

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación de una planta de tratamiento en el departamento de Retalhuleu.

Por:
Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro
Carné: 201741125
CUI: 3385771141001
jhonattanvillatoro@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez, septiembre del 2025

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación del cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación de una planta de tratamiento en el departamento de Retalhuleu.

Por:
Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro
Carné: 201741125

ASESOR:
M. Sc. Celso González Morales

REVISOR:
Inga. en GAL Kharla Leticia Marysol Vides Rodas

Presentado ante las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente -CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a conferírsele el Título que le acredita como Ingeniero en Gestión Ambiental Local en el grado académico de Licenciado.

Mazatenango, Suchitepéquez, septiembre de 2025.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis Rector
Lic. Luis Fernando Cordón Lucero Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar Director

Representante Profesores del CUNSUROC

M.Sc. Luis Carlos Muñoz López Vocal
M.Sc. Edgar Roberto del Cid Chacón Vocal

Representante Graduado del CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles Vocal

Representantes Estudiantiles

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel Vocal
PEM Y TAE. Rony Roderíco Alonzo Solis Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

Dr. Luis Gregorio San Juan Estrada

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Agronomía Tropical

Dr. Martín Salvador Sánchez Cruz

Coordinadora Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales,

Abogado y Notario

Licda. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

M.Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinador de Área

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Carreras Plan Fin de Semana del CUNSUROC

Coordinador de las carreras de Pedagogía

Lic. Nestor Fridel Orozco Ramos

Coordinador Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

M.A. Heinrich Hermán León

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Por ser mi amigo fiel, por permitirme realizar mi sueño, ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos difíciles y bendecirme con la oportunidad de culminar esta etapa y alcanzar mi meta.

A MI PADRE:

Lic. Melvin Iván Ramos Vásquez por ser mi ejemplo de superación, gracias por brindarme tu apoyo y por ser un modelo de padre inigualable. Te amo.

A MI MADRE:

Licda. Evelyn Anilú Villatoro Oajaca por ser el pilar fundamental en mi vida, gracias por tu apoyo incondicional y por ser una madre ejemplar, siendo una guerrera y una gran motivación en mi vida. Te amo.

A MIS HERMANOS:

Rodrigo Aarón Ramos Villatoro y Anilú del Rocío Ramos Villatoro por ser una fuente constante de apoyo, motivación y cariño, gracias por ser mis mejores amigos, porque desde el día en que nacieron mi vida se llenó de felicidad y siempre van a tener un hermano mayor que los cuide y los ame.

A MI ABUELA MATERNA:

Profa. Gloria Marina Oajaca García por cuidar de mí desde niño, gracias por apoyarme, por darme el amor incondicional, por consentirme y ser mi refugio, te amo mi Mamarina.

A MI ABUELO MATERNO:

Prof. José Waldemar Villatoro Herrera (Q.E.P.D.), por ser ejemplo de esfuerzo, paciencia y bondad que me inspiraron a seguir adelante, te extraño y te mando un beso y abrazo al cielo, te amo mi Papamar.

A MIS ABUELOS PATERNOS: Lic. Pedro Joaquín Ramos Villatoro y María Lucila Vásquez Girón (Q.E.P.D.), por sus valores y enseñanzas en mi vida.

A MIS TÍAS MATERNAS Dra. Danisa Villatoro y Dra. Nancy Villatoro por formar parte importante de mi vida, por sus muestras de apoyo, sus ejemplos y su amor incondicional.

A MI FAMILIA EN GENERAL: A mis tíos y primos por enseñarme el valor del esfuerzo, perseverancia, estar siempre a mi lado y por sus muestras de cariño.

A MIS AMIGOS: Rogelio, Rigoberto, Alejandra, Jhonatan, Eileen, Josselyn, Juan Carlos, Jean Carlo, María José, Fernando, Estuardo y Onaris por brindarme su amistad sincera e incondicional a lo largo de mi etapa académica, gracias por estar conmigo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

- A: Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser mi alma mater por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en sus aulas.
- A: Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por haberme formado académicamente en sus aulas siendo mi segundo hogar y aprendiendo día con día gracias a la excelencia de catedráticos que forman la familia IGAL.
- A: MSc. Sharon Ivelisse Frisselene Quiñónez Melgar, le agradezco por su invaluable orientación, compromiso y apoyo, su ejemplo profesional ha dejado una huella significativa en mi formación académica.
- A: Inga. en GAL. Kharla Leticia Marysol Vides Rodas, por su guía experta, su dedicación y su conocimiento que fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.
- A: MSc. Celso González Morales, gracias por su tiempo, por su escucha, y por enseñarme que detrás de una buena investigación hay siempre un gran mentor.
- A: MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes. Coordinadora de IGAL, por siempre estar al pendiente y apoyarme no sólo a mí, sino a todos los estudiantes de la carrera durante nuestra etapa académica.

Índice general

Contenido	Página
Resumen	vii
Abstract	ix
I. Introducción.....	1
II. Revisión de literatura.....	2
2.1. Marco referencial	2
2.1.1. Descripción general de la empresa en la que opera la PTRS	2
2.1.2. Planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos (PTRS)	2
2.1.2.1. Caseta de selección/almacenaje	7
2.1.2.2. Cámaras de compostaje	7
2.1.2.3. Relleno sanitario	8
2.1.2.4. Laguna de lixiviados o laguna de estabilización	8
2.1.3 Composición de los residuos y desechos sólidos procesados en PTRS.....	9
2.1.4 Materiales con potencial calorífico.....	10
2.1.5. Material recuperable	11
2.2. Marco conceptual.....	11
2.2.1. Desechos sólidos.....	11
2.2.2. Residuos sólidos.....	12
2.2.3. Clasificación de desechos sólidos según su origen	12
2.2.3.1. Residuos sólidos inertes	12
2.2.3.2. Residuos que pueden ser peligrosos o no peligrosos	13
2.2.3.3. Residuos sólidos urbanos.....	13
2.2.3.4. Residuos agropecuarios	13

2.2.3.5. Residuos sólidos orgánicos	13
2.2.4. Clasificación de los plásticos	14
2.2.4.1. Tereftalato de polietileno (PET)	14
2.2.4.2. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	16
2.2.4.3. Polipropileno (PP).....	16
2.2.4.4. Polietileno (PE)	17
2.2.4.5. Poliestireno expandido (EPS)	18
2.2.5. Gestión integrada de residuos y desechos sólidos.....	19
2.2.6. Tratamiento	19
2.2.6.1. Compostaje.....	20
2.2.6.2. Reciclaje	20
2.2.6.3. Co-procesamiento	21
2.2.7. Disposición final.....	22
2.2.7.1. Relleno sanitario	22
2.2.8. Legislación ambiental de Guatemala sobre residuos y desechos sólidos ...	23
2.2.8.1. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos	23
2.2.8.2. Código Municipal (artículo 67 y 68 inciso A)	23
2.2.8.3. Constitución Política de República de Guatemala (artículos 97)	24
2.2.8.4. Código de salud (artículos 107)	24
III. Objetivos	25
3.1. Objetivo general.....	25
3.2. Objetivos específicos	25
IV. Materiales y métodos.....	26
4.1. Materiales y presupuesto.....	26

4.1.1. Métodos	27
V. Resultados y discusión.....	31
5.1. Identificación del proceso de manejo de los residuos y desechos sólidos receptionados en la planta de tratamiento.	31
5.1.1. Vaciado de la guía de entrevista al supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos	31
5.1.2. Vaciado de la guía de entrevista al encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos	33
5.1.3. Vaciado de la guía de entrevista a los clasificadores de la PTRS	34
5.1.4. Vaciado de la guía de entrevista al encargado de abono	36
5.1.5. Resultados de la guía de observación Planta de Tratamiento.....	37
5.2. Cálculo del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos.	43
5.3. Manual de la correcta clasificación de los residuos y desechos sólidos en PTRS.	59
VI. Conclusiones	60
VII. Recomendaciones	62
VIII. Referencias.....	63
IX. Anexos.....	66

Índice de figuras

Figura	Pág.
1 Croquis de la planta de tratamiento	6
2 Composición de los residuos y desechos procesados en la PTRS	10
3 Esquema de la clasificación de residuos y desechos sólidos.....	41
4 Rubros con el proceso de clasificación en la PTRS.	42
5 Entrevista a los clasificadores de la planta de tratamiento.	66
6 Observación del proceso de clasificación en la PTRS.	66
7 Clasificación de los residuos orgánicos.....	67
8 Pesaje de los desechos reciclables.....	67
9 Clasificación de los desechos no recuperables para relleno sanitario.....	68
10 Pesaje de los desechos no recuperables para coprocesamiento.....	68

Índice de tablas

Tabla	Pág.
1 Materiales y presupuesto.....	26
2 Resultados de la guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento	37
3 Demanda baja de los residuos orgánicos (02 de septiembre del 2024).....	43
4 Demanda media de los residuos orgánicos (11 de octubre del 2024).....	44
5 Demanda alta de los residuos orgánicos (02 de noviembre del 2024).....	44
6 Resumen de los residuos orgánicos.....	45
7 Demanda baja de los desechos inorgánicos reciclables (06 de septiembre del 2024).....	46
8 Demanda media de los desechos inorgánicos reciclables (12 de octubre del 2024). 47	47
9 Demanda alta de los desechos inorgánicos reciclables (03 de noviembre del 2024). 48	48
10 Resumen de los desechos inorgánicos reciclables.	49
11 Demanda baja de los desechos no recuperables para relleno sanitario (07 de septiembre del 2024).....	50
12 Demanda media de los desechos no recuperables para relleno sanitario (14 de octubre del 2024).....	51
13 Demanda alta de los desechos no recuperables para relleno sanitario (08 de noviembre del 2024).....	52
14 Resumen de los desechos no recuperables para relleno sanitario.	54
15 Demanda baja de los desechos no recuperables para coprocesamiento (08 de septiembre del 2024).....	55
16 Demanda media de los desechos no recuperables para coprocesamiento (18 de octubre del 2024).....	56
17 Demanda alta de los desechos no recuperables para coprocesamiento (09 de noviembre del 2024).....	57
18 Resumen de los desechos no recuperables para coprocesamiento.	59
19 Guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento	77
20 Boleta de registro de la clasificación en Planta de Tratamiento	80

Índice de anexos

Anexo	Pág.
1. Guía de entrevista al supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.....	69
2 Guía de entrevista al encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.....	71
3. Guía de entrevista a los clasificadores de la PTRS	73
4. Guía de entrevista a al encargado de abono.....	75
5. Guía de observación Planta de Tratamiento	77
6. Boleta de registro de la clasificación de los residuos y desechos sólidos	80
7. Manual para la correcta clasificación con instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento.	81

Resumen

La presente investigación se realizó en una planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos que opera en el departamento de Retalhuleu desde marzo de 2005. La unidad tiene a su cargo la gestión de los residuos orgánicos, desechos inorgánicos recuperables y no recuperables que se generan en seis unidades ejecutoras.

El tratamiento de los residuos orgánicos se realiza mediante digestión anaeróbica en cámaras de compostaje. Por otro lado, los desechos inorgánicos valorizables se gestionan mediante reciclaje, mientras que los no valorizables son tratados mediante co-procesamiento o disposición final en relleno sanitario.

El objetivo principal de la investigación fue la evaluación del cumplimiento de la clasificación de residuos y desechos sólidos. Para ello, se identificó el proceso de selección, se determinó el porcentaje de cumplimiento y el diseño de un manual que contiene una guía para el proceso de clasificación, así como un instrumento de evaluación para facilitar el seguimiento del proceso.

Como parte de la metodología se realizaron entrevistas al personal que labora en la planta de tratamiento y observación directa del proceso de clasificación. El proceso de selección se realiza en dos mesas de concreto, donde los desechos se clasifican por los siguientes rubros: orgánicos, inorgánicos reciclables, no recuperables para relleno sanitario y no recuperables para co-procesamiento. Posteriormente el personal operativo asignado como Clasificador de Desechos realiza su traslado a las áreas de disposición final correspondientes.

También se llevaron a cabo inspecciones manuales para determinar la eficiencia en el proceso de clasificación por las seis unidades ejecutoras clasificadas según su nivel generación de residuos: demanda baja, media y alta. Los resultados obtenidos evidencian que a nivel general el material recicitable y los desechos no recuperables para coprocesamiento presentan 100% de cumplimiento, los residuos orgánicos 94% y los desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario 96%.

Se incluye una propuesta de manual para la correcta clasificación de residuos y desechos sólidos en la que se presentan definiciones generales, procesos de clasificación por

rubro: orgánico, inorgánico recuperable o recicitable, inorgánico no recuperable para co-procesamiento e inorgánico no recuperable para relleno sanitario. También incluye información sobre las fases de degradación de la materia orgánica, producción de compost, compactación, traslado y disposición final de los residuos y desechos sólidos.

Finalmente se presenta el instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento que abarca: procedimientos, ecuaciones y tablas de registro para que sean utilizadas en cada uno de los rubros, sugiriendo que el mismo sea aplicado en temporadas de demanda alta, media y baja para obtener muestras representativas de los porcentajes de cumplimiento en la clasificación. Este instrumento incluye una hoja de cálculo que facilita la toma de decisiones y el monitoreo del proceso.

Abstract

This research was conducted at a solid waste treatment plant operating in the department of Retalhuleu since March 2005. The unit is responsible for managing organic waste, recoverable inorganic waste, and non-recoverable waste generated in six implementing units.

Organic waste is treated through anaerobic digestion in composting chambers. Recoverable inorganic waste is managed through recycling, while non-recoverable inorganic waste is treated through co-processing or final disposal in a sanitary landfill.

The main objective of the research was to evaluate compliance with solid waste classification. To this end, the selection process was identified, the compliance percentage was determined, and a manual was designed containing guidelines for the classification process, as well as an evaluation tool to facilitate process monitoring.

As part of the methodology, interviews were conducted with the treatment plant staff and direct observation of the classification process was conducted. The sorting process is carried out on two concrete tables, where the waste is sorted into the following categories: organic, recyclable inorganic, non-recoverable for landfill, and non-recoverable for co-processing. The operational staff assigned as Waste Sorters then transport the waste to the corresponding final disposal areas.

Manual inspections were also conducted to determine the efficiency of the sorting process by the six executing units, classified according to their level of waste generation: low, medium, and high demand. The results show that, overall, recyclable material and non-recoverable waste for co-processing show 100% compliance, organic waste 94%, and non-recoverable inorganic waste for landfill 96%.

A proposed manual for the proper classification of waste and solid waste is included, presenting general definitions and classification processes by category: organic, recoverable or recyclable inorganic, non-recoverable inorganic for co-processing, and non-recoverable inorganic for landfill. It also includes information on the stages of organic matter degradation, compost production, compaction, transfer, and final disposal of solid waste.

Finally, the compliance percentage assessment tool is presented, which includes procedures, equations, and recording tables for use in each category. It is suggested that it be applied during high, medium, and low demand seasons to obtain representative samples of compliance percentages in the classification. This tool includes a spreadsheet that facilitates decision-making and process monitoring.

I. Introducción

El presente documento contiene los resultados de la investigación realizada en una planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos ubicada en el departamento de Retalhuleu. Este trabajo se desarrolló como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, con el propósito de contribuir al fortalecimiento de la gestión ambiental en dicha instalación.

El objetivo general de la investigación fue evaluar el nivel de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la planta. A partir de este diagnóstico, se buscó proponer soluciones prácticas a los problemas identificados y diseñar herramientas que optimicen los procesos actuales. Para ello, se realizó un análisis detallado del proceso de clasificación, se determinó el porcentaje de cumplimiento y se elaboró un manual técnico que incluye un instrumento de evaluación.

La planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos (PTRS) cuenta con la infraestructura para clasificar y aportar el adecuado tratamiento a los residuos y disposición final a los desechos generados como parte de la operación. Siendo el proceso de clasificación clave para evitar impactos negativos en las etapas posteriores.

La metodología empleada en esta investigación se basó en diagnosticar el proceso de clasificación de los residuos y desechos sólidos, determinando el porcentaje de cumplimiento de clasificación en la PTRS. Posteriormente se generó una propuesta de instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento de la clasificación de los residuos y desechos sólidos para fortalecer la gestión ambiental dentro de la planta.

II. Revisión de literatura

2.1. Marco referencial

2.1.1. Descripción general de la empresa en la que opera la PTRS

En el área en la que se encuentra ubicada la planta de tratamiento se realizan actividades de esparcimiento y ocio. La misma brinda bienestar a los trabajadores del sector privado y sus familias, se encuentra consolidado como un referente en el ámbito de la recreación y turismo, ofreciendo experiencias de calidad internacional que combinan diversión, cultura y naturaleza.

La institución administra una red de parques, centros recreativos, áreas de hospedaje, restaurantes y áreas de comida rápida, atención médica de primeros auxilios, actividades culturales, educativas y deportivas promoviendo el turismo interno, recreación saludable y la integración familiar.

La infraestructura robusta de la institución está capacitada para atender a miles de visitantes diariamente. Anualmente la demanda de visitantes puede aumentar en los meses de vacaciones para los estudiantes y algunos trabajadores del sector público. Se considera demanda alta en junio, noviembre y diciembre y en los días festivos, por ejemplo: semana santa, día del trabajo, fiestas patronales, navidad y otros. Se puede considerar media o baja; en los meses de enero, febrero, marzo, agosto y septiembre.

2.1.2. Planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos (PTRS)

Ramos G. (2012) menciona que la PTRS inició su funcionamiento en el mes de marzo de 2005; cuenta con un área estimada de 1,376 metros cuadrados (m^2). Inicia sus operaciones de lunes a domingo desde las 6:00 A.M. y finaliza a las 5:00 P.M. A continuación, se expone la información general de la planta:

- Tecnología utilizada: Compostaje por cámaras ventiladas (COCAVENT).
- Proceso: Aeróbico termófilo, hasta 75 grados centígrados ($^{\circ}C$).
- Tiempo de degradación: 6 meses en cámaras más 2 meses de maduración.
- Capacidad: 10 tonelada (Ton)/día

- Infraestructura: área de selección, caseta de selección y clasificación, área de reciclables, baños, ducha, comedor, bodega, parqueo; 4 pares de cámaras en 2 etapas, área de maduración, relleno sanitario y estanque de lixiviados.
- Colaboradores en la PTRS; 16 más 1 supervisor.

