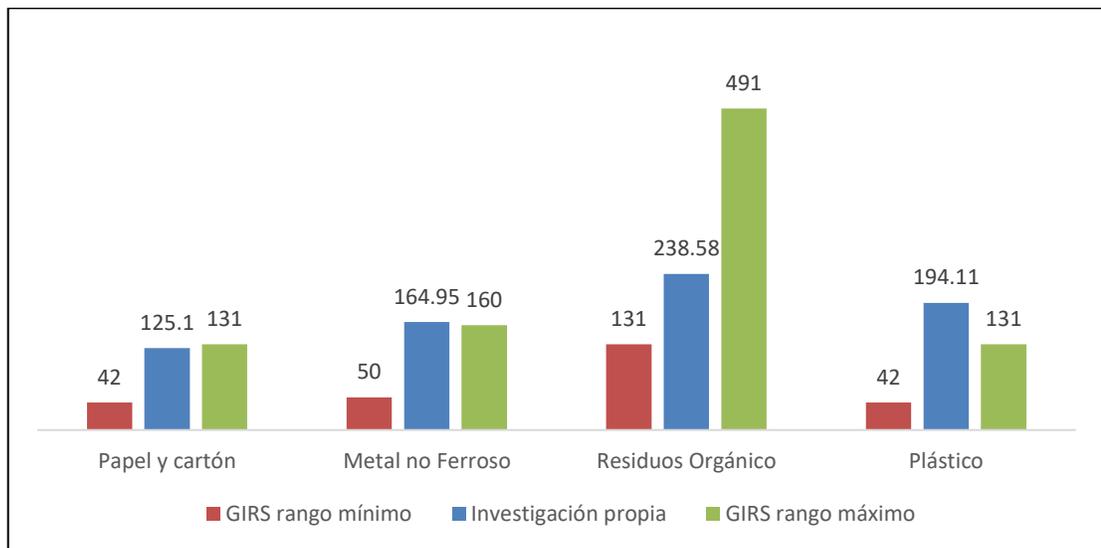
Figura 23. **Gráfica 10. Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta de frituras versus mínimo y máximo de densidades obtenidas en estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En la gráfica 10 se puede observar los resultados obtenidos en la planta de frituras, en la misma se realiza una comparativa con los datos que se encuentra en el documento de Antonio (1997). Las densidades de residuos orgánicos, metal no ferroso y madera cumplen con los rangos mínimos y máximos establecidos; sin embargo, las densidades obtenidas en papel y cartón y plástico se encuentra por encima del rango máximo indicado en el documento mencionado. Esto puede deberse a que la compactación no fue realizada de forma correcta, (Cabañas, Díaz y Oliva, 2019) lo que puede influir en que el resultado varíe hasta un 50 %.

Figura 24. **Gráfica 11 Comparación de densidades de residuos sólidos obtenidas en investigación propia en planta de lácteos versus mínimos y máximos de densidades obtenidas en estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En la gráfica 11 se muestran los datos obtenidos en la planta de lácteos comparados con Antonio, F. (1997); las densidades de papel y cartón y residuos orgánicos se encuentran por debajo del rango máximo; sin embargo, el plástico y metal no ferroso se encuentran por encima del rango máximo. Esto puede atribuirse a que la compactación de estos materiales no se realizó de manera correcta; esto puede dar como resultado una variación del 50 % en los resultados obtenidos (Cabañas, Díaz y Oliva, 2019).

### **5.3. Propuesta de ruta de recolección**

Como se pudo observar en la figura 19 se estableció una ruta de recolección para las tres industrias estudiadas, la variable a considerar fue la distancia de 49.6 kilómetros y los horarios en los cuales pueda circular un camión de 4.5 toneladas. La ruta presentada se considera óptima ya que se utilizará únicamente un camión para su recolección y se respetará el horario de circulación al realiza una planificación de residuos sólidos se asegura de una correcta transferencia hacia el sitio de disposición final.

