

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Suroccidente

Ingeniería en Gestión Ambiental Local



**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS  
SÓLIDOS MUNICIPALES DEL CASCO URBANO DE MOMOSTENANGO,  
TOTONICAPÁN.**

Por:

Luis Fernando Régil Argueta

Carné: 201742158

DPI: 3072 82619 1013

arguefernando25@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez marzo de 2,025



**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 DE  
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

**REPRESENTANTE DE PROFESORES**

MSc. 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 Roderico Alonzo Solis

Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar  
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa  
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez  
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz  
Coordinador Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

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

MSc. Tania María Cabrera Ovalle  
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales  
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
Coordinador de Área

### **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA**

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos  
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam  
Coordinador Carrera Periodista Profesional y  
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

## DEDICATORIA

- A Dios:** Por brindarme la vida, sabiduría y salud, en el proceso y culminación de esta etapa profesional.
- A mis padres:** Nelton Danilo Régil Juárez y Juana Audencia Raquel Argueta Esquina por su amor incondicional y apoyo en todo momento de mi vida, los amaré siempre.
- A mis hermanos:** Nelton Danilo Régil Argueta, Diego Andrés Régil Argueta y Ónice María Jimena Régil Argueta, por brindarme el apoyo y animo en todo momento de esta etapa académica.
- A mis abuelos:** Roberto Argueta, Isabel Esquina, Gregorio Régil (Q.E.P.D.) y Lucila Juárez (Q.E.P.D.), por llevarme siempre en sus oraciones.
- A mis pastores:** Guillermo Juárez (Q.E.P.D.) y Magaly Urbina (Q.E.P.D.), por su apoyo espiritual hacia mi vida, un abrazo hasta el cielo.
- A mi familia:** Por haberme brindado apoyo emocional y consejos en esta etapa profesional.
- A mis amigos:** Agradezco por haberme brindado momentos de alegrías risas y sobre todo aventuras, siempre estaré agradecido por su lealtad, apoyo y amistad en todo momento. Mencionarlos pueda ser tedioso pero cada uno se sentirá identificado.
- A Diego Mendoza:** Estaré en deuda por todo el apoyo brindado, qué más quisiera dedicártelo en vida, pero Dios tiene planes para nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A:** La Universidad San Carlos de Guatemala, por ser el alma mater de la formación académica.
- A:** El Centro Universitario de Suroccidente, por formarme en dicha casa de estudio.
- A:** Los docentes de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por los conocimientos transmitidos en los diferentes cursos durante el tiempo de estudio.
- A:** Coordinación Académica de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, por brindarme el apoyo para la culminación de esta etapa.
- A:** La Municipalidad de Momostenango Totonicapán, Totonicapán, por brindarme el espacio para desarrollar el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- y realizar la presente investigación.
- A:** La dependencia municipal de la Unidad de Gestión Ambiental Local de Momostenango, por su apoyo en las diversas actividades ambientales y así mismo la formulación de la presente investigación.
- A:** A mi tío Adolfo Argueta por brindarme su apoyo total en el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-.
- A:** A mi tía Luisa Régil por la hospitalidad brindada en su hogar y el apoyo moral para la culminación de esta etapa profesional.
- A:** Al programa de Ejercicio Profesional Supervisado Multidisciplinario -EPSUM- por facilitar las herramientas necesarias durante la práctica en la municipalidad de Momostenango Totonicapán, Totonicapán.

## Índice general

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. Introducción .....	1
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Información general del municipio de Momostenango, Totonicapán .....	3
2.1.1. Antecedentes históricos .....	3
2.1.2. Localización .....	3
2.1.3. Extensión territorial .....	3
2.1.4. División política-administrativa .....	3
2.1.5. Población .....	4
2.1.6. Número de habitantes en el municipio de Momostenango .....	4
2.1.7. Suelo.....	6
2.1.8. Clima.....	6
2.2. Residuos y desechos.....	7
2.2.1. Residuos sólidos.....	7
2.2.2. Desechos sólidos.....	8
2.3. Clasificación de desechos sólidos .....	8
2.3.1. Los desechos sólidos de acuerdo a sus características.....	8
2.3.1.1. Desechos inorgánicos .....	8
2.3.1.2. Desechos biodegradables.....	8
2.3.1.3. Desechos no biodegradables.....	8
2.3.2. Los residuos de acuerdo a su origen .....	9