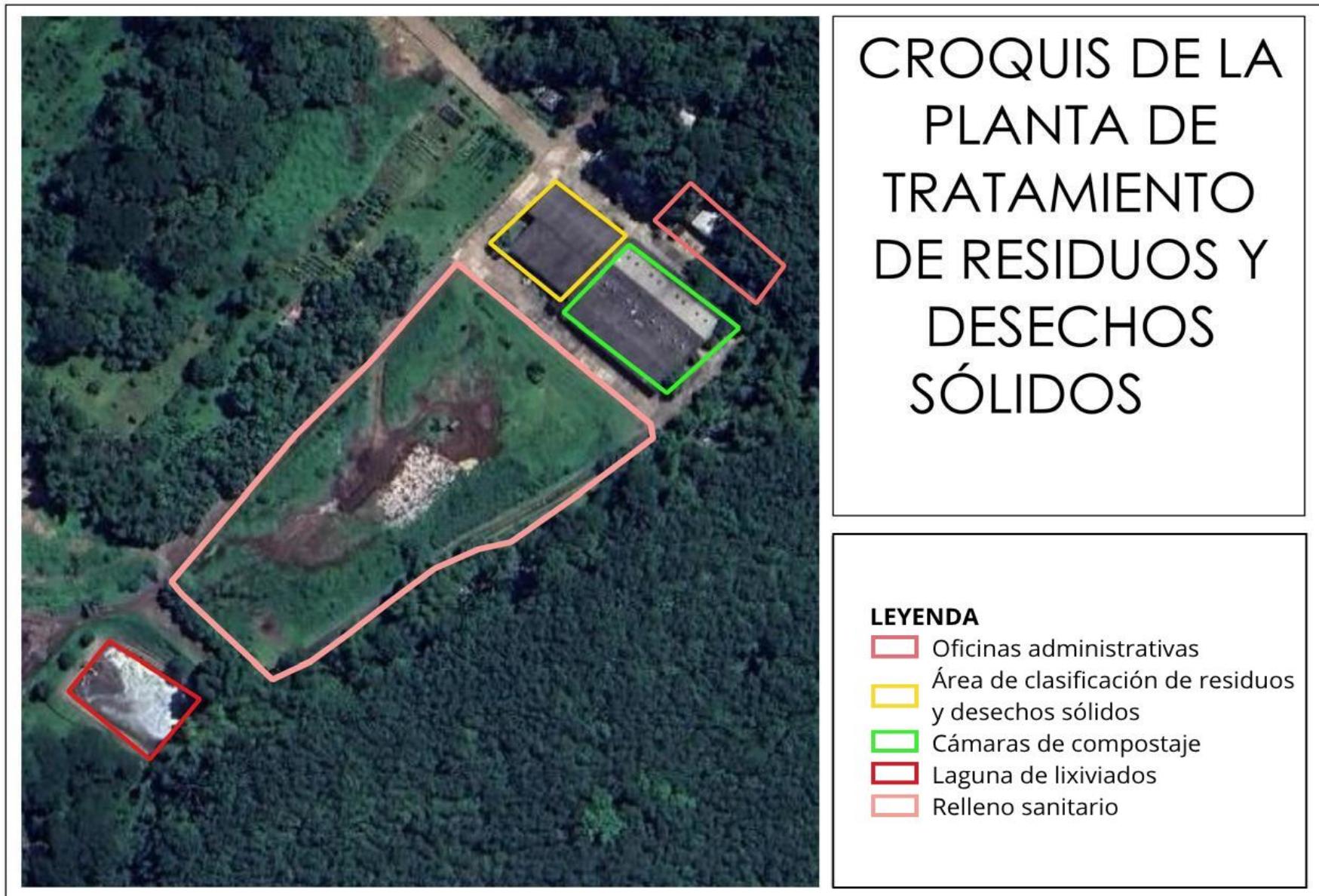
En la figura 1 (pág. 6) se presenta un croquis satelital esquemático de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos, en el cual se identifican y delimitan cinco áreas funcionales específicas, siendo las siguientes:

- Oficinas administrativas
- Área de clasificación de residuos y desechos sólidos
- Cámaras de compostaje
- Relleno sanitario
- Laguna de lixiviados

El croquis cumple la función de representar de manera clara y operativa la distribución espacial de los componentes clave del sistema de tratamiento, siendo útil para tareas de planificación, evaluación de funcionamiento y cumplimiento ambiental.

La planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos es una infraestructura integral orientada a la gestión eficiente y ambientalmente responsable de los residuos. Dispone de oficinas administrativas para la planificación, supervisión y control de las operaciones, así como de un área de clasificación equipada con cestas de selección y almacenaje, donde se realiza la separación de materiales para su posterior valorización o disposición final. Además, cuenta con cámaras de compostaje diseñadas para el tratamiento de residuos orgánicos mediante procesos de descomposición anaeróbica controlada. La planta incorpora una laguna de lixiviados que permite captar y almacenar los líquidos generados por la descomposición, evitando su infiltración al suelo y cuerpos de agua. Finalmente, dispone de un relleno sanitario destinado a la disposición final de los residuos no reciclables, operando bajo medidas de control ambiental y confinamiento técnico, en cumplimiento con la normativa vigente.

Figura 1 Croquis de la planta de tratamiento



Nota: Elaboración del autor. 2024.

2.1.2.1. Casetas de selección/almacenaje

Según Tello A. (2022, Pág. 15) quien cita a Salam G. (comunicación personal, 23 marzo, 2022) “en la PTRS se encuentran las cassetas de selección y almacenaje que constan de dos mesas fijas de concreto para la separación manual de materiales orgánicos e inorgánicos y el almacenaje de los materiales recuperables”.

El proceso de separación de los residuos se realiza a mano sobre dos mesas fijas de concreto, los colaboradores separan los residuos orgánicos, recuperables, materiales para el co-procesamiento y los inertes, los cuales se depositan en el relleno sanitario. El material recicitable es llevado al área de recuperables en donde se almacena para posteriormente ser vendido. La materia orgánica es depositada en las cámaras de compostaje para su tratamiento según Tello A. (2022, Pág. 15) quien cita a Salam G. (comunicación personal, 23 de marzo, 2022).

2.1.2.2. Cámaras de compostaje

Según Tello A. (2022, Pág. 16) quien cita a Quiñónez S. (comunicación personal, 23 marzo, 2022) las cámaras de compost tienen una capacidad de 120 metros cúbicos cada una, siendo en total 8 cámaras (4 cámaras en primera fase y 4 en segunda); en éstas se deposita diariamente el material orgánico clasificado en las mesas de selección, éste es mezclado con hojarasca (20% del total) recolectada en las áreas verdes de las instalaciones de la institución.

La hojarasca ayuda a controlar la humedad, a la aireación y contribuye a mejorar la composición del material. Al llenarse la cámara de la primera etapa el material pasa por una fase de encierro que dura tres meses. El proceso de compostaje se basa en los aspectos biológicos, físicos y químicos propios de la actividad microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica putrescible, la que está presente en el material orgánico. Los microorganismos responsables de la degradación se caracterizan por desintegrar los compuestos de las materias complejas al metabolizarlos en su fase catabólica, degradando con liberación de energía moléculas complejas en compuestos

más simples. (Tello A. 2022, Pág. 16) quien cita a Quiñonez S. (comunicación personal, 23 marzo, 2022).

Al finalizar los tres meses de la primera etapa el compost se traslada a la fase dos; en todo el proceso este es el único volteo realizado y pasa por 3 meses más de encierro para continuar con el proceso de degradación. Al finalizar esta etapa, todo el material es trasladado al patio de maduración donde es triturado para su proceso de compostaje y su asimilación en el suelo, posteriormente es trasladado al departamento de jardinería para su uso en las instalaciones. (Tello A. 2022, Pág. 16) quien cita a Quiñonez S. (comunicación personal, 23 marzo, 2022).

2.1.2.3. Relleno sanitario

Quiñónez S. (2022, Pág. 8) explica que es un sitio acondicionado donde se deposita el material no recuperable, cuenta con una base impermeable y un sistema de drenaje tipo francés que recolecta el agua de lluvia para enviarla a la laguna de lixiviados. Su capacidad total es de 48,000 metros cúbicos y cubre un área de 3,200 metros cuadrados; tiene una vida útil de 15 – 20 años; hasta la fecha se ha utilizado el 90% de su capacidad. Fue inaugurado en el mes de marzo de 2005 junto con toda la operación de la planta de tratamiento.

El material previamente seleccionado es compactado y trasladado al relleno sanitario en donde se coloca el material para después ser cubierto con tierra. (Quiñónez S. 2022, Pág. 8).

2.1.2.4. Laguna de lixiviados o laguna de estabilización

Quiñonez S. (2022, Pág. 9) indica que todas las aguas residuales provenientes del área de selección, cámaras de compostaje y relleno sanitario son enviadas a la laguna de lixiviados. Es un estanque impermeabilizado con capacidad para 1,500 metros cúbicos en donde se establece un régimen de biodegradación por la acción de bacterias

facultativas y aerobias estrictas que toman el oxígeno disuelto generado por la transformación consecuente de la materia orgánica.

Al final del proceso se cuenta con un sistema de desinfección, en donde se aplica cloro en tabletas al agua residual previa descarga. Como parte del cumplimiento legal ambiental, tal como lo establece el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se realiza dos veces al año el muestreo para el análisis del agua tratada en la laguna. (Quiñónez S. 2022, Pág. 9).

La descarga se realiza únicamente en época lluviosa, en verano el agua acumulada en la laguna es evaporada por el ambiente. (Quiñónez S. 2022, Pág. 9).

2.1.3 Composición de los residuos y desechos sólidos procesados en PTRS

A continuación, según Quiñónez S. (2024, Pág. 4) se clasifica manualmente todo el material de la siguiente manera:

a. Orgánico

Representa el 47.11% del total del material ingresado a la planta; éste se deposita en las cámaras de compostaje.

b. Reciclables

Representa el 29.70% del material ingresado, éste se almacena en un área destinada para el material recicitable.

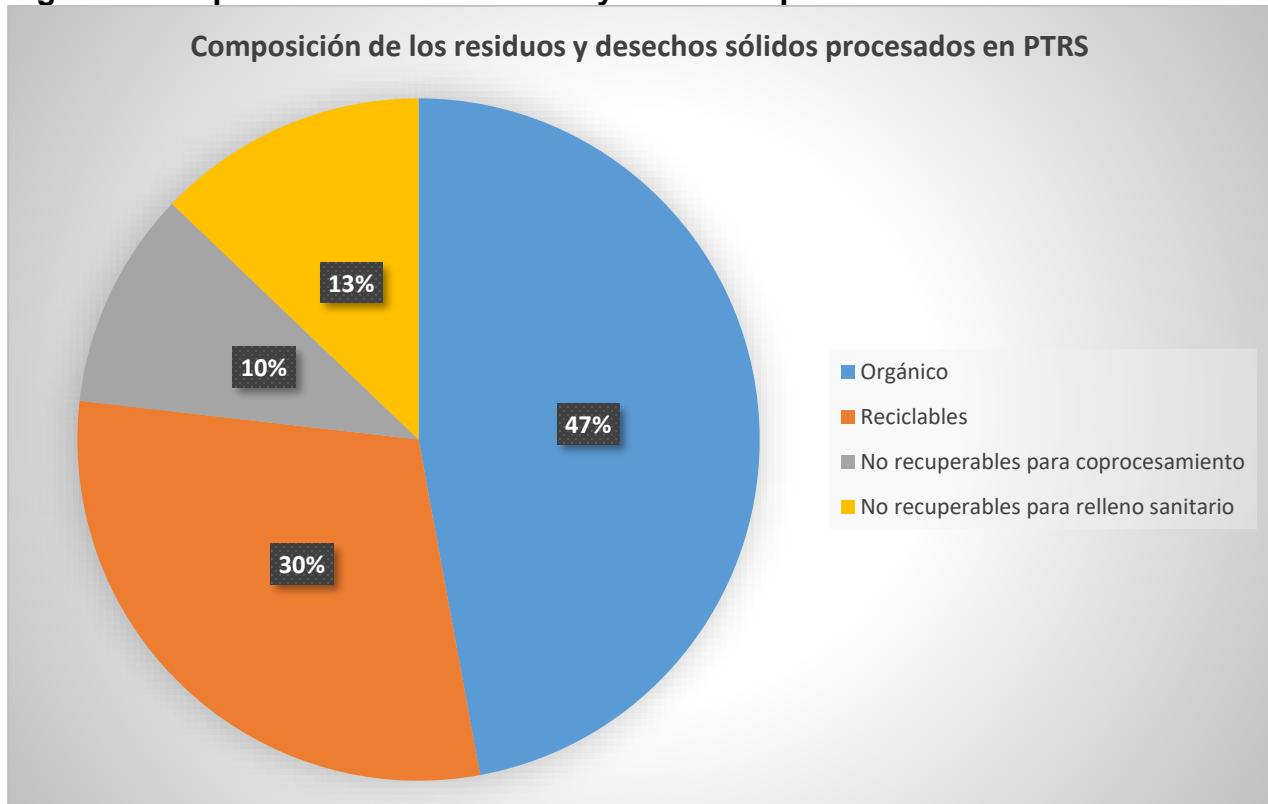
c. No recuperables para coprocesamiento

Representa el 10.33% del material ingresado, éste es compactado y almacenado para después ser enviado a la empresa que le brinda el tratamiento y disposición final.

d. No recuperables para relleno sanitario

Representa el 12.86% del total, éste es compactado y enviado al relleno sanitario. Está compuesto por todos aquellos materiales que no se pueden reciclar debido a su naturaleza y todos aquellos que se encuentran con presencia de materia orgánica.

Figura 2 Composición de los residuos y desechos procesados en la PTRS



Nota: Quiñonez S. (2024) y modificado por el autor.

2.1.4 Materiales con potencial calorífico

Según Tello A. (2022, Pág. 17) quien cita a Quiñónez S. (comunicación personal, 23 marzo, 2022) explica que en el caso de los materiales como el poliestireno expandido, bolsas de plástico de polietileno, papel, cartón, tereftalato de polietileno (PET), envoltorios de plástico de polipropileno (PP), y todos los materiales con potencial calorífico son clasificados para el co-procesamiento (generación de energía). Se contrata los servicios de una empresa dedicada a la cogeneración, con su debida acreditación ambiental. A

este proceso se excluyen todos los materiales que tengan restos de comida y estén mojados con algún líquido.

Así mismo estos materiales son separados y comprimidos para luego ser almacenados dentro de galeras para ser trasladados a la empresa contratada. (Tello A. 2022, Pág. 17) quien cita a Quiñonez S. (comunicación personal, 23 marzo, 2022).

2.1.5. Material recuperable

Ramos G. (2012, Pág. 37) aporta que el material recuperable generado en la PTRS se encuentra el papel, plástico, cauchos, metales, vidrios, cartón, latas, PET y metales ferrosos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Desechos sólidos

PROARCA (2005) define desechos sólidos de la siguiente manera:

Desechos sólidos se define como basura, incluyendo todo tipo de residuos de cocina y alimentos, desechos de origen animal o vegetal, fragmentos de materiales de construcción, desperdicios sanitarios de tanques sépticos, u otros materiales de desecho, incluyendo sólido, líquido, semisólido, o el material de desecho doméstico, industrial, comercial, de minas, u operaciones agrícolas. Se recuperan los materiales que no se consideran desechos sólidos o basura o los materiales reciclados. (Pág. 8)

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes, establece que un desecho es todo material producido por actividades humanas, descartado por el ente que lo genera, por lo tanto, no posee valor intrínseco o extrínseco, cuyo destino debe ser la disposición final. (Pág. 6)

2.2.2. Residuos sólidos

Instituto Nacional de Estadística e Informática (s.f.) enuncia que se considera residuos sólidos a los materiales o sustancias inservibles que no tienen un “valor de uso directo” para los generadores y que sienten la necesidad de deshacerse de estos. Son sustancias, productos o subproductos, en estado sólido o semisólido, que al no ser manejados adecuadamente pueden causar riesgos a la salud y el ambiente. Dichos residuos proceden principalmente de la generación de bienes y servicios, y de las actividades de consumo. (Pág. 35)

Palma K. (2012) hace la mención acerca de los residuos sólidos orgánicos los cuales los denomina como desechos biodegradables que son putrescibles, entre los cuales encontramos restos alimenticios, desechos de jardinería, residuos agrícolas, animales muertos, huesos, otros biodegradables excepto la excreta humana y animal. (Pág. 3)

2.2.3. Clasificación de desechos sólidos según su origen

Galvis J. (2016) por medio de investigaciones aporta que la clasificación de los residuos sólidos estructuralmente mantiene ciertas características desde su origen hasta su disposición final. Los diferentes usos de los materiales, su biodegradabilidad, combustibilidad, reciclabilidad y aprovechamiento, juegan un papel importante en la percepción de quien los clasifica, con la posibilidad de discrepancias entre una u otra clasificación. Respetando la estructura química, el origen y destino potencial final, se presenta la siguiente clasificación:

2.2.3.1. Residuos sólidos inertes

Son aquellos no biodegradables ni combustibles que provienen generalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales; por ejemplo, el vidrio, los metales, los residuos de construcción y demolición de edificios, tierras, escombros, entre otros. (Pág. 111)

2.2.3.2. Residuos que pueden ser peligrosos o no peligrosos

Están definidos por una o más de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso. Por sus características físicas, químicas o biológicas, pueden o no ser acoplados a procesos de recuperación o transformación, y en casos extremos tratarse para su incineración o confinamiento controlado. (Pág. 111)

2.2.3.3. Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos, conocidos popularmente como “basuras” que se producen en los núcleos de población, constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empieza a invadir su espacio vital o de esparcimiento. (Pág. 111)

2.2.3.4. Residuos agropecuarios

Son considerados en general de naturaleza orgánica; como tales, comparten características similares con otros residuos de origen agroindustrial y con la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos. La diferencia básica radica en que los residuos agropecuarios se producen en su entorno natural, mientras que los de origen agroindustrial son generados en procesos de transformación de los productos agrícolas y, finalmente, los urbanos que se generan en el proceso de consumo. (Pág. 111)

2.2.3.5. Residuos sólidos orgánicos

Son los materiales residuales que, en algún momento, tuvieron vida, formaron parte de un ser vivo o deriven de los procesos de transformación de combustibles fósiles. (Pág. 110)

Según Galvis J. (2016) dentro de los residuos sólidos orgánicos se encuentran:

A. Putrescibles

Son los residuos que provienen de la producción o utilización de materiales naturales sin transformación natural significativa; por ello y por su grado de humedad mantienen un

alto grado de biodegradabilidad. Entre ellos se pueden mencionar: residuos forestales o de jardín, residuos animales, residuos de comida, heces animales, residuos agropecuarios y agroindustriales, entre otros. (Pág. 110)

B. No putrescibles

Residuos cuyas características biológicas han sido modificadas, al grado en que determinadas condiciones pierden su biodegradabilidad. Comúnmente son los combustibles, entre los cuales se encuentran:

- Naturales: la condición determinante de la pérdida de biodegradabilidad es la falta de humedad, por ejemplo, el papel, el cartón, los textiles de fibras naturales, y la madera, entre otros. (Pág. 111)
- Sintéticos: residuos no biodegradables altamente combustibles, provenientes de procesos de síntesis petroquímica, como por ejemplo los plásticos, las fibras sintéticas, entre otros. (Pág. 111)

2.2.4. Clasificación de los plásticos

La clasificación técnica de los plásticos se realiza considerando su composición química, estructura molecular y comportamiento frente al calor. Esta clasificación permite identificar sus propiedades físicas, térmicas y mecánicas, así como su compatibilidad con procesos de transformación, reciclaje y su impacto ambiental. A partir de estos criterios, se determinan sus aplicaciones industriales y su manejo adecuado en sistemas de gestión de residuos.