## CONCLUSIONES

1. Con base en la caracterización elaborada en cada una de las empresas y por medio de las características físicas de los residuos y desechos sólidos se determinó para cada uno el aprovechamiento óptimo, esto con la finalidad de generar la menor cantidad de desechos sólidos en los vertederos correspondientes.
2. Se aplicó la metodología de la Guía para la Elaboración de Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes, Acuerdo Gubernativo No. 281-2015, con la modificación, que no se incluyeron huesos, debido a que la compostera de BIOREM no los contempla. Con base en los resultados obtenidos, se determinó un incremento en la cantidad de residuos sólidos recolectados, alrededor de 178,241 kilogramos al mes.
3. Con base en la caracterización realizada en las tres plantas, se determinó el tipo de aprovechamiento y/o tratamiento de los residuos sólidos según su origen: papel, cartón, metal no ferroso y vidrio son destinados para reciclaje; plásticos será utilizado como materia prima, residuos sólidos denominados como otros (dependiendo del tipo de residuo) se repararán para ser reutilizados/co-procesamiento o vertederos municipales, orgánicos serán destinados para compostaje, residuos orgánicos secos como materia prima para comida animal y desechos peligrosos serán entregados a una empresa tercera para su correcta disposición y/o tratamiento final

4. BIOREM debe de adicionar una ruta de recolección la cual es presentada en la Figura 13 dando un tiempo total de 4 horas con 22 minutos tomando en consideración que la ruta iniciará a las 09:00 horas finalizando a las 13:13 horas.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar la caracterización de residuos y desechos sólidos al contar con un residuo nuevo que no se haya identificado para identificar el aprovechamiento y/o tratamiento adecuado.
2. Determinar el tipo de aprovechamiento que se le podrá destinarlos huesos de alimentos en caso no sea posible se deberá de destinar al vertedero correspondiente.
3. Adquirir para la planta embotelladora un recipiente de aproximadamente 11 metros cúbicos para residuos plásticos, 6 metros cúbicos para almacenar residuos de madera, para el metal no ferroso se necesita un recipiente de m 1 metro cúbico, para el vidrio se requiere un recipiente de 1 metro cúbicos y para papel y cartón un recipiente de 5 metros cúbicos.
4. Almacenar papel y cartón, se necesita un recipiente de 3 metros cúbicos, para el metal no ferroso un depósito de 1 metro cúbico, para los residuos orgánicos se requiere un recipiente con una capacidad mínima de 1 metro cúbico y para los residuos plásticos un contenedor de 3 metros cúbicos para la planta de lácteos.
5. Instalar en la planta de frituras un recipiente para residuos orgánicos de 2 metros cúbicos, para papel y cartón un depósito de 1 metro cúbico, para plástico un recipiente de 1 metro cúbico, para el metal no ferroso un recipiente de 1 metro cúbico y para residuos de madera un recipiente de 1 metro cúbico.

6. Realizar la recolección 3 veces a la semana con horario de inicio a las 09:00 horas y adquirir camiones con mayor capacidad de aproximadamente 4.5 toneladas.

## REFERENCIAS

1. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). *Manual para el manejo integral de residuos en el valle de Aburrá-Área*. Colombia: s.e.
2. Barrios, J. (2009). *Aspectos Generales del Manejo de Lodos*. México: CONAGUA.
3. BIOREM. (s.f.). Soluciones que dan vida. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://solucionesbiorem.com/>.
4. Centro ESDRAS. (s.f.). Problemática de los desechos sólidos en Guatemala. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.centroesdras.org/problemativa/>.
5. Constitución Política de la República de Guatemala. (1985). *Medio ambiente y equilibrio ecológico. Con reformas de 1993*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
6. Diario de Centro América. (2002). *Consejo municipal de la ciudad de Guatemala, Acuerdo COM 028-2002*. Guatemala: Autor.
7. Diario de Centro América. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos, Acuerdo Gubernativo No. 281-2015*. Guatemala: Autor.