2.3.2.1. Residuos peligrosos .....	9
2.3.2.2. Residuos sólidos urbanos .....	9
2.3.2.3. Residuos de manejo especial .....	9
2.4. Gestión integral de residuos sólidos (GIRS).....	9
2.5. Indicadores ambientales municipales .....	10
2.5.1. Generación de desechos sólidos per cápita (PPC) .....	10
2.5.2. Prueba de densidad o peso volumétrico kilogramos/ metros cúbicos (kg/m <sup>3</sup> ) .....	10
2.5.3. Composición de los desechos sólidos .....	11
2.5.4. Cobertura de recolección de desechos sólidos .....	11
2.5.5. Dispersión y/o concentración de la disposición final de los desechos sólidos.....	12
2.6. Infraestructura para el tratamiento de residuos y desechos sólidos .....	13
2.6.1. Planta de tratamiento de residuos sólidos .....	13
2.6.2. Fases de una planta de tratamiento.....	13
2.6.3. Diseño y tipos de plantas de tratamiento de residuos sólidos .....	14
2.6.4. Orientaciones de planificación para las plantas de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos.....	15
2.6.5. Consideraciones para la ubicación de una planta de tratamiento de residuos sólidos.....	15
2.6.6. Consideraciones técnicas de una planta de tratamiento de desechos sólidos.....	16
2.6.7. Relleno sanitario.....	17
2.6.8. Compostaje .....	24
2.6.9. Fase mesófila .....	24
2.6.10. Fase termófila o de higienización.....	24

2.6.11. Fase de enfriamiento o mesófila II. ....	24
2.6.12. Fase de maduración.....	24
2.7. Plan municipal para la gestión integral .....	25
2.8. Gestión integral de residuos y desechos sólidos .....	25
2.9. Legislación ambiental de residuos y desechos sólidos .....	25
III. Objetivos.....	30
3.1. General.....	30
3.2. Específicos .....	30
IV. Materiales y métodos .....	31
4.1. Materiales y presupuesto.....	31
4.2. Metodología .....	32
4.2.1. Población objetivo .....	32
4.2.2. Caracterización de los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano de Momostenango, Totonicapán.....	33
4.2.3. Diseño de las fases de tratamiento, para los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano.....	39
4.2.4. Evaluación y selección de sitio de ubicación de la planta de tratamiento de desechos sólidos en Momostenango, Totonicapán....	47
V. Resultados y discusión.....	49
5.1. Población objetivo .....	49
5.2. Caracterización de los residuos y desechos sólidos generados.....	49
5.2.1. Determinación de los indicadores ambientales.....	49
5.3. Diseño de las fases de tratamiento, para los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano. ....	59
5.3.1. Proyecciones de la población, residuos y desechos sólidos en peso y volumen. ....	60

5.3.2.	Determinación de las fases de tratamiento.....	66
5.3.3.	Dimensiones de las fases de tratamiento residuos y desechos sólidos.....	69
5.3.4.	Evaluación y selección de sitio para la planta de tratamiento de desechos sólidos .....	78
VI.	Conclusiones .....	82
VII.	Recomendaciones.....	83
VIII.	Revisión bibliográfica .....	85
IX.	Anexos.....	92