2.2.4.1. Tereftalato de polietileno (PET)

Academia Lab. (2025) hace mención acerca del tereftalato de polietileno (o poli(tereftalato de etileno), PET, PETE, o el obsoleto PETP o PET-P), siendo la resina polimérica termoplástica más común de la familia de los poliésteres y se utiliza en fibras para prendas de vestir, envases para líquidos y alimentos, y termoformado para la fabricación, y en combinación con fibra de vidrio para resinas de ingeniería. (Párr. 1)

Según Academia Lab. (2025) el tereftelato de polietileno (PET) se le aplican los siguientes usos:

- Textiles: las fibras de poliéster se utilizan en prendas de moda, a menudo mezcladas con algodón, como capas de aislamiento térmico en ropa térmica, ropa deportiva y de trabajo, y tapicería de automóviles. (Párr. 7)
- Embalaje rígido: las botellas de plástico hechas de PET son ampliamente utilizadas para refrescos, tanto sin gas como con gas. Para las bebidas que se degradan con el oxígeno, como la cerveza, se utiliza una estructura multicapa. El PET intercala una capa adicional de alcohol polivinílico (PVOH) o poliamida (PA) para reducir aún más su permeabilidad al oxígeno. (Párr. 8)

La lámina de PET no orientada se puede termoformar para fabricar bandejas de embalaje y blisters. El PET cristalizable soporta temperaturas de congelación y horneado. Tanto el PET amorfico como el BoPET son transparentes a simple vista. Los tintes que confieren color se pueden formular fácilmente en láminas de PET. (Párr. 9) El PET es permeable al oxígeno y al dióxido de carbono y esto impone limitaciones en la vida útil de los contenidos envasados en PET. (Párr. 10)

- Embalaje flexible: la película de PET biorientado (BOPET) (a menudo conocida por uno de sus nombres comerciales, "Mylar") puede aluminizarse evaporando una película delgada de metal sobre ella para reducir su permeabilidad y hacerla reflectante y opaca (MPET). Estas propiedades son útiles en muchas aplicaciones, incluido el envasado flexible de alimentos y el aislamiento térmico (como mantas espaciales). (Párr. 11)
- Módulos fotovoltaicos: BOPET se utiliza en la lámina posterior de los módulos fotovoltaicos. La mayoría de las láminas traseras consisten en una capa de BOPET laminada con un fluoropolímero o una capa de BOPET estabilizado contra los rayos UV. (Párr. 12)

PET también se utiliza como sustrato en células solares de película delgada. (Párr. 13)

- Resinas termoplásticas: el PET se puede combinar con fibra de vidrio y aceleradores de cristalización para fabricar resinas termoplásticas. Estos se pueden moldear por inyección en piezas como carcasa, cubiertas, componentes de electrodomésticos y elementos del sistema de encendido. (Párr. 14)

2.2.4.2. Polietileno de alta densidad (HDPE)

Díaz J. (2025) hace el aporte acerca del polietileno de alta densidad (HDPE) el cual es un polímero termoplástico derivado del petróleo que se caracteriza por su alta relación fuerza-densidad. Se utiliza ampliamente debido a su resistencia química, ligereza y facilidad de moldeado en procesos industriales. (Párr. 2)

Según Díaz J. (2025) el polietileno de alta densidad (HDPE) se aplica para los siguientes usos:

- Envases y embalajes: desde botellas hasta contenedores industriales por su resistencia y ligereza. Ejemplo: botellas de detergente o envases de leche.
- Construcción e infraestructuras: se utiliza en tuberías para conducción de agua potable y gas por su resistencia química y durabilidad. Ejemplo: tuberías de distribución municipal.
- Industria automotriz: fabricación de piezas resistentes al impacto y a agentes químicos. Ejemplo: depósitos de combustible.
- Juguete y productos domésticos: por su seguridad, resistencia al uso intensivo y facilidad de limpieza. Ejemplo: juguetes infantiles o utensilios de cocina.
- Sector agrícola: fabricación de geomembranas y sistemas de riego resistentes a agentes atmosféricos y químicos. Ejemplo: sistemas de riego agrícola.

2.2.4.3. Polipropileno (PP)

Rodríguez F. (2015) menciona que al polipropileno se le conoce con las siglas PP. Es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C). Es muy resistente a los golpes, aunque

tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. (Pág. 2)

Según Rodríguez F. (2015) menciona que dentro de los principales usos que tiene el polipropileno (PP), se encuentran:

- Fabricación de sacos.
- Bolsas.
- Envolturas debido al lustre satinado y buena tenacidad.
- A nivel automotriz, por su peso reducido, precio, facilidad de conformación.
- Utensilios domésticos.
- Juguetes.
- Cassetes.
- Block de dibujo o escritura.
- Piezas de dispositivos.
- Empaquetados.
- Utensilios de laboratorio.
- Botellas de diferentes tipos.
- Plantillas ortopédicas.

2.2.4.4. Polietileno (PE)

Pérez V. (2015) aporta acerca del polietileno, el cual es un polímero termoplástico que consiste en largas cadenas de hidrocarburos. Dependiendo de la cristalinidad y el peso molecular, un punto de fusión y de transición vítrea puede o no ser observables. La temperatura a la que esto ocurre varía fuertemente con el tipo de polietileno. Para calidades comerciales comunes de polietileno de media y alta densidad, el punto de fusión está típicamente en el rango de 120 a 130°C. El punto de fusión promedio polietileno de baja densidad comercial es típicamente 105 a 115°C. (Pág. 3)

Según Pérez V. (2015) indica que el polietileno integra los siguientes usos en el área industrial:

- Tuberías para distribución de agua potable.
- Envases de alimentos, detergentes, y otros productos químicos.
- Artículos para el hogar.
- Juguetes.
- Acetábulos de prótesis femorales de caderas.
- Dispositivos protectores (cascos, rodilleras, coderas...).
- Impermeabilización de terrenos (vertederos, piscinas, estanques, pilas dinámicas en la gran minería).
- Empaques para partes automotrices.
- Charolas (trays) termoformados con la forma geométrica de la parte a contener.
- Tarimas.
- ush (Pallets).

2.2.4.5. Poliestireno expandido (EPS)

Ecoplas (2020) define al Poliestireno expandido o EPS, conocidos por todos como “Telgopor”, como un material plástico espumado utilizado ampliamente en el sector de la construcción, principalmente como aislante térmico y acústico, en el sector de envases y embalajes, potes de helado, bandejas, hueveras, vasos térmicos que mantienen las bebidas con su temperatura adecuada largo tiempo por su capacidad aislante. Por tener la propiedad de flotar en agua, se usa en la fabricación de chalecos salvavidas, barrenadores, y en una serie de aplicaciones diversas. (Pág. 3)

Según Ecoplas (2020) el poliestireno expandido (EPS) se le aplican los siguientes usos:

- Envases seguros livianos y sustentables.
- Medicamentos.
- Náutica y flotación.
- Construcción.

2.2.5. Gestión integrada de residuos y desechos sólidos

Ática (s.f.) aporta lo siguiente acerca de la gestión integrada de residuos y desechos sólidos:

La gestión integral de residuos sólidos es un plan que contempla una serie de actividades y procesos, los cuales están centrados en disminuir la generación de residuos sólidos. Dichas labores se encuentran enfocadas en aprovechar las características de los desechos, con el objetivo de darles otras formas de aprovechamiento en el mercado. (Párr. 3)

Mora C. & Berbeo M. (2010) mencionan que la gestión integral es el manejo que implica la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con la gestión de los residuos desde su generación hasta su disposición final. (Pág. 6)

2.2.6. Tratamiento

Rondón Toro, Szantón Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez (2016) definen tratamiento al proceso que:

Una vez recolectados y antes de ser depositados en los sitios de disposición final (o rellenos sanitarios), los residuos sólidos pueden ser sometidos a procesos que produzcan beneficios técnicos, operativos, económicos y ambientales. Así, el objetivo del tratamiento y valoración de los residuos es realizar operaciones encaminadas a la eliminación o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos. (Pág. 68)

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes, hace la mención acerca del tratamiento el cual es un procesamiento de los desechos sólidos comunes, a través del empleo de sistemas mecánicos, químicos, térmicos o una combinación de estos; orientados a la minimización o eliminación de su riesgo sanitario y ambiental, o a la

reducción de su tamaño o volumen; facilitando la recuperación y el reciclaje de materiales, o la degradación y disposición final de los productos obtenidos del proceso. (Pág. 8)

2.2.6.1. Compostaje

Rondón Toro, Szantón Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez (2016) definen compostaje cómo:

Un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia, de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50 y 70°C, lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto. (Pág. 71)

La Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres (2018) por medio de investigaciones sobre el compostaje indican que es un abono orgánico que se obtiene a través de un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas (en presencia del oxígeno del aire). La materia vegetal y/o materia de heces de animal con la adecuada humedad y temperatura, se descompone gracias a diferentes microorganismos que realizan una transformación higiénica de los restos orgánicos y la convierten en un material homogéneo y asimilable para las plantas. (Pág. 5)

2.2.6.2. Reciclaje

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes, menciona que el reciclaje es el Procesamiento de materiales recuperados a partir de residuos sólidos comunes, que permite, por medio de la aplicación de transformaciones físicas, químicas, biológicas o una combinación de éstas, la modificación de sus propiedades, de manera que sea factible su reutilización. (Pág. 7)

Palma K. (2012) indica que el reciclaje se entiende como un proceso físicoquímico o mecánico que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales, macro económico y para eliminar de forma eficaz los desechos. (Pág. 12)

2.2.6.3. Co-procesamiento

El Reglamento para la disposición final de medicamentos, materias primas y sus residuos Costa Rica (2010) aporta que el co-procesamiento se refiere al:

Proceso de aprovechamiento de los residuos sólidos o líquidos y de su poder calorífico, como materia prima o combustibles alternos al uso de minerales y combustibles fósiles en procesos industriales que requieren altas temperaturas, principalmente en aquellos que utilizan la energía en forma intensiva, tales como la industria del cemento, acero, vidrio y la generación de energía, rebajando a su vez su potencial de contaminación a niveles mínimos. (Párr. 15)

Hinkel M., Blume S., Hinchliffe D., Mutz D & Hengevoss D. (2020) definen al co-procesamiento refiriéndolo al uso de AFR en el proceso de producción de cemento en puntos de alimentación adecuados de forma controlada, donde se quema como combustible y proporciona materia prima. Esto permite la sustitución de combustibles primarios (carbón, coque de petróleo, gas natural) y materias primas, recuperando energía de los residuos y reciclando su contenido mineral. Sólo se pueden utilizar materiales de desecho cualificados para este proceso. (Pág. 10)

2.2.7. Disposición final

Rondón Toro, Szantón Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez (2016) definen disposición final cómo:

Un componente importante de la gestión integral de residuos. Entre los métodos más conocidos para disponer los residuos sólidos, se consideran actualmente a los rellenos sanitarios como la mejor solución técnica, económica y ambiental. (Pág. 73)

Otra definición por El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes, indica que la disposición final es el aislamiento o eliminación definitiva de desechos sólidos comunes o de productos generados durante su tratamiento, por medio del uso de tecnologías que garanticen la ausencia o el estricto control del riesgo sanitario y ambiental. (Pág. 6)

2.2.7.1. Relleno sanitario

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018) en el Reglamento para la gestión Integral de los Residuos y Desechos Comunes, indica que el relleno sanitario es el conjunto de obras de ingeniería que permiten la disposición final de desechos sólidos, sistemática, por medio de su acomodo, compactación y recubrimiento sanitario con materiales inertes, así como el control permanente de las emisiones generadas por el sistema. (Pág. 7)

Ullca J. (2006) hace referencia a los rellenos sanitarios la cual es una técnica de disposición de residuos sólidos la cual consiste en la disposición de capas de basura compactadas sobre un suelo previamente impermeabilizado para evitar la contaminación del acuífero y recubiertas por capas de suelo. Una ventaja del relleno sanitario sobre otros métodos de tratamiento de residuos, es la posibilidad de recuperación de áreas ambientalmente degradadas por la minería o explotación de canteras, así como de terrenos considerados improductivos o marginales. (Pág. 2)

2.2.8. Legislación ambiental de Guatemala sobre residuos y desechos sólidos

La legislación ambiental nacional vigente en Guatemala, se encuentra estructurada de la siguiente manera:

2.2.8.1. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos

Según De León, K. (2016) se emitió la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos con la visión que Guatemala sea un país limpio y ordenado, con un ambiente saludable y una población educada, abordando los ámbitos político-institucional, social, económico, ambiental y salud. (Párr. 1)

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos en el Acuerdo Gubernativo 281-2015, la herramienta de legislación ambiental integra el propósito de implementar programas y líneas de política, las cuales generen acciones para minimizar los riesgos provocados por los desechos sólidos a los seres humanos y al ambiente, reduciendo la cantidad de los desechos sólidos por medio de la gestión integral para contribuir al bienestar de la salud y del ambiente. (Pág. 29)

La Política además indica que se enfoca a toda clase de residuo y desecho sólido en general, es una Política Marco que orienta y plantea la necesidad de fortalecer el marco jurídico y normativo en la materia considerando las características en base al origen, composición o peligrosidad de los residuos y desechos sólidos. (Pág. 29)

2.2.8.2. Código Municipal (artículo 67 y 68 inciso A)

El Congreso de la República de Guatemala (2002) a través del Código Municipal en el artículo 67. Gestión de intereses del municipio indica que el municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias puede promover toda clase de actividades económicas, sociales, culturales, ambientales, y prestar cuantos servicios contribuyan a mejorar la calidad de vida, a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la población del municipio. (Pág. 20)

En el artículo 68. Competencias propias del municipio según el Código Municipal menciona acerca de las competencias propias las cuales deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios a través del tratamiento y disposición final de desechos y residuos sólidos hasta su disposición final. (Pág. 20)

2.2.8.3. Constitución Política de República de Guatemala (artículos 97)

La Asamblea Nacional Constituyente de Guatemala (1985) en la Constitución Política de la República de Guatemala según el artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico aporta que 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. (Pág. 19)

2.2.8.4. Código de salud (artículos 107)

El Congreso de la República de Guatemala (1997) en el Código de salud según el artículo 107. Desechos sólidos de la industria y comercio hace mención que, para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza de sus operaciones, especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos, no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales. El Ministerio de Salud y la municipalidad correspondiente dictaminarán sobre la base del reglamento específico sobre esta materia. (Pág. 28)

III. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación en una planta de tratamiento en el departamento de Retalhuleu.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar el proceso de clasificación de residuos y desechos sólidos.
- Determinar el porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos.
- Diseñar un manual para la correcta clasificación de residuos y desechos sólidos y la evaluación del porcentaje de cumplimiento.

IV. Materiales y métodos

4.1. Materiales y presupuesto

El siguiente cuadro contiene el listado de materiales y presupuesto de la investigación:

Tabla 1 Materiales y presupuesto

No.	Recursos	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Recurso humano	Persona / mes	3	Q. 3,477.82	Q. 10,433.46
2	Arrendamiento de computadora	Unidad	8	Q. 50.00	Q. 400.00
3	Guantes	Par	2	Q. 14.65	Q. 29.30
4	Botas de hule	Par	2	Q. 65.00	Q. 130.00
5	Mascarilla KN95	Unidad	12	Q. 10.00	Q120.00
6	Delantal	Unidad	1	Q. 69.00	Q 69.00
7	Balanza	Unidad	1	Q. 1,500.00	Q. 1,500.00
8	Cuaderno	Unidad	1	Q. 50.00	Q. 50.00
9	Lapicero	Unidad	1	Q. 1.50	Q. 1.50
10	Hojas bond	Unidad	500	Q. 0.25	Q. 125.00
TOTAL					Q. 12,858.26

Nota: elaborado por el autor con base en el Acuerdo Gubernativo 307-2023 y cotizaciones realizadas en el área de Retalhuleu, abril de 2024.

Los recursos económicos presentados en la tabla de materiales y presupuesto fueron financiados por el investigador excepto el recurso humano.

4.1.1. Métodos

4.1.1.1. Identificación del proceso de clasificación de residuos y desechos sólidos que ingresan a una Planta de Tratamiento del departamento de Retalhuleu.

A continuación, se detallan las actividades realizadas para el alcance de este objetivo:

a. Generación del esquema del proceso de manejo de los residuos y desechos sólidos recepcionados en planta de tratamiento.

Con el propósito de identificar el proceso de clasificación realizado por el personal que labora en la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos se aplicaron entrevistas al Supervisor y Encargado; para esto se redactó una guía de entrevista (ver guía en anexo 1 y 2, página 69, 70, 71, 72).

Posteriormente se realizó una entrevista al personal operativo con plaza de Clasificador de Desechos y Encargado de Abono Orgánico; con el objetivo de complementar la información brindada por el Supervisor y Encargado de la planta de tratamiento. (ver guía de entrevista en anexo 3 y 4, página 73, 74, 75, 76).

Aunado a las entrevistas se realizó una jornada de observación durante 15 días, con el propósito de identificar el proceso del manejo de los residuos y desechos sólidos recepcionados en la planta de tratamiento. Dicha observación permitió generar un esquema en el que se especifica cada paso del proceso. (ver guía de observación en anexo 5, página 77, 78, 79).

Por último, con base en la información recopilada en las entrevistas y jornada de observación, se diseñó un esquema con el proceso de manejo de los residuos y desechos desde su recepción en la planta de tratamiento hasta su disposición final. El mismo se validó con el Supervisor de la planta y Jefe de Control Ambiental.

4.1.1.2. Determinación del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos.

La planta tiene ingreso de cuatro rubros de desechos y residuos: materia orgánica, material recicitable, desechos no recuperables para co-procesamiento y no recuperables para relleno sanitario. A continuación, se detallan las actividades realizadas para la determinación del cumplimiento de la clasificación:

a. Evaluación de la clasificación de los residuos y desechos sólidos

Esta actividad consistió en identificar si cada rubro de desechos sólidos fue clasificado de la forma correcta, según la categoría a la que pertenece. Para el proceso de evaluación durante la operación se realizó una inspección manual por cada rubro de desechos por unidad ejecutora una semana durante un periodo de tres meses el cual fue dividido en demanda alta, media y baja con base en la cantidad de visitantes que ingresan a la institución en la que opera la planta de tratamiento en temporadas de festividades y asuetos, se realizó el resumen del total de residuos y desechos obtenidos en las demandas sumando los pesos de los rubros correctamente e incorrectamente clasificados, multiplicando las cantidades por 100 y dividiendo los resultados por el peso total de residuos y desechos, la evaluación se realizó de la siguiente manera:

- Orgánico: previo a su disposición final en las cámaras de compostaje se pesaron y se realizó una inspección manual, con el propósito de identificar la existencia de residuos y desechos que no corresponden a este rubro, de acuerdo al manual. Se llenó una boleta de registro en donde se anotó: 1. El peso total, 2. El peso de los desechos correctamente clasificados, y 3. El peso de los desechos clasificados incorrectamente. Ver anexo 6, en página 80.
- Inorgánico recicitable: previo a su almacenamiento, el polietileno tereftalato (PET), aluminio, vidrio, cartón, material de oficina y chatarra fueron inspeccionados manualmente para determinar si fue clasificado correctamente con base en el manual. Ver boleta de registro en anexo 6, página 80.
- Inorgánico no recuperable para relleno sanitario: previo a su traslado al relleno sanitario se realizó una inspección manual de los desechos inorgánicos no

recuperables, con el propósito de identificar la existencia de residuos que no correspondan a este rubro, de acuerdo al manual generado. Ver boleta de registro en anexo 6, página 80.