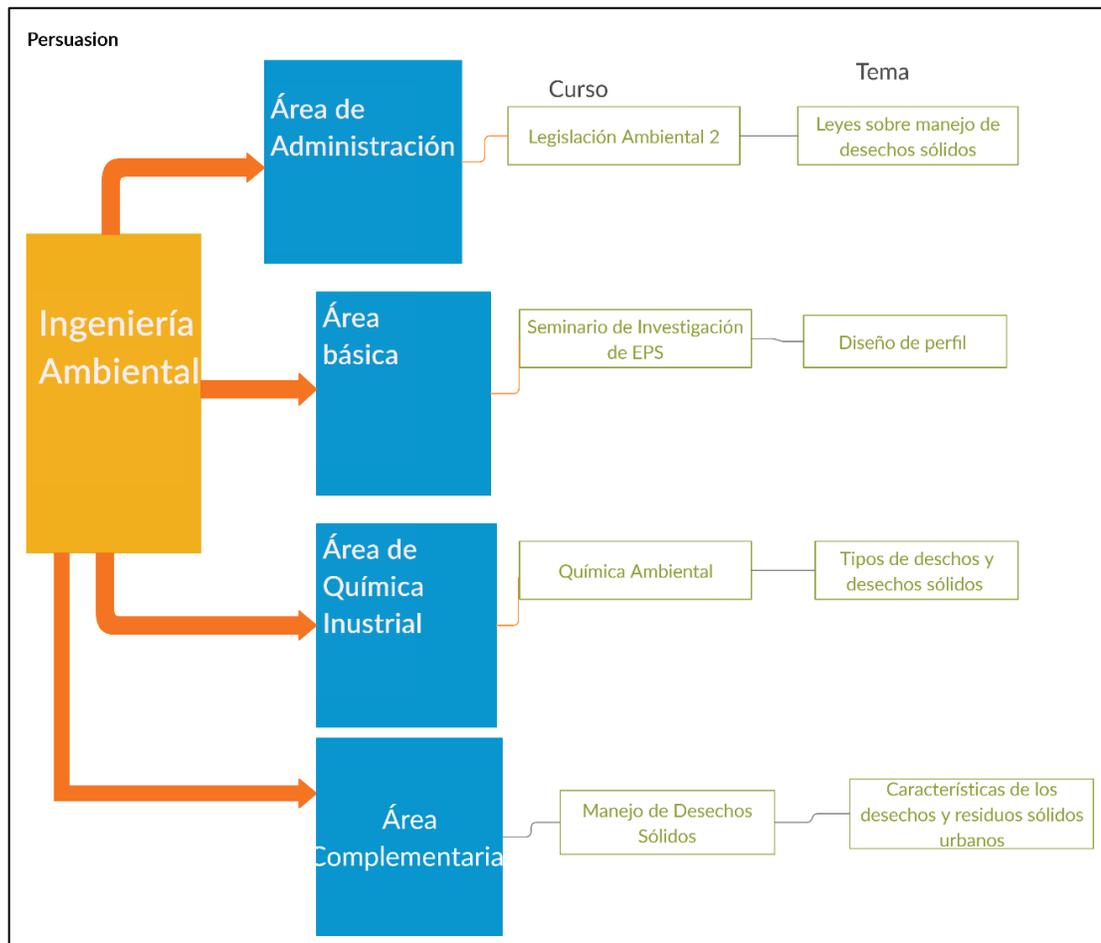
8. Diario de Centro América. (2016). *Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo 137-2019*. Guatemala: Autor.
9. Diario Oficial. (2002). *Reglamento de Manejo de Desechos Sólidos para el Municipio de Guatemala, Acuerdo COM No. 028-2002*. Guatemala: Autor.
10. Echarri, L. (s.f.). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. [Mensaje de un blog]. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/materiales-educativos/ciencias\\_tierra\\_medioamb.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/materiales-educativos/ciencias_tierra_medioamb.aspx).
11. Echavarría, B. (2017). *Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos*. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/06/15/Mejia-Alejandra.pdf>.
12. Ecología Verde. (s.f.). Como afecta la contaminación al medio ambiente. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com>.
13. GREENPEACE, Centroamérica. (1998). *Manual del Ciudadano sobre Desechos Sólidos*. Guatemala: Universidad del ITSMO.
14. InfoAgro. (s.f.). ¿Qué es el Compostaje? [Mensaje de un blog]. Recuperado de [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com).
15. Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (2015). *Compendio Estadístico Ambiental 2014*. Guatemala: Autor.