- Inorgánico no recuperable para coprocesamiento: previo a su compactación y almacenamiento, el material fue inspeccionado manualmente para determinar si fue clasificado correctamente con base en el manual. Ver boleta de registro en anexo 6, página 80.

4.1.1.2.1. Cálculo del porcentaje de cumplimiento

Para el cálculo del porcentaje de cumplimiento se realizaron los siguientes procedimientos, con base en la información recopilada en el inciso anterior:

a. Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de cumplimiento

Donde:

t = Total de desechos recepcionados durante el día

p = Cantidad de desechos clasificados correctamente

n = Cantidad de desechos clasificados incorrectamente

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = p * 100/t$$

b. Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de incumplimiento

$$\text{Porcentaje de incumplimiento} = n * 100/t$$

c. Interpretación del resultado del cálculo del porcentaje

El resultado obtenido es el porcentaje del total de desechos sólidos que cumple con lo indicado en el manual de clasificación.

4.1.1.3. Realización de manual para la correcta clasificación de los residuos y desechos sólidos en PTRS ubicada en el departamento de Retalhuleu.

Con base en la información recopilada en las entrevistas y jornada de observación especificadas en el inciso 4.1.2.1.1, se redactó un manual, el cual identifica la forma correcta de clasificar los residuos y desechos sólidos que ingresan a la planta de tratamiento.

Este manual contiene en forma específica qué tipo de residuos y desechos deben incluirse en cada rubro de clasificación, de acuerdo a la operación de la planta, de la siguiente manera:

1. Orgánico
2. Inorgánico recicitable
3. Inorgánico no recuperable para relleno sanitario
4. Inorgánico no recuperable para coprocesamiento

Para complementar dicho manual se tomaron fotografías de los residuos y desechos incluidos en cada rubro para enriquecer la información. El mismo se validó por el Supervisor, Encargado de la planta de tratamiento y jefe de Control Ambiental, en una reunión.

4.1.1.3.1. Propuesta de instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos.

Con base en los resultados obtenidos en los cálculos anteriores se diseñó un instrumento que permita medir el porcentaje de cumplimiento de la clasificación de los residuos y desechos sólidos

Se realizaron investigaciones bibliográficas sobre instrumentos de evaluación que sean utilizados para el mismo propósito.

Una vez realizada la propuesta de instrumento se validó con el supervisor de la PTRS y jefe de control ambiental para identificar si es viable su uso o necesita mejoras para su ejecución.

V. Resultados y discusión

5.1. Identificación del proceso de manejo de los residuos y desechos sólidos recepcionados en la planta de tratamiento.

5.1.1. Vaciado de la guía de entrevista al supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

Resultados de la guía de entrevista dirigido al supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.

1) ¿Tienen algún registro para la clasificación de los residuos y desechos sólidos en la Planta de Tratamiento?

R// Si se cuenta con un registro en la Planta de Tratamiento.

2) ¿Cuántas jornadas de clasificación de residuos y desechos sólidos se realizan en la Planta de Tratamiento al día?

R// Se realizan jornadas según las unidades ejecutoras, siendo 5 parques.

3) ¿Cuáles desechos son los que se compactan en la máquina compactadora?

R// Los desechos no recuperables para relleno sanitario y los desechos no recuperables para coprocesamiento.

4) ¿En qué periodo de tiempo se realizan los procesos de compactación de los desechos?

R// En el momento en que se generan bolsas con desechos en la Planta de Tratamiento.

5) ¿Se realizan capacitaciones a los clasificadores de desechos en la Planta de Tratamiento?

R// Los nuevos clasificadores se les imparten capacitaciones para clasificar.

6) ¿Se basan en algún reglamento para la clasificación de los residuos y desechos sólidos?

R// En el acuerdo gubernativo 164-2021 y su reforma 184-2023.

5.1.2. Vaciado de la guía de entrevista al encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

Resultados de la guía de entrevista dirigido al encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.

- 1) ¿Tienen algún registro para la clasificación de los residuos y desechos sólidos en la Planta de Tratamiento?

R// La Planta de tratamiento cuenta con un registro para clasificar los desechos de las unidades ejecutoras.

- 2) ¿Cuántas jornadas de clasificación de residuos y desechos sólidos se realizan en la Planta de Tratamiento al día?

R// Las jornadas son realizadas por unidad ejecutora.

- 3) ¿Cuáles desechos son los que se compactan en la máquina compactadora?

R// La compactación se utiliza para disminuir el tamaño de los desechos.

- 4) ¿En qué periodo de tiempo se realizan los procesos de compactación de los desechos?

R// Al finalizar cada clasificación las bolsas son llevadas a la máquina compactadora.

- 5) ¿Se realizan capacitaciones a los clasificadores de desechos en la Planta de Tratamiento?

R// Se capacitan a los clasificadores cuando ingresan por primera vez a la Planta de Tratamiento.

- 6) ¿Se basan en algún reglamento para la clasificación de los residuos y desechos sólidos?

R// Se basan en el acuerdo gubernativo 164-2021 además de incluir la reforma 184-2023.

5.1.3. Vaciado de la guía de entrevista a los clasificadores de la PTRS

Resultados de la guía de entrevista dirigido a los clasificadores de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.

- 1) ¿Cuál es el procedimiento al llegar los camiones de recolección con los residuos y desechos sólidos de las unidades ejecutoras?

R// Las bolsas con desechos se pesan y se quedan en el área de clasificación para luego ser colocados en las mesas de selección en la Planta de Tratamiento.

- 2) ¿Cómo es el proceso de clasificación que implementan para los residuos y desechos sólidos?

R// Se separan según el tipo de desecho y se almacenan hasta ser trasladados a su destino de disposición final

- 3) ¿En dónde almacenan los desechos orgánicos al finalizar el proceso de clasificación?

R// Se colocan en las cámaras de compostaje para convertirlo en compost.

- 4) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos reciclables al finalizar el proceso de clasificación?

R// Las botellas de vidrio se almacenan en toneles, las botellas y material de plástico se almacenan en jumbos, las latas y material de aluminio se almacenan en jumbos, el cartón, galones de aceite y material de oficina se coloca en el área de carga de material recuperable en la Planta de Tratamiento.

- 5) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos no recuperables antes de su disposición final en el relleno sanitario?

R// Los desechos inorgánicos son colocados en un área cerca del relleno sanitario para luego ser trasladados por medio de picops o camiones.

6) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos para coprocesamiento al finalizar el proceso de clasificación?

R// Los desechos inorgánicos son trasladados hacia una cámara destinada a las pacas para coprocesamiento.

7) ¿Cuál es el proceso de los residuos orgánicos luego de su proceso de almacenamiento en las cámaras de compostaje?

R// Son colocados en el patio de maduración durante un periodo de 2 meses para luego ser triturado y convertido en compost para la jardinización en la Planta de Tratamiento.

5.1.4. Vaciado de la guía de entrevista al encargado de abono

Resultados de la guía de entrevista dirigido al encargado de abono de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos.

- 1) ¿Qué tipo de cámaras de compostaje son las que se utilizan en la Planta de Tratamiento?

R// Son cámaras de tipo anaeróbicas

- 2) ¿Cuánto tiempo dura cada fase de descomposición en las cámaras de compostaje?

R// Cada fase tiene una duración de 3 meses para descomponer la materia orgánica.

- 3) ¿En dónde almacenan los desechos orgánicos al finalizar el proceso de clasificación?

R// Se colocan en las primeras 4 cámaras según la que se encuentre en uso.

- 4) ¿Qué se hace con la materia orgánica al finalizar su proceso de descomposición en las cámaras de compostaje?

R// Es triturada por medio de la trituradora para ser convertida en compost.

- 5) ¿Cómo trasladan la materia orgánica a las cámaras para la segunda fase de descomposición?

R// Son trasladadas por medio de una retroexcavadora por los clasificadores.

- 6) ¿Se utiliza algún producto químico en las cámaras de compostaje?

R// Se utiliza SCDM EM Plus el cual evita la propagación de larvas y malos olores en las cámaras.

- 7) ¿Qué uso se le da al compost obtenido del tratamiento de la materia orgánica en las cámaras de compostaje?

R// Se utiliza para abonar las plantas en el área de la Planta de Tratamiento.

5.1.5. Resultados de la guía de observación Planta de Tratamiento

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Tabla 2 Resultados de la guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

No.	Actividad	Sí	No
	Recepción de los desechos		
1	Se verifica el tipo de vehículo utilizado para la recolección de desechos sólidos en las unidades ejecutoras.	✓	
2	Las bolsas con desechos llegan amarradas a la planta de tratamiento.	✓	
3	Las bolsas con desechos llegan identificadas sobre tipo de contenedor del que provienen.		✓
4	Los recolectores de los trenes utilizan equipo de protección (guantes de látex, botas y mascarilla).		✓
5	Las bolsas con desechos se encuentran rotas al llegar a la planta de tratamiento.		✓
6	Los desechos sólidos se pesan al ingresar a la Planta de Tratamiento.	✓	
7	Los clasificadores apuntan los pesos de las bolsas en una tabla de registros.	✓	
8	Las mesas de selección se encuentran limpias y sin ningún tipo de residuo o desecho previo al proceso de clasificación.	✓	
	Clasificación de los residuos y desechos sólidos	Sí	No
9	Los clasificadores maniobran con facilidad las bolsas con desechos para ser colocadas en las mesas de selección.		✓
10	Los clasificadores utilizan el equipo de protección para la clasificación.		✓

Continúa tabla 2. Resultados de la guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

	Clasificación de los residuos y desechos sólidos	Sí	No
11	Las mesas de selección se adaptan a la estatura de los clasificadores.	✓	
12	Cuentan con bolsas para almacenar los desechos inorgánicos.	✓	
13	Cuentan con carretillas para trasladar los residuos orgánicos.	✓	
14	Los desechos inorgánicos reciclables se aplica el proceso de reciclaje establecido en la Planta de Tratamiento.	✓	
15	Las botellas plásticas de PET son ingresadas a la máquina ponchadora.	✓	
16	Las bolsas con desechos no recuperables con disposición final en el relleno sanitario son compactadas.		✓
17	Los clasificadores lavan sus guantes de látex y botas de hule al finalizar el proceso de clasificación.	✓	
	Almacenamiento	Sí	No
18	Las cámaras de compostaje se limpian posteriormente al ser vaciadas.	✓	
19	Las cámaras de compostaje cuentan con microorganismos para disminuir malos olores.	✓	
20	Se observan vectores (roedores, moscas, sancudos, etc.) en las cámaras de compostaje con materia orgánica.	✓	
21	Se realizan volteos de la materia orgánica en las cámaras de compostaje.	✓	
22	Los desechos inorgánicos para el relleno sanitario cuentan con un área apropiada para almacenamiento.	✓	

Continúa tabla 2. Resultados de la guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

	Almacenamiento	Sí	No
23	Los desechos inorgánicos para co-procesamiento poseen un área para su almacenamiento.	✓	
24	Los desechos inorgánicos reciclables integran un área propia para su almacenamiento.	✓	
25	El vidrio es separado por colores.	✓	
	Disposición final	Sí	No
25	El compost obtenido de las cámaras de compostaje se le aplica un uso al finalizar su proceso de descomposición.	✓	
26	El material reciclable es aprovechado luego de ser clasificado.	✓	
27	Los desechos inorgánicos no recuperables son acondicionados adecuadamente en el relleno sanitario.	✓	
28	Se pesa la chatarra previo a su venta.	✓	
29	Los desechos no recuperables para co-procesamiento son aprovechados luego de ser clasificados.	✓	

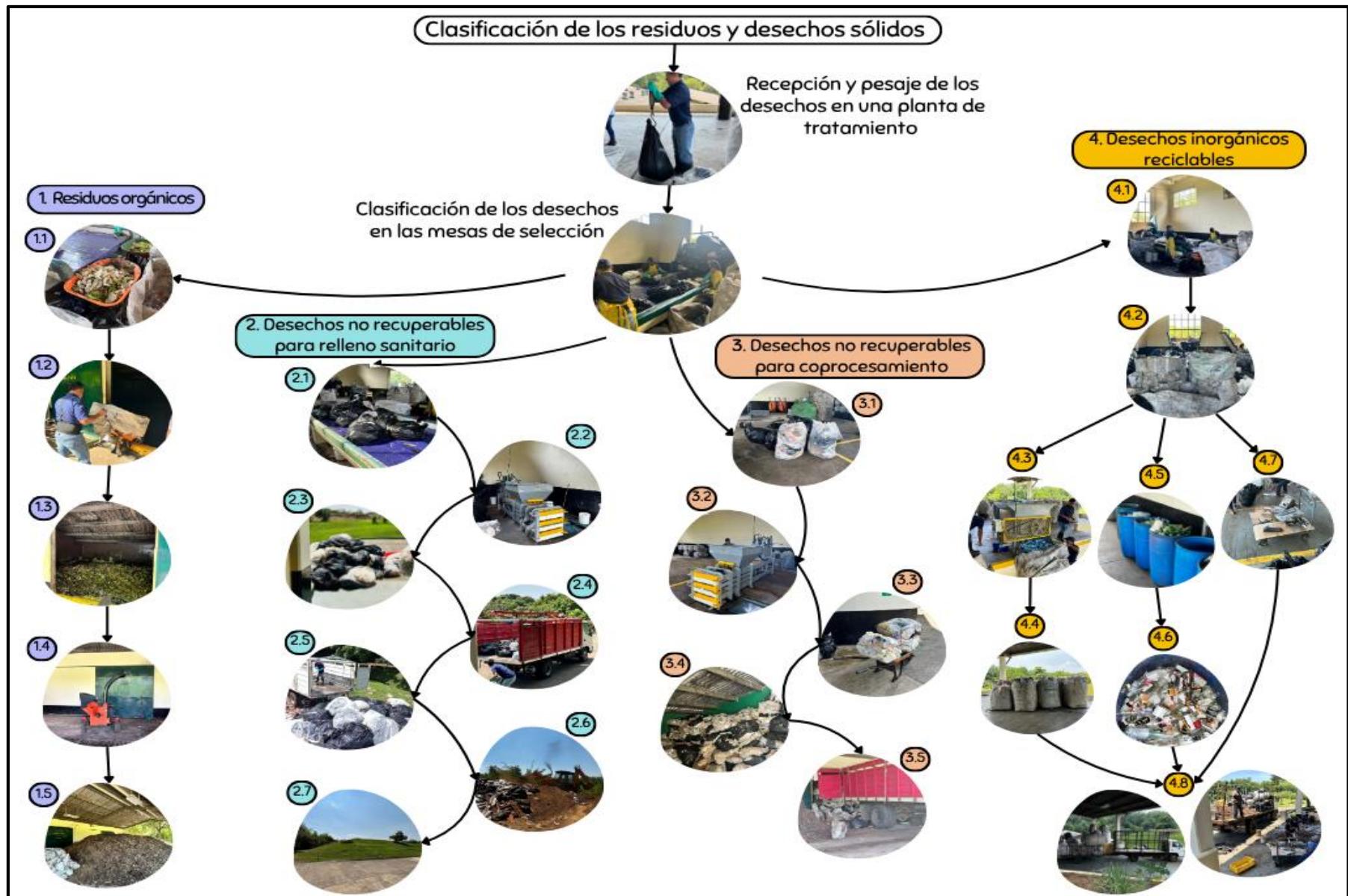
Nota: Propuesta del autor, 2024.

En la figura 3 (pág. 41) encontramos el esquema del proceso de clasificación de residuos y desechos sólidos. El esquema representa las etapas desde la recepción hasta el destino final de los residuos, agrupados en cuatro categorías principales. El mismo destaca la relevancia de la clasificación inicial para definir el tipo de manejo y su potencial de aprovechamiento o disposición final.

El proceso de manejo de los residuos y desechos sólidos se realiza de la siguiente manera:

1. Recepción de residuos y desechos sólidos: en la planta de tratamiento se reciben las bolsas transportadas por medio de trenes de recolección, realizando el pesaje y traslado hacia las mesas de selección, los clasificadores con el equipo de protección (guantes de látex, botas, mascarilla y delantal) realizan la separación de residuos y desechos sólidos, llevándose a cabo la clasificación por rubro.
2. Los residuos orgánicos se transportan en carretillas a las cámaras de compostaje en donde se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica por medio de los microorganismos, se traslada el compost a través de una retroexcavadora, se tritura para completar el proceso de producción de compost siendo aplicado en la jardinería.
3. Los desechos inorgánicos reciclables se almacenan en el área de material recuperable en la planta de tratamiento, se pesa previo a su venta a empresas con licencia ambiental.
4. Los desechos no recuperables para relleno sanitario se colocan en bolsas y se compactan, a excepción de los que contienen lixiviados, larvas o restos de comida, son trasladados al relleno sanitario siendo un área que por sus características técnicas de construcción cuenta con un sistema de impermeabilización el cual evita la erosión de las capas de suelo en donde se encuentra construido, integrando un sistema de drenaje francés que por medio de conductores transportan los lixiviados hasta la laguna de estabilización, además se aplican trabajos de mantenimiento en el relleno sanitario para mejorar la estética.
5. Los desechos para coprocesamiento son compactados y trasladados hacia un área de almacenamiento en la planta de tratamiento, luego son vendidos a empresa responsable de coprocesamiento.

Figura 3 Esquema de la clasificación de residuos y desechos sólidos.



Nota: Elaboración del autor, 2024.

Figura 4 Rubros con el proceso de clasificación en la PTRS.

<u>1. Residuos orgánicos</u>	<u>2. Desechos no recuperables para relleno sanitario</u>	<u>3. Desechos no recuperables para coprocesamiento</u>	<u>4. Desechos inorgánicos reciclables</u>
1.1. Pesaje de los residuos orgánicos. 1.2. Traslado a la cámara de compostaje. 1.3. Proceso de descomposición . 1.4. Trituración de la materia orgánica. 1.5. Compost listo para su uso.	2.1. Pesaje de los desechos no recuperables para relleno sanitario. 2.2. Proceso de compactación. 2.3. Almacenamiento temporal. 2.4. Traslado al relleno sanitario. 2.5. Acondicionamiento de los desechos. 2.6. Recubrimiento con tierra. 2.7. Jardinización del relleno sanitario.	3.1. Pesaje de los desechos no recuperables para coprocesamiento. 3.2. Proceso de compactación. 3.3. Traslado al área de almacenamiento. 3.4. Almacenamiento temporal. 3.5. Envío a empresa responsable de coprocesamiento.	4.1. Clasificación de los desechos inorgánicos reciclables. 4.2. Pesaje de los desechos para reciclaje. 4.3. Proceso de ponchado del material recicitable. 4.4. Almacenamiento del material recicitable. 4.5. Almacenamiento del vidrio en toneles 4.6. Preparación del material recicla le para ser vendido. 4.7. Almacenamiento de la chatarra. 4.8. Venta del material recicable a empresa con licencia ambiental.

Nota: Elaboración del autor. 2024.

5.2. Cálculo del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos.

a) Orgánico

El porcentaje de cumplimiento en la clasificación de residuos orgánicos es de 96%, lo que indica un manejo adecuado. No obstante, se detecta la presencia ocasional de desechos inorgánicos, atribuida principalmente al tamaño de los residuos y al tiempo limitado disponible para la clasificación, especialmente durante temporadas medias y altas. Estos factores afectan la eficiencia del proceso. Como medidas de mejora, se plantea la incorporación de productos compostables en sustitución del plástico y la implementación sistemática de un instrumento de evaluación mediante inspecciones manuales de las carretillas dirigidas a las cámaras de compostaje, con el fin de optimizar la precisión en la separación de los residuos orgánicos.

Las siguientes tablas de demanda de residuos orgánicos en una planta de tratamiento constituyen un instrumento técnico que permite registrar, analizar y proyectar la cantidad de residuos orgánicos ingresados en determinados períodos de tiempo.

Tabla 3 Demanda baja de los residuos orgánicos (02 de septiembre del 2024).

Tipo de residuo correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de huevo • Hierbas • Cáscaras y restos de frutas • Cáscaras y restos de vegetales • Restos de comida 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsas de plástico de polietileno (PE) • Tapas de plástico de polipropileno (PP) • Guantes de caucho natural 	49	46.27	2.73	94% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 4 Demanda media de los residuos orgánicos (11 de octubre del 2024).

Tipo de residuo correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras y restos de frutas • Cáscaras y restos de vegetales • Carbón • Cáscaras de huevo • Restos de comida • Hierbas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cubiertos de plástico de poliestireno • Bolsas de plástico de polietileno (PE) • Tapas de plástico de polipropileno (PP) • Guantes de caucho natural 	65.32	63.05	2.27	97% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 5 Demanda alta de los residuos orgánicos (02 de noviembre del 2024).

Tipo de residuo correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de comida • Cáscaras y restos de frutas • Carbón • Hierbas • Cáscaras y restos de vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> • Cubiertos de plástico de poliestireno • Bolsas de plástico de polietileno (PE) 	74.84	71.67	3.17	96 % de cumplimiento

Continúa tabla 5. Demanda alta de los residuos orgánicos (02 de noviembre del 2024).

Tipo de residuo correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		Tipo de residuo correctamente clasificado
			Sí	No	
• Cáscaras de huevo	<ul style="list-style-type: none"> • Tapas de plástico de polipropileno (PP) • Guantes de caucho natural • Envoltorios de plástico de polietileno (PE) para snacks 	74.84	71.67	3.17	96 % de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 6 Resumen de los residuos orgánicos.

Residuos orgánicos			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
	Sí	No	
189.16	181	8.16	96% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

b) Inorgánico recicitable

El porcentaje de cumplimiento de los desechos inorgánicos reciclables es del 100%, no presentan rubro de incumplimiento en la clasificación esto debido a que el material para reciclaje es visible para el clasificador en la operación, el PET es procesado en una máquina ponchadora, las botellas de vidrio son quebradas en el área de almacenamiento, se realiza una revisión y pesaje del material recicitable previo a su venta a las empresas con licencia ambiental.

Las siguientes tablas de demanda de desechos inorgánicos reciclables en una planta de tratamiento constituyen un instrumento técnico fundamental para registrar, analizar y proyectar la cantidad de materiales reciclables ingresados durante períodos específicos.

Tabla 7 Demanda baja de los desechos inorgánicos reciclables (06 de septiembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
• Recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE)	39	39	0	100% de cumplimiento
• PET color celeste	25.40	25.40	0	100% de cumplimiento
• PET color natural	30.84	30.84	0	100% de cumplimiento
• Latas de aluminio	6.81	6.81	0	100% de cumplimiento
• Vidrio	126.1	126.1	0	100% de cumplimiento
• Cartón	183.70	183.70	0	100% de cumplimiento
• Material de oficina	1.82	1.82	0	100% de cumplimiento
• Chatarra	89.81	89.91	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 8 Demanda media de los desechos inorgánicos reciclables (12 de octubre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
• Recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE)	42.18	42.18	0	100% de cumplimiento
• PET color celeste	28.12	28.12	0	100% de cumplimiento
• PET color natural	34.48	34.48	0	100% de cumplimiento
• Latas de aluminio	12.28	12.28	0	100% de cumplimiento
• Vidrio	161.48	161.48	0	100% de cumplimiento
• Cartón	271.25	271.25	0	100% de cumplimiento
• Material de oficina	4.99	4.99	0	100% de cumplimiento
• Chatarra	137.89	137.89	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 9 Demanda alta de los desechos inorgánicos reciclables (03 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
• Recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE)	52.16	52.16	0	100% de cumplimiento
• PET color celeste	33.57	33.57	0	100% de cumplimiento
• PET color natural	42.64	42.64	0	100% de cumplimiento
• Latas de aluminio	19.05	19.05	0	100% de cumplimiento
• Vidrio	193.23	193.23	0	100% de cumplimiento
• Cartón	320.24	320.24	0	100% de cumplimiento
• Material de oficina	8.62	8.62	0	100% de cumplimiento
• Chatarra	218.18	218.18	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 10 Resumen de los desechos inorgánicos reciclables.

Inorgánico recicitable			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
	Sí	No	
2083.84	2083.84	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

c) Inorgánico no recuperable para relleno sanitario

El porcentaje de cumplimiento de los desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario es del 97%, el proceso de clasificación se aplica adecuadamente, sin embargo, se llegan a evidenciar residuos orgánicos debiéndose esto a la presencia de bolsas plásticas, cajas de comida rápida, papel aluminio, bandejas y platos que contienen restos de comida, las bolsas con desechos no recuperables son compactadas previo a su disposición final en el relleno sanitario con excepción de las que contienen lixiviados, restos de comida, pañales desechables con orina o heces fecales y las que contienen larvas para evitar dañar la máquina compactadora, como mejora en la clasificación se menciona la remoción de restos de comida en los desechos previo a su disposición final en el relleno sanitario.

Las siguientes tablas de demanda de desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario en una planta de tratamiento constituyen un instrumento técnico que permite registrar, analizar y proyectar la cantidad de este tipo de desechos ingresados en determinados periodos de tiempo.

Tabla 11 Demanda baja de los desechos no recuperables para relleno sanitario (07 de septiembre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Papel seca manos • Toallas sanitarias • Poliestireno expandido (EPS) • Papel aluminio • Papel higiénico • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Tenedores de poliestireno • Pajillas de polipropileno (PP) • Recipientes de tereftalato de polietileno (PET) para aderezos • Bolsas de plástico de polietileno (PE) • Sobres de material multicapa (para cátsup) • Tubo de cartón 	<ul style="list-style-type: none"> • Hojarasca • Restos de comida • Restos de frutas • Restos de verduras 	75.75	72.57	3.18	96% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 12 Demanda media de los desechos no recuperables para relleno sanitario (14 de octubre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de caucho natural • Sobres de material multicapa (para cátsup) • Papel seca manos • Restos de tela • Toallas sanitarias • Poliestireno expandido (EPS) • Papel aluminio • Papel higiénico • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Preservativos • Tenedores de poliestireno • Envase de polietileno de tereftalato (PET) para shampoo • Pajillas de polipropileno (PP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de coco • Hojarasca • Restos de comida • Restos de frutas • Restos de verduras 	112.94	108.86	4.08	96% de cumplimiento

Continúa tabla 12. Demanda media de los desechos no recuperables para relleno sanitario (14 de octubre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes de tereftalato de polietileno (PET) para aderezos • Pañales desechables • Bolsas de polietileno (PE) • Espuma de poliuretano de celda abierta 		112.94	108.86	4.08	96% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 13 Demanda alta de los desechos no recuperables para relleno sanitario (08 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Envase alveolado • Papel seca manos • Rasuradoras • Toallas sanitarias • Estropajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de coco • Hojarasca • Restos de comida • Restos de frutas 	218.17	212.73	5.44	98% de cumplimiento

Continúa tabla 13. Demanda alta de los desechos no recuperables para relleno sanitario (08 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Poliestireno expandido (EPS) • Papel cromatográfico para cafeteras • Papel aluminio • Papel higiénico • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Pañales desechables • Envase de polietileno de tereftalato (PET) para shampoo • Guantes de caucho natural • Envase de polietileno (PE) para bloqueador solar • Tenedores de poliestireno • Huaipe de algodón • Pajillas de polipropileno (PP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de verduras 	218.17	212.73	5.44	98% de cumplimiento

Continúa tabla 13. Demanda alta de los desechos no recuperables para relleno sanitario (08 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes de tereftalato de polietileno(PET) para aderezos • Bolsas de polietileno(PET) • Sobres de material multicapa (para shampoo, catsup) • Cartón mojado • Tubo de cartón • Estropajo • Envoltorios de polietileno (PE) para snacks • Barras de jabón 		218.17	212.73	5.44	98% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 14 Resumen de los desechos no recuperables para relleno sanitario.

Inorgánico no recuperable para relleno sanitario			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
	Sí	No	
406.86	394.16	12.7	97% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

d) Inorgánico no recuperable para coprocesamiento

El porcentaje de cumplimiento de los desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento es del 100%, no presentan rubro de incumplimiento en la clasificación esto debido a que las bolsas previo a su almacenamiento son compactadas, por lo tanto, no contienen desechos con restos de comida.

Las siguientes tablas de demanda de desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento en una planta de tratamiento constituyen un instrumento técnico que permite registrar, analizar y proyectar la cantidad de estos desechos ingresados en periodos determinados.

Tabla 15 Demanda baja de los desechos no recuperables para coprocesamiento (08 de septiembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Bandejas de polipropileno para comida • Poliestireno expandido (EPS) • Envoltorios de polietileno (PE) para snacks • Cajas de Tetra Brik para lácteos • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Pajillas de polipropileno (PP) • Bolsas de cartón 	60.78	60.78	0	100% de cumplimiento

Continúa tabla 15. Demanda baja de los desechos no recuperables para coprocesamiento (08 de septiembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de cartón • Cubiertos plásticos de poliestireno • Bolsas de polietileno (PE) • Papel aluminio 	60.78	60.78	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 16 Demanda media de los desechos no recuperables para coprocesamiento (18 de octubre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Cartones de pulpa de papel moldeada • Papel aluminio • Poliestireno expandido(EPS) • Papeles seca manos • Cajas de Tetra Brik para lácteos • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Prendas de ropa 	78.02	78.02	0	100% de cumplimiento

Continúa tabla 16. Demanda media de los desechos no recuperables para coprocesamiento (18 de octubre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Pajillas de polipropileno (PP) • Bolsas de cartón • Envoltorios de polietileno (PE) para snacks • Platos de cartón • Vasos de cartón • Cubiertos de poliestireno • Bolsas de polietileno (PE) • Papel aluminio • Bandejas de polipropileno para comida • Etiquetas de cartón 	78.02	78.02	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 17 Demanda alta de los desechos no recuperables para coprocesamiento (09 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Cajas de Tetra Brik para jugos • Vasos de cartón • Etiquetas de cartón 	95.25	95.25	0	100% de cumplimiento

Continúa tabla 17. Demanda alta de los desechos no recuperables para coprocesamiento (09 de noviembre del 2024).

Tipo de desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
		Sí	No	
<ul style="list-style-type: none"> • Papeles seca manos • Pajillas de polipropileno(PP) • Envoltorios de polietileno (PE) para snacks • Cartones de pulpa de papel moldeada • Cajas de Tetra Brik para lácteos • Platos de tereftalato de polietileno (PET) • Bandejas de polipropileno para comida • Poliestireno expandido (EPS) • Bolsas de cartón • Cubiertos plásticos de poliestireno • Bolsas de polietileno (PE) • Prendas de ropa • Papel aluminio • Vasos de tereftalato de polietileno (PET) • Platos de cartón 	95.25	95.25	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

Tabla 18 Resumen de los desechos no recuperables para coprocesamiento.

Inorgánico no recuperable para relleno sanitario			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
	Sí	No	
234.05	234.05	0	100% de cumplimiento

Nota: Elaboración de autor, 2024.

5.3. Manual de la correcta clasificación de los residuos y desechos sólidos en PTRS.

Para el desarrollo del manual se identificó el proceso de clasificación manual de los residuos y desechos que ingresan a la Planta de Tratamiento; clasificados en los rubros: 1) orgánicos, 2) inorgánicos reciclables, 3) inorgánicos no recuperables para relleno sanitario e 4) inorgánicos no recuperables para coprocesamiento. Se obtuvo el tipo de residuo y desecho que se clasifica en cada rubro y se tomaron evidencias fotográficas para enriquecer el manual.

El manual es una herramienta esencial para el personal que labora en la Planta de Tratamiento, ya que aporta la información necesaria sobre el proceso de clasificación según el tipo de residuo o desecho desde que ingresa hasta su disposición final. (ver anexo 7, en pág. 81)

En el manual se encuentra un instrumento que integra un formato para realizar los apuntes de los residuos o desechos encontrados durante la revisión manual, peso, rubro correcto, porcentaje de cumplimiento, las ecuaciones de cumplimiento e incumplimiento y las conclusiones de los resultados obtenidos. Los responsables de aplicar el instrumento son el personal que labora en la planta de tratamiento durante las jornadas de operación previo al tratamiento y disposición final. (ver anexo 7, en pág. 81)

VI. Conclusiones

- 1) El proceso de clasificación inicia desde la llegada de los residuos y desechos a la planta de tratamiento a través de los trenes de recolección, se pesan y se colocan en las mesas de selección en donde son clasificados de la siguiente manera:
 - Orgánicos: se colocan en carretillas para trasladarlos a la cámara de compostaje habilitada, se lleva a cabo el proceso de degradación, luego pasan al patio de maduración y finalizan con el proceso de trituración para utilizar la materia como compost.
 - Inorgánicos reciclables: se clasifican en recipientes de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE), tereftalato de polietileno (PET), latas de aluminio, vidrio, cartón, material de oficina y chatarra, el material recicitable se almacena temporalmente en la planta de tratamiento y se vende a empresas con licencia ambiental.
 - Desechos no recuperables para relleno sanitario: se colocan en bolsas las cuales se compactan a excepción de las que contienen lixiviados o larvas, se posicionan en un área cerca del relleno sanitario posteriormente siendo trasladadas y acondicionadas manualmente por los clasificadores, finalizando con su recubrimiento con tierra con una retroexcavadora y posteriormente se aplican en procesos de jardinización.
 - Desechos no recuperables para coprocesamiento: son colocados en bolsas y compactados, después se trasladan al área de almacenamiento hasta que son enviados a empresa responsable del coprocesamiento.
- 2) Se determinó que los residuos orgánicos presentan un porcentaje de cumplimiento en la clasificación del 96%, los desechos inorgánicos reciclables un 100%, los desechos no recuperables para relleno sanitario cumplen un 97% y los desechos no recuperables para coprocesamiento presentan un 100% de cumplimiento durante la operación en la planta de tratamiento.

- 3) El manual propuesto incluye información sobre el proceso de clasificación de los residuos y desechos sólidos desde su llegada a la planta de tratamiento hasta su disposición final.
- 4) El instrumento de evaluación propuesto permite determinar el porcentaje de cumplimiento de clasificación en la operación de la planta, integra un formato para determinar los residuos o desechos encontrados durante la revisión manual, peso, y rubro correcto, así mismo se incluyen las fórmulas para los cálculos respectivos y un inciso para redactar conclusiones con base en los resultados obtenidos durante la revisión manual según el rubro correspondiente.

VII. Recomendaciones

- 1) Utilizar un área que cumpla con las condiciones apropiadas para colocar las bolsas con desechos para el transporte al relleno sanitario con una distancia cercana al mismo y que los vehículos de recolección puedan tener fácil acceso al trasladar los desechos para ser acondicionados y cubiertos con tierra por el personal de la planta de tratamiento.
- 2) Aplicar el instrumento para medir el porcentaje de cumplimiento en la planta de tratamiento en temporadas altas, medias y bajas, con ello se obtendrá un resultado con mayor exactitud sobre la eficiencia del proceso de clasificación de los residuos y desechos sólidos en la PTRS.
- 3) Evaluar el proceso de la clasificación en la planta de tratamiento para mejorar la gestión y manejo de los residuos y desechos sólidos desde su recepción hasta la disposición final.

VIII. Referencias

- Academia Lab. (2025). *Tereftalato de polietileno.* <https://academialab.com/enciclopedia/tereftalato-de-polietileno/?utm.com>
- Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. (Octubre de 2018). *Manual de producción de compost.* <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2018/12/Manual-produccion-de-compost-ESF.pdf>
- Ática. (s.f.). *Conoce las etapas de la gestión integral de residuos sólidos y sus beneficios.* <https://www.atica.co/etapas-de-la-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-sus-beneficios>
- Congreso de la República de Guatemala. (1997). *Código de salud.* <https://medicamentos.mspas.gob.gt/index.php/legislacion-vigente/decretos?download=292%3Acodigo-de-salud>
- Congreso de la República de Guatemala. (2002). *Código Municipal.* <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6698.pdf>
- Constitución Política de la República de Guatemala. Asamblea Nacional Constituyente de Guatemala. (1985). *Asamblea Nacional Constituyente de Guatemala.* <https://www.cijc.org/es/NuestrasConstituciones/GUATEMALA-Constitucion.pdf>
- De León, K. (13 de Enero de 2016). *Nueva política nacional para la gestión integral de los residuos y los desechos sólidos.* <https://agexporthoy.export.com.gt/sostenibilidad-empresarial/nueva-politica-nacional-para-la-gestion-integral-de-los-residuos-y-los-desechos-solidos/>
- Díaz Olmedo, J. A. (2025). *Polietileno de alta densidad (HDPE): definición, propiedades, aplicaciones, ventajas y reciclaje.* <https://www.plasticman.es/blog/plastico-hdpe/?utm.com>
- Ecoplas. (2020). *Los aportes del EPS poliestireno expandido para la economía circular.* <https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2020/11/Boletin-56-EPS-Poliestireno-expandido-en-EC-1.pdf>
- Galvis González, J. A. (2016). *Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución.* <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionyregion/article/download/149/146>
- Hinkel, M., Blume, S., Hinchliffe, D., Mutz, D., & Hengevoss, D. (2020). *Directrices sobre pre- y co-procesamiento de residuos en la producción de cemento.*

https://www.geocycle.com/sites/geocycle/files/2023-04/coprocem_2020_esp_lowres.pdf

I.N.E. (s.f.). *Residuos sólidos*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap05.pdf

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos Acuerdo Gubernativo 281-2015*. <https://www.asomet.org/wp-content/uploads/2021/04/4041.pdf>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes*. https://www.marn.gob.gt/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=105&wpfd_file_id=20312

Ministerio de Salud Costa Rica. (2010). *Reglamento para la disposición final de medicamentos, materias primas, y sus residuos*. <https://www.colfar.com/LyRPDF/2.%20Reglamento%20para%20la%20disposición%20final%20de%20medicamentos.pdf>

Mora Valencia, C. A., & Berbeo Rodríguez, M. L. (Mayo de 2010). *Manual de gestión integral de residuos*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/manual-gestion-integral-residuos.pdf>

Palma Posadas, K. J. (Agosto de 2012). *Tratamiento de residuos sólidos orgánicos, para la protección al medio ambiente, por medio de la producción de abono orgánico, en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2594_IN.pdf

Pérez Moreno, V. J. (2015). *Caracterización de materiales termoplásticos: polietileno*. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproj/60367/descargar_fichero/Caracterización%C3%B3n+de+materiales+termopl%C3%A1sticos+polietileno.pdf

PROARCA. (2005). SICA. Guía de campo para mejorar el manejo de desechos sólidos en parques nacionales y reservas naturales de Centroamérica. https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?archivo=libr_9092_1_30052006.pdf

Quiñonez, S. (2022). *Planta de Tratamiento de Desechos Sólidos*. Recuperado el 15 de Agosto de 2024

- Ramos, G. V. (2012). *Sistematización de manejo de los desechos y residuos, en la planta de tratamiento de desechos sólidos, en el instituto de recreación de los trabajadores de la empresa privada de Guatemala.* <http://www.repository.usac.edu.gt/8838/1/Tesis%20Guillermo%20Venancio.pdf>
- Rodríguez Mármol, F. (2015). *Caracterización de materiales termoplásticos: polipropileno.* https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproj/60332/fichero/POLIPROPILENO_FINAL2.pdf
- Rondón Toro, E., Szantón Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* CEPAL: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>
- Tello, A. (20 de Marzo de 2022). *Implementación de un sistema de control de la clasificación de residuos y desechos sólidos generados en los puestos de trabajo, en el instituto de recreación de los trabajadores de la empresa privada de Guatemala.*
- Ullca, J. (2006). *Los rellenos sanitarios.* <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

IX. Anexos

Figura 5 Entrevista a los clasificadores de la planta de tratamiento.