16. Instituto Nacional de Estadística. (2011). *Compendio Estadístico Ambiental 2010*. Guatemala: Autor.
17. León, I. (2019). *Antecedentes Desechos Sólidos*. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/342928072/Antecedentes-desechos-solidos>.
18. Ley para la Prevención y la Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo. El Periódico Oficial. México. 30 de marzo de 2015.
19. MARN (2017). *Informe Ambiental del Estado de Guatemala 2016*. Guatemala: Autor.
20. Méndez, M. (2022). *Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios en el municipio de Rabinal Baja Verapaz*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes*. Guatemala: Artes Litográficas.
22. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes, Acuerdo 7-2019*. Guatemala: Autor.
23. Mora, C. y Berbeo, M. (2010). *Manual de Gestión Integral de Residuos*. Bogotá, Colombia: Subdirección Red Nacional de Laboratorios-SRNL- (2010).

24. Picó, G. (2002). *Composta. Servicio de Extensión Agrícola*. Puerto Rico: Colegio de Ciencias Agrícolas.
25. San Juan. (28 de diciembre, 2015). ¿Qué son los desechos sólidos? [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.rdsanjuan.com/que-son-los-desechos-solidos/>.
26. Tres Monjitas. (8 de abril, 2022). Calidad de procesos de producción. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.tresmonjitas.com/de-la-finca-a-la-mesa/producción-de-leche/>.
27. UCI. (s.f.). Producción limpia: principios y herramientas. [Mensaje de un blog]. Recuperado de [www.ucipfg.com](http://www.ucipfg.com).
28. Universidad Rafael Landívar. (2006). *Perfil Ambiental 2006*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
29. White Book. (2010). *Waste to Energy in Austria*. Australia: Austrian Ministry of Life.

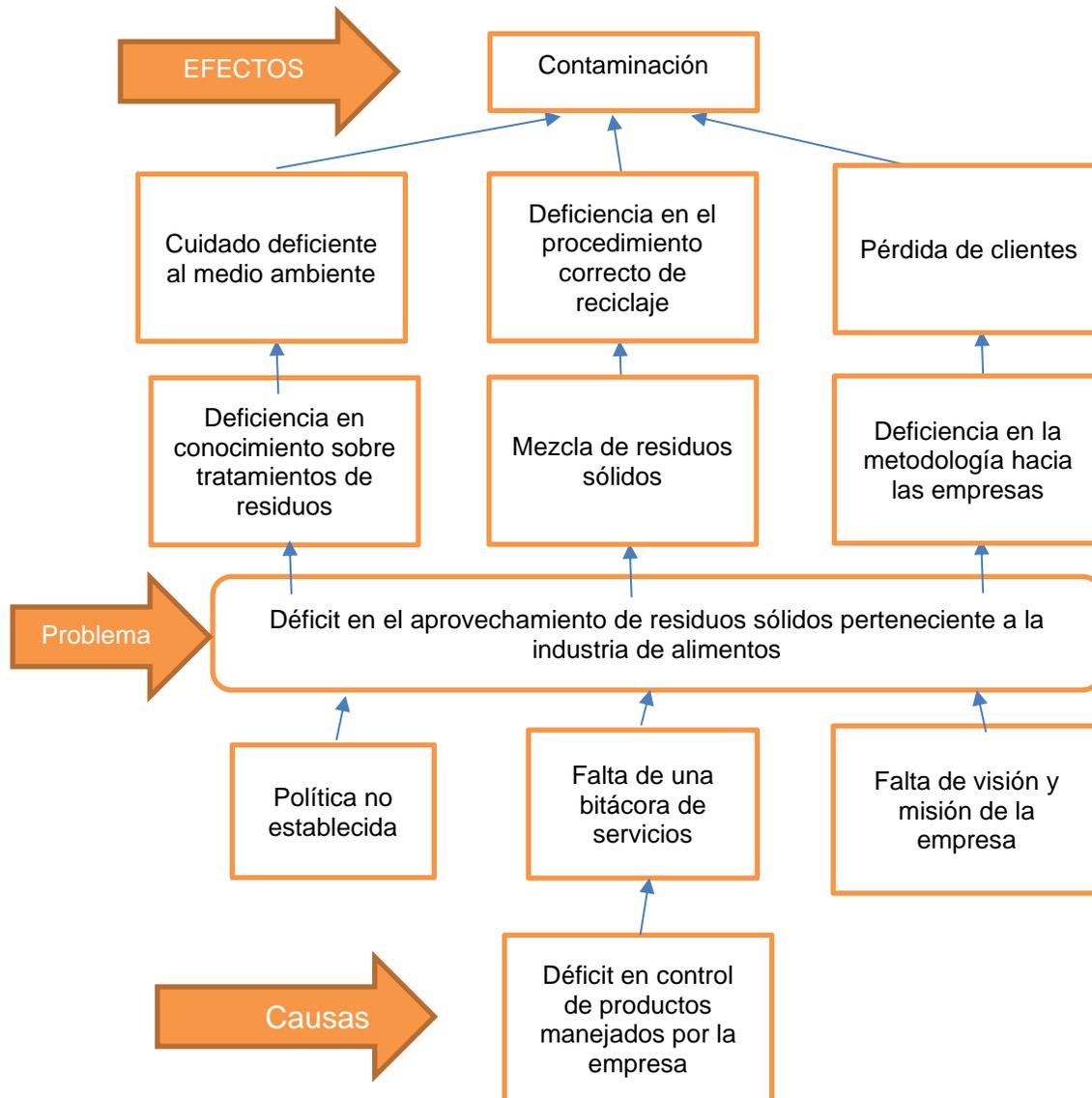
# APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa o árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