Figura 6 Observación del proceso de clasificación en la PTRS.

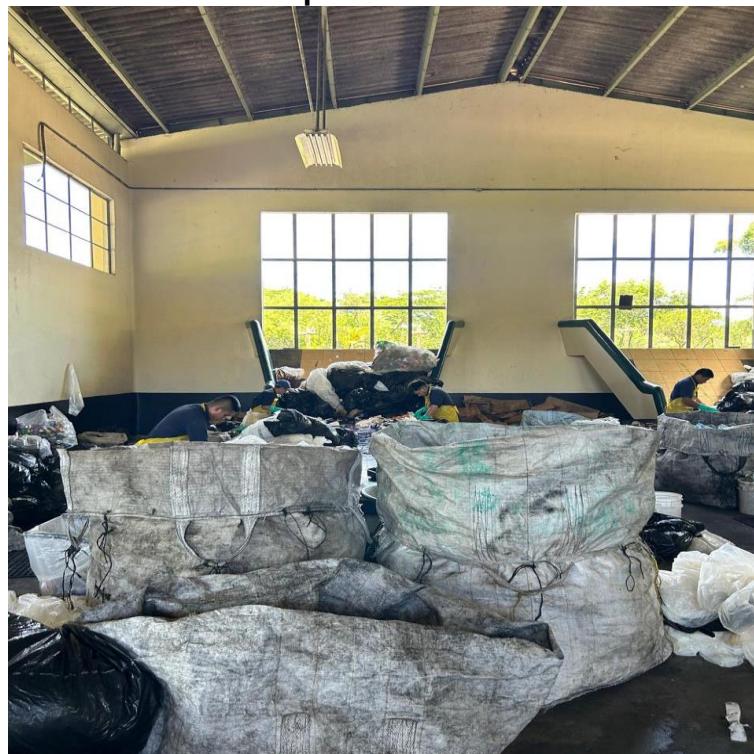


Figura 7 Clasificación de los residuos orgánicos.



Figura 8 Pesaje de los desechos reciclables.



Figura 9 Clasificación de los desechos no recuperables para relleno sanitario.



Figura 10 Pesaje de los desechos no recuperables para coprocesamiento.



9.1. Anexo 1. Guía de entrevista al supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local**



Guía de entrevista

Dirigido a: Supervisor de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

A continuación, se plantea una serie de interrogantes que tiene como fin el estudio del tema sobre el proceso de clasificación en la PTRS, las respuestas brindadas se utilizarán únicamente para la investigación. Se le agradece la colaboración al responder las siguientes preguntas:

1) ¿Tienen algún registro para la clasificación de los residuos y desechos sólidos en la Planta de Tratamiento?

R//

2) ¿Cuántas jornadas de clasificación de residuos y desechos sólidos se realizan en la Planta de Tratamiento al día?

R//

3) ¿Cuáles desechos son los que se compactan en la máquina compactadora?

R//

4) ¿En qué periodo de tiempo se realizan los procesos de compactación de los desechos?

R//

5) ¿Se realizan capacitaciones a los clasificadores de desechos en la Planta de Tratamiento?

R//

6) ¿Se basan en algún reglamento para la clasificación de los residuos y desechos sólidos?

R//

9.2. Anexo 2 Guía de entrevista al encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local**



Guía de entrevista

Dirigido a: Encargado de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

A continuación, se plantea una serie de interrogantes que tiene como fin el estudio del tema sobre el proceso de clasificación en la PTRS, las respuestas brindadas se utilizarán únicamente para la investigación. Se le agradece la colaboración al responder las siguientes preguntas:

1) ¿Tienen algún registro para la clasificación de los residuos y desechos sólidos en la Planta de Tratamiento?

R//

2) ¿Cuántas jornadas de clasificación de residuos y desechos sólidos se realizan en la Planta de Tratamiento al día?

R//

3) ¿Cuáles desechos son los que se compactan en la máquina compactadora?

R//

4) ¿En qué periodo de tiempo se realizan los procesos de compactación de los desechos?

R//

5) ¿Se realizan capacitaciones a los clasificadores de desechos en la Planta de Tratamiento?

R//

6) ¿Se basan en algún reglamento para la clasificación de los residuos y desechos sólidos?

R//

9.3. Anexo 3. Guía de entrevista a los clasificadores de la PTRS

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



Guía de entrevista

Dirigido a: Clasificador de la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

A continuación, se plantea una serie de interrogantes que tiene como fin el estudio del tema sobre el proceso de clasificación en la PTRS, las respuestas brindadas se utilizarán únicamente para la investigación. Se le agradece la colaboración al responder las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál es el procedimiento al llegar los camiones de recolección con los residuos y desechos sólidos de las unidades ejecutoras?

R//

2) ¿Cómo es el proceso de clasificación que implementan para los residuos y desechos sólidos?

R//

3) ¿En dónde almacenan los desechos orgánicos al finalizar el proceso de clasificación?

R//

4) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos reciclables al finalizar el proceso de clasificación?

R//

5) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos no recuperables antes de su disposición final en el relleno sanitario?

R//

6) ¿En dónde almacenan los desechos inorgánicos para coprocesamiento al finalizar el proceso de clasificación?

R//

7) ¿Cuál es el proceso de los residuos orgánicos luego de su proceso de almacenamiento en las cámaras de compostaje?

R//

9.4. Anexo 4. Guía de entrevista a al encargado de abono

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local**



Guía de entrevista

Dirigido a: Encargado de abono en la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos

A continuación, se plantea una serie de interrogantes que tiene como fin el estudio del tema sobre el proceso de clasificación en la PTRS, las respuestas brindadas se utilizarán únicamente para la investigación. Se le agradece la colaboración al responder las siguientes preguntas:

1) ¿Qué tipo de cámaras de compostaje son las que se utilizan en la Planta de Tratamiento?

R//

2) ¿Cuánto tiempo dura cada fase de descomposición en las cámaras de compostaje?

R//

3) ¿En dónde almacenan los desechos orgánicos al finalizar el proceso de clasificación?

R//

4) ¿Qué se hace con la materia orgánica al finalizar su proceso de descomposición en las cámaras de compostaje?

R//

5) ¿Cómo trasladan la materia orgánica a las cámaras para la segunda fase de descomposición?

R//

6) ¿Se utiliza algún producto químico en las cámaras de compostaje?

R//

7) ¿Qué uso se le da al compost obtenido del tratamiento de la materia orgánica en las cámaras de compostaje?

R//

9.5. Anexo 5. Guía de observación Planta de Tratamiento

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Tabla 19 Guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

No.	Actividad	Sí	No
	Recepción de los desechos		
1	Se verifica el tipo de vehículo utilizado para la recolección de desechos sólidos en las unidades ejecutoras.		
2	Las bolsas con desechos llegan amarradas a la planta de tratamiento.		
3	Las bolsas con desechos llegan identificadas sobre tipo de contenedor del que provienen.		
4	Los recolectores de los trenes utilizan equipo de protección (guantes de látex, botas y mascarilla).		
5	Las bolsas con desechos se encuentran rotas al llegar a la planta de tratamiento.		
6	Los desechos sólidos se pesan al ingresar a la Planta de Tratamiento.		
7	Los clasificadores apuntan los pesos de las bolsas en una tabla de registros.		
8	Las mesas de selección se encuentran limpias y sin ningún tipo de residuo o desecho previo al proceso de clasificación.		
	Clasificación de los residuos y desechos sólidos	Sí	No
9	Los clasificadores maniobran con facilidad las bolsas con desechos para ser colocadas en las mesas de selección.		
10	Los clasificadores utilizan el equipo de protección para la clasificación.		

Continúa tabla 19. Guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

	Clasificación de los residuos y desechos sólidos	Sí	No
11	Las mesas de selección se adaptan a la estatura de los clasificadores.		
12	Cuentan con bolsas para almacenar los desechos inorgánicos.		
13	Cuentan con carretillas para trasladar los residuos orgánicos.		
14	Los desechos inorgánicos reciclables se aplica el proceso de reciclaje establecido en la Planta de Tratamiento.		
15	Las botellas plásticas de PET son ingresadas a la máquina ponchadora.		
16	Las bolsas con desechos no recuperables con disposición final en el relleno sanitario son compactadas.		
17	Los clasificadores lavan sus guantes de látex y botas de hule al finalizar el proceso de clasificación.		
	Almacenamiento	Sí	No
18	Las cámaras de compostaje se limpian posteriormente al ser vaciadas.		
19	Las cámaras de compostaje cuentan con microorganismos para disminuir malos olores.		
20	Se observan vectores (roedores, moscas, sancudos, etc.) en las cámaras de compostaje con materia orgánica.		
21	Se realizan volteos de la materia orgánica en las cámaras de compostaje.		
22	Los desechos inorgánicos para el relleno sanitario cuentan con un área apropiada para almacenamiento.		

Continúa tabla 19. Guía de observación del proceso en Planta de Tratamiento

	Almacenamiento	Sí	No
23	Los desechos inorgánicos para co-procesamiento poseen un área para su almacenamiento.		
24	Los desechos inorgánicos reciclables integran un área propia para su almacenamiento.		
25	El vidrio es separado por colores.		
	Disposición final	Sí	No
25	El compost obtenido de las cámaras de compostaje se le aplica un uso al finalizar su proceso de descomposición.		
26	El material reciclable es aprovechado luego de ser clasificado.		
27	Los desechos inorgánicos no recuperables son acondicionados adecuadamente en el relleno sanitario.		
28	Se pesa la chatarra previo a su venta.		
29	Los desechos no recuperables para co-procesamiento son aprovechados luego de ser clasificados.		

Nota: Elaboración de autor, 2024.

9.6. Anexo 6. Boleta de registro de la clasificación de los residuos y desechos sólidos

Tabla 20 Boleta de registro de la clasificación en Planta de Tratamiento

Tipo de desecho correctamente clasificado	Tipo de desecho incorrectamente clasificado	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento
			Sí	No	

Nota: Elaboración de autor, 2024.

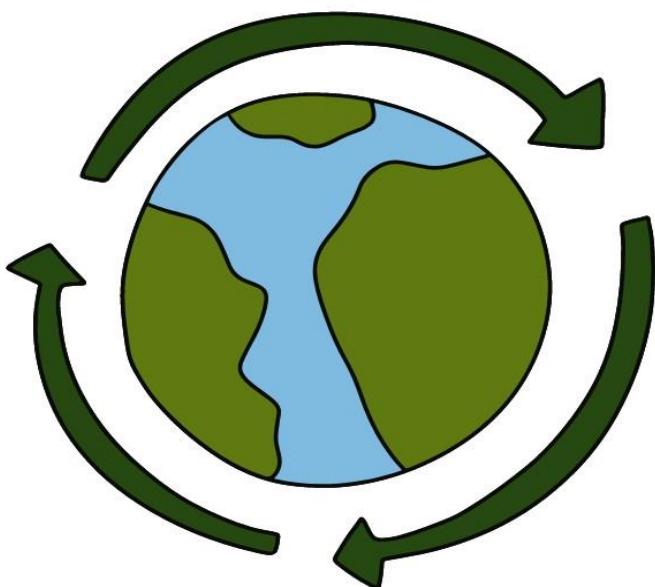
Anexo 7. Manual para la correcta clasificación con instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento.

MANUAL PARA LA CORRECTA CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS





CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS



Índice

Contenido	Página
Presentación	1
I. Propósito.....	2
II. Definiciones	2
III. Proceso de la clasificación de residuos y desechos en Planta de Tratamiento –PTRS-.....	6
4.1. Residuos orgánicos	7
4.1.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección	9
4.1.2. Traslado en carretillas a las cámaras de compostaje.....	10
4.1.3. Fases de degradación de la materia orgánica.....	11
4.1.4. Producción de compost para uso en el departamento de jardinería ...	14
4.2. Desechos inorgánicos reciclables	15
4.2.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección	17
4.2.2. Disposición final del material reciclable	18
4.3. Desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario	26
4.3.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección	30
4.3.2. Compactación.....	31
4.3.3. Traslado hacia relleno sanitario.....	32
4.3.4. Mantenimiento del relleno sanitario	34
4.4. Desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento	36
4.4.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección	39
4.4.2. Compactación.....	40
4.4.3. Traslado de las pacas hacia la cámara para coprocesamiento	41
4.4.4. Envío a empresa responsable de coprocesamiento	43

4.4.5. Instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de los residuos y desechos sólidos	44
5. Referencias	60

Índice de Figuras

Figura	Página
1 Proceso de clasificación de los residuos y desechos sólidos en PTRS	6
2 Cáscaras y restos de frutas.....	7
3 Cáscaras y restos de vegetales	7
4 Carbón.....	7
5 Cáscaras de huevo	7
6 Restos de comida.....	8
7 Aderezo y embutidos.....	8
8 Hoja de maxán	8
9 Hierbas	8
10 Colocación de los residuos orgánicos en las carretillas.	9
11 Proceso de traslado de la materia orgánica a las cámaras de compostaje.....	10
12 Fase de encierro en las cámaras de compostaje.	11
13 Proceso de traslado a las cámaras de compostaje en la fase de maduración. 12	12
14 Materia orgánica en el patio de maduración.....	13
15 Proceso de trituración del compost.	14
16 Botellas de plástico de tereftalato de polietileno (PET)	15
17 Recipientes de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE)	15
18 Galones de aluminio.....	15
19 Latas de aerosol.....	15
20 Frascos de vidrio	16
21 Latas de aluminio	16
22 Cartón y material de oficina.....	16
23 Botellas de vidrio	16
24 Material ferroso	16
25 Material de oficina	16
26 Proceso de clasificación de los desechos inorgánicos reciclables.	17
27 Proceso de compresión de botellas plásticas.....	18
28 Pesaje de los jumbos utilizando una báscula digital.....	19
29 Jumbos de material reciclable.	19
30 Adquisición del material reciclable por empresa certificada.	20
31 Toneles para almacenar vidrio en la PTRS.....	20
32 Botellas de vidrio verdes.	21
33 Botellas de vidrio cafés.....	21
34 Botellas de vidrio transparentes.	22
35 Latas de bebidas clasificadas en bolsas para desechos.....	22
36 Almacenamiento de bolsas con latas de aluminio.	23
37 Cartón apilado en planta de tratamiento.	23
38 Material de oficina clasificado en PTRS.	24

39 Galones de aceite almacenados en PTRS.....	24
40 Pesaje del material ferroso en la báscula digital.	25
41 Adquisición del material ferroso por empresa con licencia ambiental.	25
42 Pañales desechables	26
43 Papel higiénico	26
44 Papel aluminio.....	26
45 Papel seca manos mojado	26
46 Toallas sanitarias	26
47 Poliestireno expandido (EPS).....	26
48 Platos, vasos, tenedores, cucharas de plásticos de poliestireno con restos de comida.	27
49 Pajillas de plástico de polipropileno (PP)	27
50 Sobres de shampoo	27
51 Envase de plástico de polietileno de tereftalato (PET) para shampoo y acondicionador	27
52 Envase de plástico de polietileno (PE) para bloqueador solar	27
53 Recipientes de plástico de tereftalato de polietileno (PET) para aderezos	27
54 Bolsas de plástico de polietileno (PE) que contienen restos de carne, sangre y otros productos	28
55 Envoltorios de plástico de polietileno (PE) para snacks	28
56 Huaipe de algodón	28
57 Resto de telas	28
58 Papel filtro para cafeteras.....	28
59 Cartón contaminado con fibra de vidrio y mojado	28
60 Sobres para cátsup	29
61 Rasuradora.....	29
62 Barras de jabón	29
63 Preservativos.....	29
64 Cepillo de dientes	29
65 Estropajo	29
66 Desechos no recuperables con disposición final en el relleno sanitario.....	30
67 Máquina compactadora para desechos inorgánicos no recuperables.....	31
68 Proceso de traslado hacia el relleno sanitario.....	32
69 Acondicionamiento de los desechos no recuperables.....	33
70 Proceso de recubrimiento con tierra de los desechos no recuperables.	34
71 Relleno sanitario.....	35
72 Cartón de pulpa de papel moldeada	36
73 Vasos de plástico de tereftalato de polietileno (PET)	36
74 Envoltorios de plástico de polietileno (PE) para snacks	36
75 Papel seca manos.....	36
76 Bandejas de plástico de polipropileno para comida	36

77 Poliestireno expandido (EPS).....	36
78 Cajas de Tetra Brik para jugos	37
79 Platos de cartón	37
80 Bolsas de cartón.....	37
81 Cajas de Tetra Brik para lácteos	37
82 Platos de plástico de tereftalato de polietileno (PET)	37
83 Pajillas de plástico de polipropileno (PP)	37
84 Vasos de cartón	38
85 Etiquetas de cartón	38
86 Papel aluminio.....	38
87 Cubiertos de plástico de poliestireno.....	38
88 Prendas de ropa.....	38
89 Bolsas de plástico de polietileno (PE)	38
90 Proceso de selección de los desechos en la PTRS.....	39
91 Proceso de compactación en la PTRS.....	40
92 Traslado en carretilla de los desechos para coprocesamiento.....	41
93 Acondicionamiento de los desechos en la cámara para coprocesamiento.	42
94 Pacas de desechos no recuperables para coprocesamiento.....	42
95 Recolección con empresa responsable de coprocesamiento.....	43
96 Traslado con empresa responsable de coprocesamiento.....	43

Índice de tablas

Tabla	Página
1 Tabla de definiciones	2
2 Boleta de registro los residuos orgánicos.....	46
3 Resumen de resultados de los residuos orgánicos.	47
4 Boleta de registro de los desechos inorgánicos reciclables.	49
5 Resumen de resultados de los desechos inorgánicos reciclables.....	51
6 Boleta de registro de los desechos no recuperables para relleno sanitario.	53
7 Resumen de resultados de los desechos no recuperables para relleno sanitario.....	54
8 Boleta de registro de los desechos no recuperables para co-procesamiento. ...	56
9 Resumen de resultados de los desechos no recuperables para co-procesamiento.....	58

Presentación

El presente manual tiene como propósito establecer la forma correcta de clasificar los residuos y desechos sólidos que ingresan a la Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos provenientes de las actividades de operación de la institución.