### Apéndice 3. Caracterización de residuos sólidos planta embotelladora

- Recolección de datos, tipos de residuos y cantidad planta embotelladora

Recolección de datos (Kg)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
<b>Descripción</b>	5/05/2020	6/05/2020	7/05/2020	8/05/2020	9/05/2020	10/05/2020	11/05/2020
	0		0	0	0	0	0
<b>Papel y cartón</b>	1,206.16	887.44	140.46	350	240	1,031.38	526.19
<b>Plástico</b>	3,019.9	1,097.85	2,715.29	52	95	2,611.76	2,029.65
<b>Metales no ferrosos</b>	44.73	0	0	0	0	86.19	0
<b>Madera</b>	49	1,178.1	0	1,340.5	1,132.08	1,058	1,843.86
<b>Vidrio</b>	837	0	0	0	0	0	0
<b>Bioinfecciosos</b>	0	3	10	0	0	0	6
<b>Varios</b>	2,106.55	0	2,466.57	0	4,054.85	6,074	1,837
<b>Residuos orgánicos</b>	0.45	0	0	0	0.15	0	0

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

### Apéndice 4. Caracterización de residuos sólidos planta de frituras

- Recolección de datos, tipos de residuos y cantidad planta de frituras

Recolección de datos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
<b>Descripción</b>	12/05/20	13/05/20	14/05/20	15/05/20	16/05/20	17/05/20	18/05/20
	20	20	20	20	20	20	20
<b>Residuos orgánicos</b>	2,010	0	0	2,410	0	0	837
<b>Papel y Cartón</b>	473	75	112	102	119	0	157
<b>Plástico</b>	63	5	0	80	86	0	129
<b>Aluminio</b>	12	0	12	0	6	0	3
<b>Residuos orgánicos secos</b>	1,270	3,270	590	0	947	0	0
<b>Madera</b>	0	480	0	0	0	0	0
<b>No recuperables</b>	0	0	590	630	1,210	320	680

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 5. Caracterización de residuos sólidos de la planta de lácteos

- Recolección de datos, tipos de residuos y cantidad planta de lácteos

Recolección de datos (Kg)	Día	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
<b>Descripción</b>	19/05/2020	20/05/2020	21/05/2020	22/05/2020	23/05/2020	24/05/2020	25/05/2020
<b>Plástico</b>	150.19	0	2,760.03	825.57	0	804	46.46
<b>Cartón y papel</b>	4,56.57	298.19	3.05	467.65	640.02	9	1,316.65
<b>Aluminio</b>	0	54.73	0	25.73	0	0	240
<b>Residuos orgánicos</b>	632.01	0	0	0	0	0	590
<b>Bioinfecciosos</b>	0	0	0	0	0	0	5
<b>Varios</b>	0	0	0	859	2,133	853	0
<b>TOTAL</b>	1,238.77	352.92	2,763.08	2,177.95	2,773.02	1,666	2,198.11

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 6. Densidades

- Densidades de papel y cartón planta embotelladora

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	104.49
2	129.49
3	123.77

- Densidades de plástico planta embotelladora

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	133.44
2	135.77
3	140.81

Continuación de apéndice 6.