En el marco de la sustentabilidad ambiental, la planta de tratamiento se enfoca en la preservación y cuidado del ambiente, por lo que la adecuada clasificación de residuos y desechos sólidos resulta un tema de suma importancia para evitar impactos ambientales y de salud humana que los mismos pueden provocar sin la adecuada disposición final.

La Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos integra un relleno sanitario y una laguna de lixiviados, siendo estas áreas que por sus características técnicas de construcción están capacitadas para aplicar tratamiento y disposición final para los desechos que se generan las unidades ejecutoras.

En promedio la generación diaria de residuos y desechos sólidos está entre 6 a 7 toneladas, por lo tanto, aplicar el manejo adecuado es una necesidad que presenta la planta de tratamiento.

El presente manual es una herramienta de suma importancia para el personal que labora en la planta de tratamiento, puesto que integra la función de ser una guía práctica para el manejo de los residuos y desechos sólidos ingresados durante la operación.

I. Propósito

El propósito del presente manual es proporcionar los procedimientos, procesos y demás acciones a ejecutar para el apropiado manejo de los residuos y desechos sólidos de acuerdo a su tipo y naturaleza, y con ello aportar el conocimiento sobre el proceso de clasificación de los mismos por medio del mecanismo implementado en la planta de tratamiento establecido con base en el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos Comunes (Acuerdo Gubernativo 164-2021).

El presente documento representa la base teórica para aportar información con respecto a los tipos de residuos y desechos que se generan, el tratamiento o disposición final y representarlos gráficamente según la composición de cada rubro.

II. Definiciones

Tabla 1 Tabla de definiciones

Residuos orgánicos:	Volta. (2019, párr. 1) aporta acerca de los residuos orgánicos que son todos los elementos que son desechos o residuos de origen animal y/o vegetal. Estos residuos tienen la capacidad de degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica.
Desechos sólidos:	Nestlé. (2022, párr. 3) indica que los desechos sólidos son los residuos generados por los humanos día a día, los cuales se caracterizan por presentarse en estado sólido no biodegradable, atributo que los diferencia de los desechos líquidos y gaseosos. Son considerados

	basura porque terminan siendo tirados en vertederos al creerse que han cumplido con su ciclo de uso.
Planta de tratamiento de desechos:	GTA Ambiental (2022, párr. 3) aporta información acerca de la existencia de distintos tipos de plantas de tratamiento de residuos, cada una para un objetivo diferente. El tipo de planta que se necesite va a depender de la caracterización de los residuos disponibles y el destino final que se espera para ellos: ya sea reciclar, reutilizar o producir combustibles alternos como CDR o biogás.
Reciclaje:	Banco Central Europeo (2024, párr. 1) hace mención que el reciclaje es el proceso de recolección y transformación de materiales para convertirlos en nuevos productos. Estos desechos, de otro modo, serían descartados como basura.
Coprocesamiento:	Lean Compacting Company (2023, párr. 3) aporta que el coprocesamiento es una forma de gestión de residuos sostenible que, especialmente, se emplea con los desechos sólidos y líquidos. Esta técnica se basa en utilizar los residuos como combustible en el proceso de producción de diversos materiales; siendo el cemento el más elaborado en la actualidad.
Clasificación de desechos sólidos:	Ecoembes. (2020, párr. 1) por medio de investigaciones indica que la separación de residuos es una manera de ver el mundo. Significa ver materias primas allí donde otros ven residuos. Significa darle una nueva vida a la basura doméstica o industrial, los residuos inorgánicos como los orgánicos, los plásticos, papeles o cartones. Esta forma de ver los residuos sirve para ayudar en la

	solución de problemas ambientales y reducir posibles riesgos para la salud.
Cámaras de compostaje:	Reciclamás. (2020, párr. 3) hace mención acerca de la planta de compostaje la cual se define como una instalación dedicada al reciclaje de los residuos orgánicos a través de un tratamiento biológico de los mismos que da lugar a lo que conocemos como compost o abono orgánico. El compost se obtiene de manera natural a través de la descomposición aeróbica, es decir, en presencia de oxígeno. Los residuos que se utilizan para obtener el compost pueden ser restos vegetales, restos de comida, purines, excrementos de animales y todo lo que incluye la fracción orgánica de los residuos orgánicos.
Compostaje:	Banco Central Europeo. (2023, párr. 1) indica que el compost con materia orgánica, resultado de un proceso biológico cuyo fin es estabilizar e higienizar los residuos orgánicos, es un magnífico fertilizante. Aunque sus usos y beneficios van más allá: reactiva suelos contaminados o degradados, ayuda a reciclar residuos sólidos urbanos, controla las plagas... El compostaje es parte de nuestro sustrato vital.
Digestión aerobia:	ARC-CAT. (2004, párr. 1) aporta que la digestión aerobia consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno, el cual debe aportarse por agitación superficial o por burbujeo a la balsa de purines.
Compactación:	Internaco. (2024, párr. 2) hace mención que la compactación es el proceso con el que se reduce el

	volumen que ocupan los desechos sólidos. Para conseguirlo, se ejerce presión mecánica con el fin de rebajar el espacio entre la basura. El resultado final son bloques de desechos que resultan mucho más manejables. Ten en cuenta que, al compactar los restos, evitas que se desperdiguen y ocupen demasiado por su forma.
Acondicionamiento:	Villena J. (1994) indica que el acondicionamiento de los residuos en el origen consiste en controlar los riesgos para la salud y facilitar las operaciones de recolección, almacenamiento externo y transporte, sin perjudicar el normal desarrollo de las actividades en el interior del centro. (Pág. 13)
Lixiviados:	Cedeño I. (2022, párr. 2) hace el aporte acerca de los lixiviados los cuales son los líquidos formados por los residuos, ya sea por la descomposición de desechos orgánicos, el derrame de los líquidos que están dentro de envases, o la mezcla de la lluvia con residuos solventes y claro, la mayoría de las veces una mezcla de todos los anteriores.
Disposición final:	MARN (2021) hace mención que la disposición final es el aislamiento o eliminación definitiva de desechos sólidos comunes o de productos generados durante su tratamiento, por medio del uso de tecnologías que garanticen la ausencia o el estricto control del riesgo sanitario y ambiental. (Pág. 6)

Nota: Propuesta del autor, 2024.

III. Proceso de la clasificación de residuos y desechos en Planta de Tratamiento –PTRS–

El proceso de clasificación consiste en la selección manual y agrupación de los residuos y desechos sólidos ingresados a la Planta de Tratamiento de acuerdo a los siguientes rubros:

1. Orgánico
2. Inorgánico recuperable o reciclabl
3. Inorgánico no recuperable para co-procesamiento
4. Inorgánico no recuperable para relleno sanitario

El proceso de selección se lleva a cabo en dos mesas fijas de concreto, en total actualmente esta función la realizan cuatro personas posicionadas en cada mesa quienes portan el equipo de protección el cual consiste en guantes de látex, botas de hule, mascarilla y delantal.



Figura 1 Proceso de clasificación de los residuos y desechos sólidos en PTRS.

4.1. Residuos orgánicos

En la planta de tratamiento ingresan residuos orgánicos de las unidades ejecutoras, entre los cuales se encuentran los siguientes materiales:

1. Figura 2 Cáscaras y restos de frutas



3. Figura 4 Carbón



2. Figura 3 Cáscaras y restos de vegetales



4. Figura 5 Cáscaras de huevo



5. Figura 6 Restos de comida



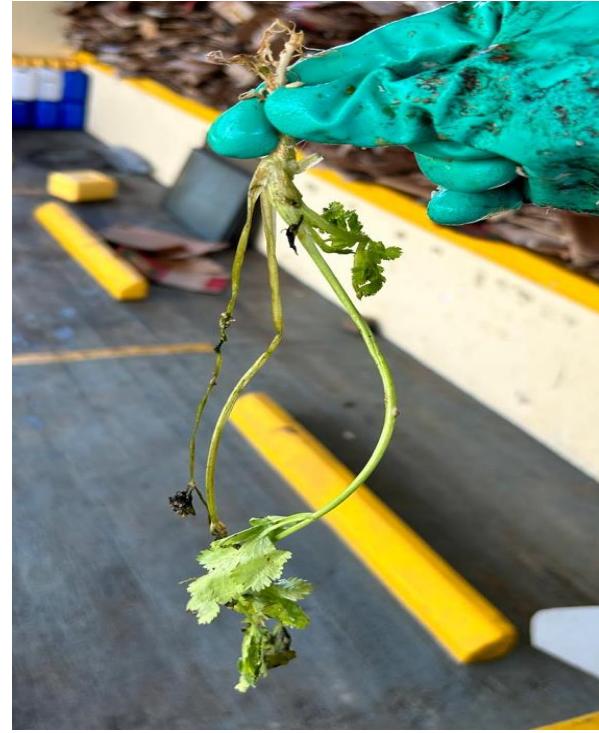
7. Figura 8 Hoja de maxán



6. Figura 7 Aderezo y embutidos



8. Figura 9 Hierbas



4.1.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección

La clasificación se realiza de la siguiente manera: los residuos orgánicos al ser separados de los demás desechos son colocados en carretillas, las cuales se encuentran posicionadas al costado de cada clasificador, al observar una cantidad considerable de residuos orgánicos los clasificadores proceden a trasladar la carretilla a la disposición final siendo las cámaras de compostaje.



Figura 10 Colocación de los residuos orgánicos en las carretillas.

4.1.2. Traslado en carretillas a las cámaras de compostaje

Las carretillas con residuos orgánicos son trasladadas por medio de los clasificadores a la cámara de compostaje habilitada, siendo una infraestructura de tipo aeróbica capacitada para promover el crecimiento de microorganismos encargados de descomponer la materia almacenada durante un periodo de seis meses para la producción de compost.



Figura 11 Proceso de traslado de la materia orgánica a las cámaras de compostaje.

4.1.3. Fases de degradación de la materia orgánica

Las Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos cuenta con cuatro cámaras de compostaje en cada fase, desarrollándose el proceso de descomposición de la materia de la siguiente manera:

- **Fase 1 (encierro):**

En esta fase la materia orgánica se encierra en las primeras cuatro cámaras habilitadas durante un tiempo estimado de tres meses, se le colocan microorganismos benéficos para evitar la propagación de larvas y malos olores en las cámaras.



Figura 12 Fase de encierro en las cámaras de compostaje.

- **Fase 2 (maduración):**

En esta fase la materia orgánica se traslada a través de una retroexcavadora hacia las cámaras habilitadas de la fase dos en donde los residuos pasan por el proceso de maduración en un tiempo estimado de tres meses para concluir con la descomposición de la materia.



Figura 13 Proceso de traslado a las cámaras de compostaje en la fase de maduración.

- **Fase 3 (patio de maduración)**

En la última fase la materia orgánica es trasladada por medio de la retroexcavadora hacia el patio de maduración siendo esta un área en la que se espera un tiempo estimado de dos meses para que la temperatura de la materia disminuya para triturarla y usarla como compost.



Figura 14 Materia orgánica en el patio de maduración.

4.1.4. Producción de compost para uso en el departamento de jardinería

Al concluir el periodo de encierro y maduración el compost es triturado, consiguiendo un compost orgánico el cual se utiliza dentro de las instalaciones.



Figura 15 Proceso de trituración del compost.

4.2. Desechos inorgánicos reciclables

En la planta de tratamiento ingresan desechos inorgánicos, entre los cuales se encuentran los siguientes materiales:

Figura 16 Botellas de plástico de tereftalato de polietileno (PET)



Figura 18 Galones de aluminio



Figura 17 Recipientes de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE)



Figura 19 Latas de aerosol



Figura 20 Frascos de vidrio



Figura 23 Botellas de vidrio



Figura 21 Latas de aluminio



Figura 24 Material feroso



Figura 22 Cartón y material de oficina



Figura 25 Material de oficina



4.2.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección

La clasificación de los desechos inorgánicos reciclables se realiza de la siguiente manera: las botellas y galones plásticos al ser separados de los demás desechos son colocados en costales, las botellas y frascos de vidrio son colocados en canecas vacías, las latas de bebidas, galones de aluminio y material de oficina son colocados en bolsas para desechos, al tener una cantidad considerable son almacenados en un punto estratégico de la Planta de Tratamiento.



Figura 26 Proceso de clasificación de los desechos inorgánicos reciclables.

4.2.2. Disposición final del material reciclabl

- **Botellas y galones de plástico**

Las botellas y galones de plástico se introducen en jumbos, previo a la venta de las botellas son ingresadas a través de la máquina ponchadora para sacar el aire almacenado, se forma nuevamente la pacá y se pesa en la báscula para obtener el peso total siendo vendidos los recipientes de plástico posteriormente a empresas certificadas dedicadas al reciclaje.



Figura 27 Proceso de compresión de botellas plásticas.



Figura 28 Pesaje de los jumbos utilizando una báscula digital.



Figura 29 Jumbos de material reciclabl.e.



Figura 30 Adquisición del material reciclabl e por empresa certificada.

- **Botellas y frascos de vidrio**

Los recipientes de vidrio se almacenan en toneles y son categorizados por medio de colores, los recipientes son quebrados para que ocupen menor espacio al momento de ser vendidos a las empresas dedicadas al reciclaje.



Figura 31 Toneles para almacenar vidrio en la PTRS.

Los colores en que se categorizan los recipientes de vidrio son los siguientes:

a) Verde



Figura 32 Botellas de vidrio verdes.

b) Café

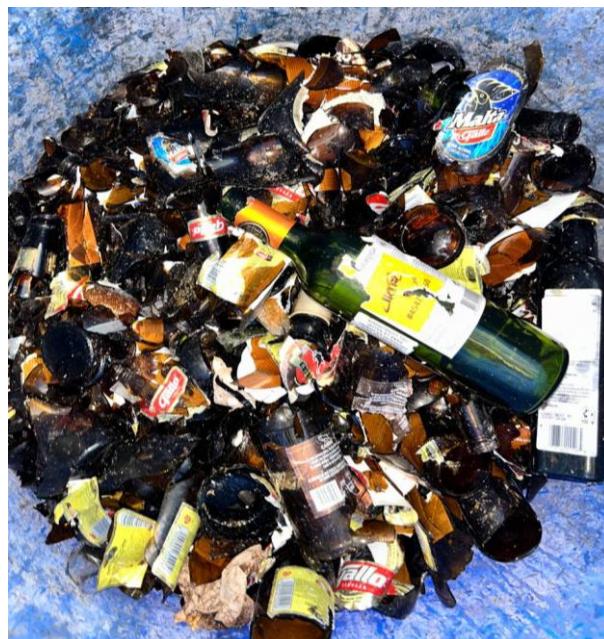


Figura 33 Botellas de vidrio cafés.

c) Transparente



Figura 34 Botellas de vidrio transparentes.

• **Latas y galones de aluminio**

Las latas y galones de aluminio son colocados en bolsas para desechos y almacenados dentro de la Planta de Tratamiento para su previa venta con empresas de reciclaje certificadas.



Figura 35 Latas de bebidas clasificadas en bolsas para desechos.



Figura 36 Almacenamiento de bolsas con latas de aluminio.

- **Cartón**

El cartón es apilado en el área de carga de material recuperable de la Planta de tratamiento para su previa venta con empresas de reciclaje certificadas.



Figura 37 Cartón apilado en planta de tratamiento.

- **Material de oficina**

El material de oficina se coloca en bolsas para desechos y es almacenado dentro de la Planta de Tratamiento para su previa venta con empresas de reciclaje certificadas.



Figura 38 Material de oficina clasificado en PTRS.

- **Galones de aceite**

Los galones de aceite son apilados y almacenados en el estacionamiento de la Planta de Tratamiento para su previa venta con empresas de reciclaje certificadas.



Figura 39 Galones de aceite almacenados en PTRS.

- **Material ferroso**

Los electrodomésticos y materiales de metal son almacenados en un área estratégica de la Planta de Tratamiento, previo a la venta de los materiales ferrosos son pesados en la báscula para obtener el peso total siendo vendidos posteriormente a empresas dedicadas al reciclaje.



Figura 40 Pesaje del material ferroso en la báscula digital.



Figura 41 Adquisición del material ferroso por empresa con licencia ambiental.

4.3. Desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario

En la planta de tratamiento ingresan desechos inorgánicos de las unidades ejecutoras, entre los cuales se encuentran los siguientes materiales:

1. Figura 42 Pañales desechables



4. Figura 45 Papel seca manos mojado



2. Figura 43 Papel higiénico



5. Figura 46 Toallas sanitarias



3. Figura 44 Papel aluminio



6. Figura 47 Poliestireno expandido (EPS)



7. Figura 48 Platos, vasos, tenedores, cucharas de plásticos de poliestireno con restos de comida.



8. Figura 49 Pajillas de plástico de polipropileno (PP)



9. Figura 50 Sobres de shampoo



10. Figura 51 Envase de plástico de polietileno de tereftalato (PET) para shampoo y acondicionador



11. Figura 52 Envase de plástico de polietileno (PE) para bloqueador solar



12. Figura 53 Recipientes de plástico de tereftalato de polietileno (PET) para aderezos



13. Figura 54 Bolsas de plástico de polietileno (PE) que contienen restos de carne, sangre y otros productos



14. Figura 55 Envoltorios de plástico de polietileno (PE) para snacks



15. Figura 56 Huaipe de algodón



16. Figura 57 Resto de telas



17. Figura 58 Papel filtro para cafeteras



18. Figura 59 Cartón contaminado con fibra de vidrio y mojado



19. Figura 60 Sobres para cátsup



22. Figura 63 Preservativos



20. Figura 61 Rasuradora



23. Figura 64 Cepillo de dientes



21. Figura 62 Barras de jabón



24. Figura 65 Estropajo



4.3.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección

La clasificación consta de la siguiente manera: los desechos inorgánicos no recuperables para relleno sanitario al ser separados de los demás desechos son colocados en bolsas las cuales se posicionan al costado de cada clasificador para luego ser trasladadas a la máquina compactadora situada en el interior de la Planta de Tratamiento.



Figura 66 Desechos no recuperables con disposición final en el relleno sanitario.

4.3.2. Compactación

Una vez clasificados los desechos inorgánicos no recuperables para el relleno sanitario se compactan a través de la máquina compactadora, se ingresan de tres a cuatro bolsas con desechos que tienen un peso promedio de 108.86 kg, el proceso de compactación dura un tiempo estimado de 5 minutos, se introducen en la máquina compactadora un volumen de bolsas con desechos no recuperables de 0.626 m³ y al finalizar el proceso de compactación se obtiene un volumen en la paca de 0.036 m³, obteniendo una disminución del volumen de 0.59 m³ equivalentes al 94% del volumen original de las bolsas con desechos no recuperables.