- Densidades de madera planta embotelladora

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	146.84
2	138.58
3	143.42

- Densidades de vidrio planta embotelladora

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	145.32
2	165.00

- Densidades de metal no ferroso, planta embotelladora

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	85.75

- Densidades de papel y cartón, planta de frituras

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	124.34
2	162.36
3	130.89

- Densidades de plástico planta de frituras

Toma	Densidad (Kg/m3)
1	151.25
2	136.57
3	138.49

Continuación de apéndice 6.

- Densidades de madera planta de frituras

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	119.67
2	154.50
3	156.75

- Densidades de residuos orgánicos planta de frituras

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	205.35
2	333.77
3	288.65

- Densidades de metal no ferroso planta de frituras

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	75.36

- Densidad de papel y cartón planta de lácteos

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	123.38
2	146.72
3	128.51

- Densidad de metal no ferroso planta de lácteos

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	119.20
2	115.91
3	121.36

Continuación de apéndice 6.

- Densidades de residuo orgánico planta de lácteos

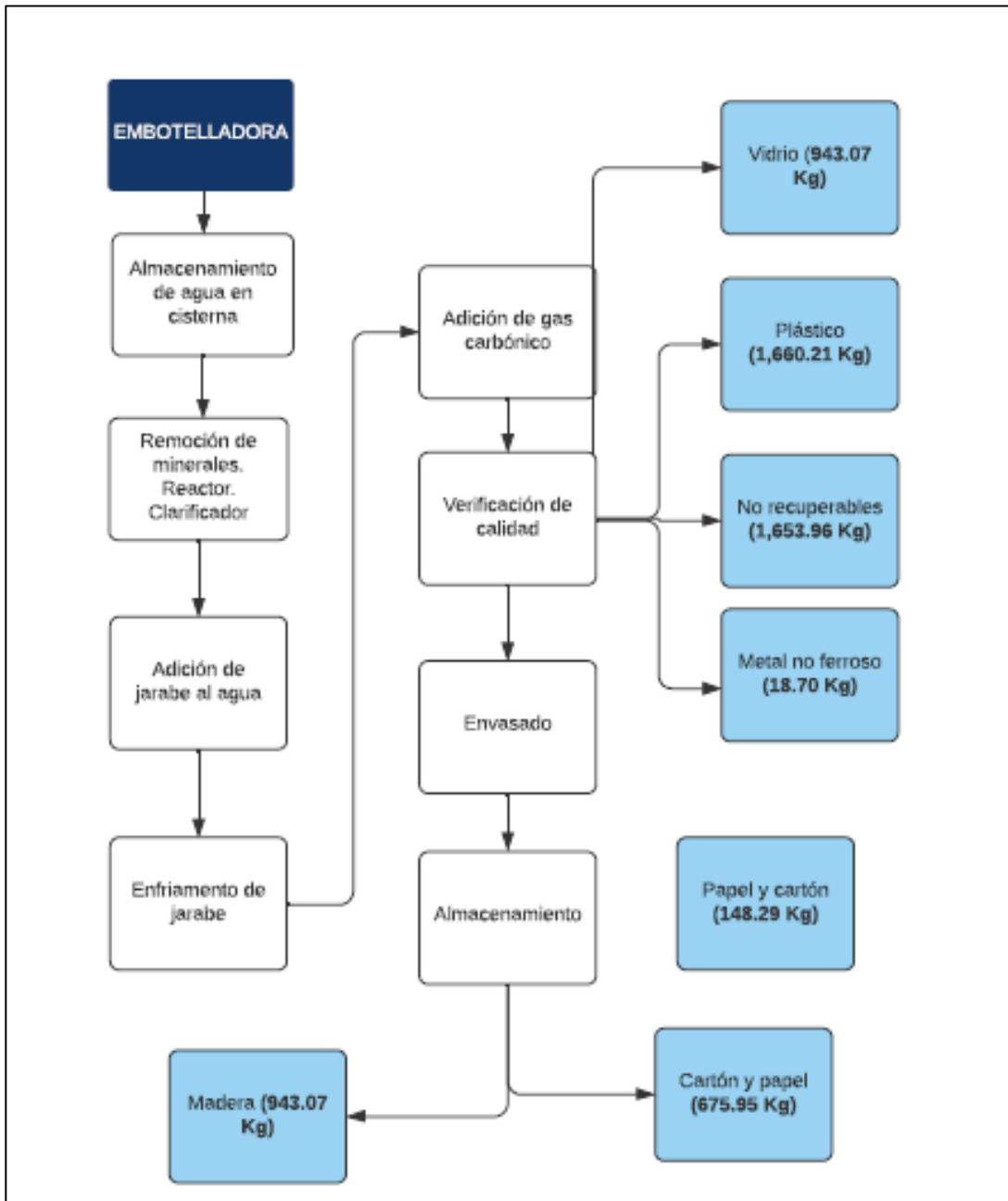
<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	192.08
2	198.85
3	189.15

- Densidades de plástico planta de lácteos

<b>Toma</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>
1	184.64
2	189.42
3	197.64

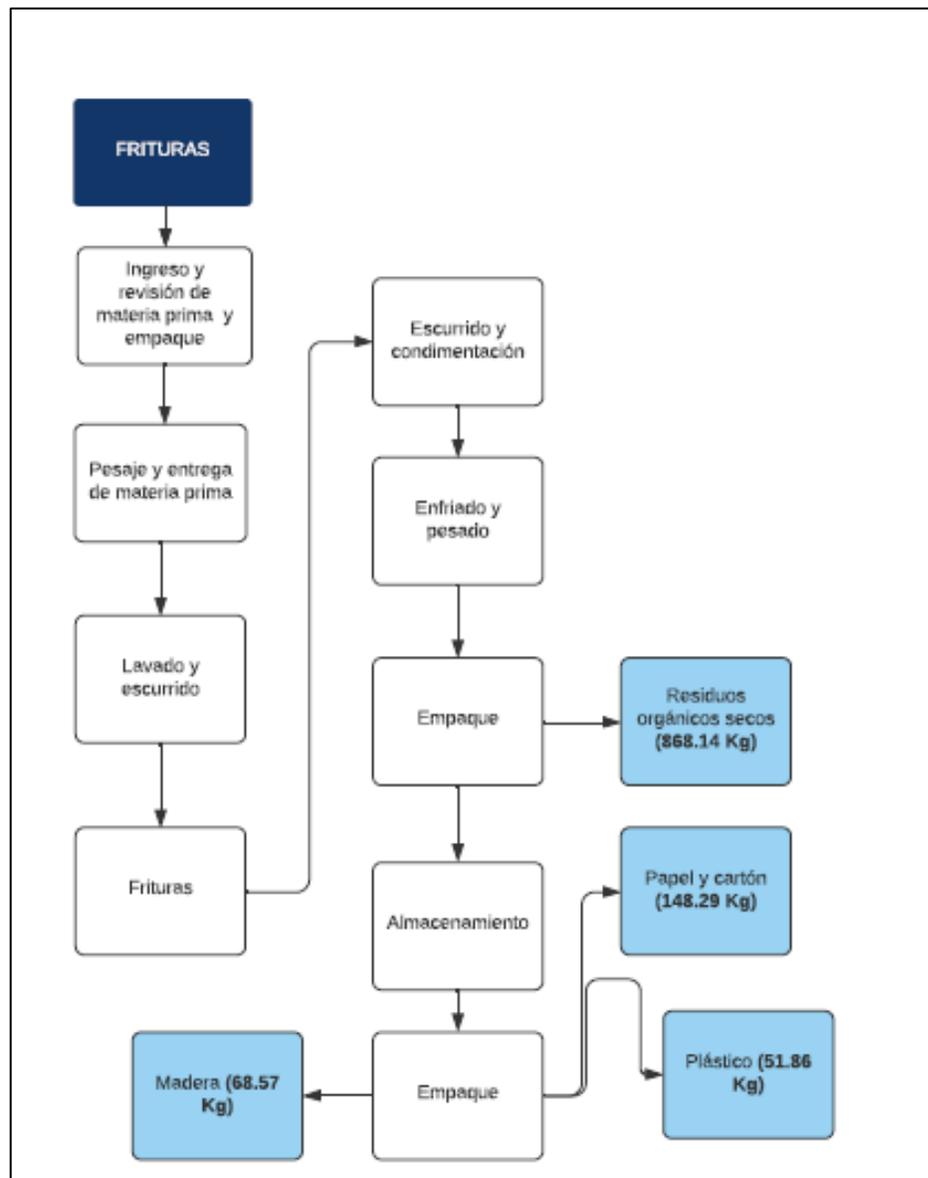
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Apéndice 7. **Croquis planta embotelladora**