Existen desechos que no se compactan debido a las siguientes razones:

- ✓ Las bolsas contienen lixiviados, los cuales pueden salir expulsado al momento de compactarlos.
- ✓ Contiene restos de comida que puede manchar la máquina compactadora.
- ✓ Los pañales desechables por la orina y las heces fecales.
- ✓ Las bolsas traen larvas.



Figura 67 Máquina compactadora para desechos inorgánicos no recuperables.

4.3.3. Traslado hacia relleno sanitario

Los desechos inorgánicos no recuperables una vez clasificados y compactados son enviados a otra área en la Planta de Tratamiento en el cual posteriormente son trasladados hacia el relleno sanitario por medio del personal que labora en la planta a través de picops, carretillas o camiones.

El relleno sanitario cuenta con un drenaje francés el cual drena los lixiviados que son generados por los desechos y los dirige hacia la laguna de lixiviados. En el relleno sanitario son acondicionados diariamente los desechos inorgánicos no recuperables de manera manual, posicionándolos de forma ordenada en el área de la disposición final que se encuentre en uso para colocar los desechos compactados.



Figura 68 Proceso de traslado hacia el relleno sanitario.



Figura 69 Acondicionamiento de los desechos no recuperables.

4.3.4. Mantenimiento del relleno sanitario

En el relleno sanitario se realiza el recubrimiento de los desechos previamente acondicionados, esto se realiza mediante una retroexcavadora, el proceso consiste en colocar aproximadamente entre 20 a 25 cm de tierra encima de los desechos acondicionados seguido de un proceso de compactación desarrollado por medio de la maquinaria la cual pasa por encima de los mismos.

Para mejorar la estética del relleno sanitario se realizan procesos de jardinería con la finalidad de actuar como barreras para evitar deslaves y compactar la tierra.



Figura 70 Proceso de recubrimiento con tierra de los desechos no recuperables.



Figura 71 Relleno sanitario.

4.4. Desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento

1. Figura 72 Cartón de pulpa de papel moldeada



4. Figura 75 Papel seca manos



2. Figura 73 Vasos de plástico de tereftalato de polietileno (PET)



5. Figura 76 Bandejas de plástico de polipropileno para comida



3. Figura 74 Envoltorios de plástico de polietileno (PE) para snacks



6. Figura 77 Poliestireno expandido (EPS)



7. Figura 78 Cajas de Tetra Brik para jugos



10. Figura 81 Cajas de Tetra Brik para lácteos



8. Figura 79 Platos de cartón



11. Figura 82 Platos de plástico de tereftalato de polietileno (PET)



9. Figura 80 Bolsas de cartón



12. Figura 83 Pajillas de plástico de polipropileno (PP)



13. Figura 84 Vasos de cartón



16. Figura 87 Cubiertos de plástico de poliestireno



14. Figura 85 Etiquetas de cartón



17. Figura 88 Prendas de ropa



15. Figura 86 Papel aluminio



18. Figura 89 Bolsas de plástico de polietileno (PE)



4.4.1. Proceso de clasificación en las mesas de selección

La clasificación consta de la siguiente manera: los desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento al ser separados de los demás desechos son colocados en bolsas las cuales se posicionan al costado de cada clasificador para luego ser trasladadas a la máquina compactadora situada en el interior de la Planta de Tratamiento.



Figura 90 Proceso de selección de los desechos en la PTRS.

4.4.2. Compactación

Una vez clasificados los desechos inorgánicos no recuperables para coprocesamiento se compactan a través de la máquina compactadora, se ingresan dos bolsas con desechos que tiene un peso promedio de 100 libras, el proceso de compactación dura un tiempo estimado de 5 minutos, se introducen en la máquina compactadora un volumen de bolsas con desechos no recuperables de 0.626 m^3 y al finalizar el proceso de compactación se obtiene un volumen en la paca de 0.036 m^3 , obteniendo una disminución del volumen de 0.59 m^3 equivalentes al 94% volumen original de la bolsa con desechos no recuperables.



Figura 91 Proceso de compactación en la PTRS.

4.4.3. Traslado de las pacas hacia la cámara para coprocesamiento

Los desechos inorgánicos no recuperables una vez clasificados y compactados son trasladados por medio de carretillas por los clasificadores a la cámara destinada para coprocesamiento, en el lugar son acondicionadas con las demás pacas para ser almacenadas en un tiempo promedio de 6 meses hasta que son recolectadas por los furgones.



Figura 92 Traslado en carretilla de los desechos para coprocesamiento.



Figura 93 Acondicionamiento de los desechos en la cámara para coprocesamiento.



Figura 94 Pacas de desechos no recuperables para coprocesamiento.

4.4.4. Envío a empresa responsable de coprocesamiento

Las pacas almacenadas se cargan al furgón por medio del personal de la Planta de Tratamiento, siendo acondicionadas en el vehículo para luego ser transportadas a su disposición final siendo la empresa certificada para tratar los desechos para coprocesamiento.



Figura 95 Recolección con empresa responsable de coprocesamiento.



Figura 96 Traslado con empresa responsable de coprocesamiento.

4.4.5. Instrumento de evaluación del porcentaje de cumplimiento en la clasificación de los residuos y desechos sólidos

LISTADO DE MATERIALES:

- Báscula digital
- Bolsas para desechos
- Guantes de caucho natural
- Botas de caucho natural
- Mascarilla
- Delantal
- Lápiz o lapicero
- Calculadora

Los residuos y desechos sólidos deben ser pesados posteriormente al ser clasificados en las mesas de selección, el proceso de evaluación del porcentaje de cumplimiento en la clasificación por rubro se debe realizar de la siguiente manera:

PROCEDIMIENTO PARA RESIDUOS ORGÁNICOS:

→ Paso 1

Pesar la carretilla con los residuos orgánicos en la báscula digital y anotar los resultados en la boleta de registro.

→ Paso 2

Realizar una inspección manual de los residuos orgánicos previo a su almacenamiento en las cámaras de compostaje.

→ Paso 3

Anotar en la boleta de registro los residuos o desechos encontrados durante la inspección manual.

→ **Paso 4**

Se debe pesar los residuos o desechos correctamente e incorrectamente clasificados y apuntar los resultados en la boleta de registro.

→ **Paso 5**

Con los datos del pesaje realizado se debe aplicar las siguientes ecuaciones sobre el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la bolera de registro:

a) Cálculo del porcentaje de cumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de cumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = p * 100/t$$

b) Cálculo del porcentaje de incumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje del incumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de incumplimiento} = n * 100/t$$

Tabla 2 Boleta de registro los residuos orgánicos.

DEMANDA ALTA DE RESIDUOS ORGÁNICOS					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		
DEMANDA MEDIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Continúa tabla 2. Boleta de registro de residuos orgánicos

DEMANDA BAJA DE RESIDUOS ORGÁNICOS					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Nota: Propuesta del autor, 2024.

Para obtener la muestra se deben sumar los pesos de los residuos o desechos sólidos correctamente e incorrectamente clasificados obtenidos de las temporadas, aplicar las ecuaciones para el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la siguiente boleta de registro:

Tabla 3 Resumen de resultados de los residuos orgánicos.

RESUMEN DE RESULTADOS					
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento		
	Sí	No			

Nota: Propuesta del autor, 2024.

PROCEDIMIENTO PARA DESECHOS INORGÁNICOS RECICLABLES:

→ **Paso 1**

Pesar los jumbos y/o bolsas con los desechos inorgánicos reciclables en la báscula y anotar los resultados en la boleta de registro.

→ **Paso 2**

Realizar una inspección manual de los desechos inorgánicos reciclables previo a su almacenamiento en la planta de tratamiento.

→ **Paso 3**

Anotar en la boleta de registro los residuos o desechos encontrados durante la inspección manual.

→ **Paso 4**

Se debe pesar los residuos o desechos correctamente e incorrectamente clasificados y apuntar los resultados en la boleta de registro.

→ **Paso 5**

Con los datos del pesaje realizado se debe aplicar las siguientes ecuaciones sobre el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la bolera de registro:

c) Cálculo del porcentaje de cumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de cumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = p * 100/t$$

d) Cálculo del porcentaje de incumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje del incumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de incumplimiento} = n * 100/t$$

Tabla 4 Boleta de registro de los desechos inorgánicos reciclables.

DEMANDA ALTA DE DESECHOS INORGÁNICOS RECICLABLES					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Continúa tabla 4. Boleta de registro de los desechos inorgánicos reciclables.

DEMANDA MEDIA DE DESECHOS INORGÁNICOS RECICLABLE					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		
DEMANDA BAJA DE DESECHOS INORGÁNICOS RECICLABLES					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Nota: Propuesta del autor, 2024.

Para obtener la muestra se deben sumar los pesos de los residuos o desechos sólidos correctamente e incorrectamente clasificados obtenidos de las temporadas, aplicar las ecuaciones para el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la siguiente boleta de registro:

Tabla 5 Resumen de resultados de los desechos inorgánicos reciclables.

RESUMEN DE RESULTADOS			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento
	Sí	No	

Nota: Propuesta del autor, 2024.

PROCEDIMIENTO PARA DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO:

→ Paso 1

Pesar las bolsas con los desechos inorgánicos no recuperables en la báscula digital y anotar los resultados en la boleta de registro.

→ Paso 2

Realizar una inspección manual de los desechos inorgánicos no recuperables previo a su compactación y disposición final en el relleno sanitario.

→ Paso 3

Anotar en la boleta de registro los residuos o desechos encontrados durante la inspección manual.

→ **Paso 4**

Se debe pesar los residuos o desechos correctamente e incorrectamente clasificados y apuntar los resultados en la boleta de registro.

→ **Paso 5**

Con los datos del pesaje realizado se debe aplicar las siguientes ecuaciones sobre el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la bolera de registro:

e) Cálculo del porcentaje de cumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de cumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = p * 100/t$$

f) Cálculo del porcentaje de incumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje del incumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de incumplimiento} = n * 100/t$$

Tabla 6 Boleta de registro de los desechos no recuperables para relleno sanitario.

DEMANDA ALTA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		
DEMANDA MEDIA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Continúa tabla 6. Boleta de registro de los desechos no recuperables para relleno sanitario.

DEMANDA BAJA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Nota: Propuesta del autor, 2024.

Para obtener la muestra se deben sumar los pesos de los residuos o desechos sólidos correctamente e incorrectamente clasificados obtenidos de las temporadas, aplicar las ecuaciones para el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la siguiente boleta de registro:

Tabla 7 Resumen de resultados de los desechos no recuperables para relleno sanitario.

RESUMEN DE RESULTADOS			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento
	Sí	No	

Nota: Propuesta del autor, 2024.

PROCEDIMIENTO PARA DESECHOS NO RECUPERABLES PARA CO-PROCESAMIENTO:**→ Paso 1**

Pesar las bolsas con los desechos inorgánicos no recuperables en la báscula y anotar los resultados en la boleta de registro.

→ Paso 2

Realizar una inspección manual de los desechos inorgánicos no recuperables previo a su compactación y almacenamiento.

→ Paso 3

Anotar en la boleta de registro los residuos o desechos encontrados durante la inspección manual.

→ Paso 4

Se debe pesar los residuos o desechos correctamente e incorrectamente clasificados y apuntar los resultados en la boleta de registro.

→ Paso 5

Con los datos del pesaje realizado se debe aplicar las siguientes ecuaciones sobre el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la bolera de registro:

g) Cálculo del porcentaje de cumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

• Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje de cumplimiento

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = p * 100/t$$

h) Cálculo del porcentaje de incumplimiento

Para determinar el porcentaje de cumplimiento se aplicará la siguiente ecuación:

- **Ecuación a utilizar para el cálculo del porcentaje del incumplimiento**

$$\text{Total de desechos recepcionados durante el día} = t$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados correctamente} = p$$

$$\text{Cantidad de desechos clasificados incorrectamente} = n$$

$$\text{Porcentaje de incumplimiento} = n * 100/t$$

Tabla 8 Boleta de registro de los desechos no recuperables para co-procesamiento.

DEMANDA ALTA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Continúa tabla 8. Boleta de registro de los desechos no recuperables para co-procesamiento.

DEMANDA MEDIA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		
DEMANDA BAJA DE DESECHOS NO RECUPERABLES PARA RELLENO SANITARIO					
Tipo de residuo o desecho	Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento	Fecha
		Sí	No		

Nota: Propuesta del autor, 2024.

Para obtener la muestra se deben sumar los pesos de los residuos o desechos sólidos correctamente e incorrectamente clasificados obtenidos de las temporadas, aplicar las ecuaciones para el cálculo del porcentaje de cumplimiento e incumplimiento y anotar los resultados en la siguiente boleta de registro:

Tabla 9 Resumen de resultados de los desechos no recuperables para co-procesamiento.

RESUMEN DE RESULTADOS			
Peso (kg)	Rubro correcto (kg)		% de cumplimiento e incumplimiento
	Sí	No	

Nota: Propuesta del autor, 2024.

Se debe aplicar el instrumento en temporadas de demanda alta, media y baja durante la operación de la planta de tratamiento para obtener una muestra representativa de los porcentajes de cumplimiento e incumplimiento en la clasificación.

Se incluye el siguiente link y código QR con el instrumento para medir el porcentaje de cumplimiento de los residuos y desechos sólidos:

- <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1IRfUL6StINMfnAE36CRuI2axt9ER-jjBH08p9rlJ-4/edit?usp=sharing>



i) CONCLUSIONES: _____

5. Referencias

- Ambiental, G. (18 de Octubre de 2022). *Conoce las plantas de tratamiento de residuos.* Obtenido de GTA Ambiental: <https://gtaambiental.com/plantas-de-tratamiento-de-residuos/>
- Banco Central Europeo. (21 de Noviembre de 2023). *¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo vivo.* Obtenido de Banco Central Europeo: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>
- Banco Central Europeo. (24 de Julio de 2024). *¿Qué es el reciclaje y por qué es importante reciclar?* Obtenido de Banco Central Europeo: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-reciclaje-y-por-que-es-importante-reciclar/>
- Cedeño, I. (08 de Noviembre de 2022). *¿Qué son los lixiviados y por qué deberían preocuparnos?* Obtenido de GTA ambiental: <https://gtaambiental.com/lixiviados/>
- Ecoembes. (15 de Junio de 2020). *Cómo se clasifican los residuos.* Obtenido de Ecoembes: <https://reducereutilizarecicla.org/como-se-clasifican-los-residuos/#:~:text=Existen%20tres%20tipos%20de%20clasificaciones,%2C%20hospitalarios%2C%20de%20construcci%C3%B3n.>
- Internaco. (08 de Abril de 2024). *Compactadoras para residuos lo que debes saber.* Obtenido de Internaco DIVISIÓN MEDIO AMBIENTE: <https://internacomedioambiente.es/noticias/compactadoras-para-residuos-lo-que-debes-saber/>
- Lean Compacting Company. (20 de Julio de 2023). *¿Qué es el coprocesamiento?* Obtenido de Lean Compacting Company: <https://lcc.eco/que-es-el-coprocamiento/>
- MiAMBIENTE. (2018). *Guía para la gestión de los desechos sólidos en comunidades rurales.* Obtenido de MiAMBIENTE: <https://pancanal.com/wp-content/uploads/2021/09/Anexo-6-Gestion-Desechos.pdf>
- Montes Cortés, C. (27 de Marzo de 2020). *Generación y manejo de residuos durante la pandemia del COVID-19.* Obtenido de Departamento de Derecho del Medio Ambiente: <https://medioambiente.uexternado.edu.co/generacion-y-manejo-de-residuos-durante-la-pandemia-del-covid-19/#:~:text=La%20generaci%C3%B3n%20de%20residuos%20es,%2C%20o%20no%2C%20de%20aprovechamiento.>

Nestlé. (20 de Abril de 2022). *Desechos sólidos: Qué son, tipos y cómo gestionarlos.* Obtenido de Nestlé: <https://www.nestleagustoconlavida.com/re-pensar/desechos-solidos#:~:text=Los%20desechos%20s%C3%B3lidos%20son%20los,los%20desechos%20l%C3%ADquidos%20y%20gaseosos.>

Pochteca. (24 de Mayo de 2023). *CLASIFICACIÓN Y GESTIÓN ADECUADA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.* Obtenido de Pochteca: <https://mexico.pochteca.net/clasificacion-y-gestion-adecuada-de-los-residuos-solidos/>

Reciclamás. (09 de Septiembre de 2020). *Funcionamiento de una planta de compostaje.* Obtenido de Reciclamás: <https://reciclamas.eu/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-compostaje/>

Rivas Arias, C. A. (17 de Octubre de 2018). *PIENSA UN MINUTO ANTES DE ACTUAR : GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.* Obtenido de Mincit: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

SMV. (09 de Febrero de 2024). *Tipos de residuos: reciclables y no reciclables.* Obtenido de Servicios Medioambientales de Valencia, S.L.: <https://www.smv.es/tipos-de-residuos-reciclables-y-no-reciclables/>

Tapia Páez, J. M. (2008). *Metodología para el diseño de una estación de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas.* Obtenido de Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/437>

Villena Chávez, J. (Febrero de 1994). *GUIA PARA EL MANEJO INTERNO DE RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS.* Obtenido de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55350/guiamanejo_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Volta. (24 de Abril de 2019). *Residuos orgánicos: ¿qué son? ¿cómo tratarlos?* Obtenido de Volta: <https://www.voltachile.cl/residuos-organicos/>



Mazatenango Suchitepéquez, 05 de marzo de 2025

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario de Suroccidente

Respetable MSc. Pérez Cifuentes:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para presentarle el informe final de la investigación inferencial titulado: **“Evaluación del cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación de una planta de tratamiento del departamento de Retalhuleu”**, presentado por el estudiante **Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro** con carné número **201741125**, y **CUI 3385771141001**, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de ingeniería en Gestión ambiental Local -EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del normativo de Trabajo de Graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado como Trabajo de graduación, para la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Sin otro particular,

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc Celso González Morales
Supervisor EPSIGAL
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC



Karen Pérez
recibido
05.03.2025



Mazatenango, 26 de mayo de 2025.

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC

Respetable Maestra Pérez:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo al artículo 9, del Normativo de Trabajo de Graduación de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones del trabajo titulado: ***"Evaluación del cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación de una planta de tratamiento del departamento de Retalhuleu"***, presentada por el estudiante: Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro, quién se identifica con número de carné: 201741125, y con Código Único de Identificación: 3385 77114 1001.

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo que después de realizar el proceso que me fue asignado y verificar la incorporación de las observaciones por parte del estudiante a la investigación, procedo a dar visto bueno al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente,

Kharla Leticia Marysol Vides Rodas
Ingeniera en Gestión Ambiental Local
Revisora de Trabajo de Graduación IGAL
CUNSUROC



Karen Pérez
recibido
26/mayo/125



Mazatenango 30 de mayo, 2025

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director en Funciones
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Evaluación del cumplimiento en la clasificación de residuos y desechos sólidos en la operación de una planta de tratamiento en el departamento de Retalhuleu**", del estudiante **Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro**, carné **201741125**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular.

Karen Pérez

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-99-2025

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el ocho de septiembre de dos mil veinticinco

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: "**EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO EN LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS EN LA OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**" del estudiante: **Jhonattan Gerardo Ramos Villatoro**, Carné: **201741125**, CUI: **3385 77114 1001** de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Bernardino Alfonso Escobar
Director



/gris