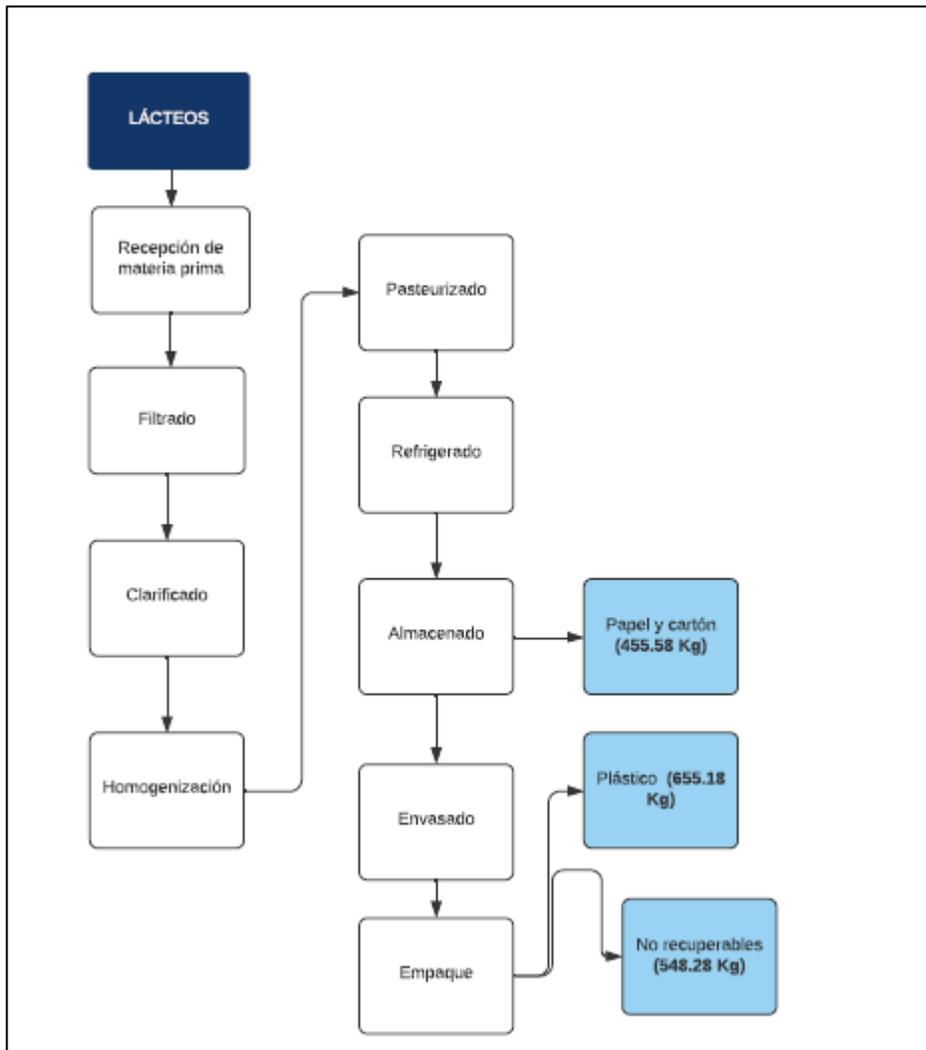
Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 8. Croquis planta de frituras



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 9. Croquis planta de lácteos



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## Apéndice 10. Herramientas utilizadas

- Balanza



La balanza que se muestra en la imagen anterior es digital con una capacidad máxima de 2000 kilogramos y una precisión de 500 gramos.

- Equipo de protección personal



Continuación de apéndice 10.

- Botas de punta de acero



- Mascarilla de protección KN95



Continuación de apéndice 10.

- Guantes de nitrilo



\*NOTA: Por razones de confidencialidad la empresa no permitió documentar el proceso de separación de desechos sólidos.

Fuente: [Fotografía de Karhild Moreno]. (BIOREM, Villa Nueva. 2021). Colección particular.  
Guatemala.