## Índice de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1 Municipio de Momostenango. Centros poblados. Años: 1994, 2002, 2004 2018 .....	04
2 Impactos específicos y medidas de mitigación en rellenos sanitarios.....	18
3 Materiales y presupuesto .....	31
4 Horarios para la toma de muestras en los servicios municipales.....	37
5 Población objetivo .....	49
6 Peso de los residuos por estratos.....	50
7 Clasificación material recuperable .....	52
8 Clasificación material no recuperable domiciliar .....	52
9 Composición material recuperable del mercado municipal .....	54
10 Clasificación de los desechos no recuperables del mercado .....	54
11 Clasificación de desechos recuperables.....	56
12 Clasificación del material no recuperable de vías públicas .....	56
13 Clasificación general de los desechos municipales.....	57
14 Densidad general de los residuos y desechos municipales .....	59
15 Proyección de la población del casco urbano de Momostenango.....	61
16 Proyección diaria y anual de la producción total de residuos y desechos sólidos .....	62
17 Proyección de la producción total del material orgánico e inorgánico.....	64
18 Proyección en volumen de los desechos orgánicos e inorgánicos .....	65
19 Proyección del material de compost o abono orgánico .....	72
20 Promedio de la profundidad de pozos de abastecimiento de agua.....	79
21 Check list de parámetros de ubicación .....	80
22 Composición física de los desechos domiciliarios.....	92
23 Composición física de los desechos del mercado municipal.....	92
24 Composición física de los desechos de vías públicas.....	93

## Índice de figuras

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1 .....	5
Figura 2 .....	33
Figura 3 .....	35
Figura 4 .....	51
Figura 5 .....	53
Figura 6 .....	55
Figura 7 .....	58
Figura 8 .....	70
Figura 9 .....	71
Figura 10 .....	73
Figura 11 .....	73
Figura 12 .....	75
Figura 13 .....	77
Figura 14 .....	78
Figura 15 .....	79
Figura 16 .....	80
Figura 17 .....	93
Figura 18 .....	94
Figura 19 .....	94
Figura 20 .....	95
Figura 21 .....	95
Figura 22 .....	96
Figura 23 .....	96
Figura 24 .....	97
Figura 25 .....	97
Figura 26 .....	98
Figura 27 .....	98

## Resumen

La presente investigación comprende el diseño de una planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos municipales para el casco urbano de Momostenango, Totonicapán.

Se calculó la producción de residuos y desechos sólidos generada por cada habitante del casco urbano, dando como resultado 0.42 kilogramos de desechos al día, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales indica que la media de producción per-cápita en Guatemala es de 0.45 kilogramos/habitantes/día por lo cual Momostenango se mantiene por debajo de este valor.

En los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano predominan el material orgánico con 59.06%, el material recuperable con un 14.93%, el material no recuperable con 25.97% y por último el material inerte con 0.04%. Esto como resultado del pesaje de los tres estratos: domiciliario, mercado municipal y vías públicas; comprendidos en los meses de julio y agosto del año 2,022.

Las fases de tratamiento se derivan de la caracterización de los residuos y desechos sólidos comprendidas de la siguiente manera: clasificación de los desechos sólidos, recolección y transporte, recuperación de los desechos inorgánicos, cámaras de compostaje, patio de maduración, laguna de estabilización de lixiviados y relleno sanitario para su disposición final.

Con base a lo expuesto, se determinó que es importante aprovechar los materiales de origen orgánico para la elaboración de compost. Así mismo, se resaltó la importancia de los materiales inorgánicos para su reciclaje, reutilización y comercio para generar ingresos municipales. Es importante implementar programas de sensibilización, normativas o políticas ambientales para el mejoramiento ambiental del municipio.

## Abstract

The present research involves the design of a municipal solid waste treatment plant for the urban area of Momostenango, Totonicapán.

The production of waste and solid waste generated by each inhabitant of the urban area was calculated, resulting in 0.42 kilograms of waste per day. The Ministry of Environment and Natural Resources states that the average per capita production in Guatemala is 0.45 kilograms per inhabitant per day, meaning that Momostenango remains below this value.

In the waste and solid waste generated in the urban area, organic material predominates at 59.06%, recoverable material accounts for 14.93%, non-recoverable material makes up 25.97%, and inert material represents 0.04%. This is the result of weighing the three strata: residential, municipal market, and public roads, carried out during the months of July and August of the year 2022.

The treatment phases are derived from the characterization of the waste and solid waste, outlined as follows: classification of solid waste, collection and transportation, recovery of inorganic waste, composting chambers, maturation yard, leachate stabilization pond, and sanitary landfill for final disposal.

Based on the above, it was determined that it is important to take advantage of organic materials for compost production. Additionally, the importance of inorganic materials for recycling, reuse, and trade to generate municipal income was emphasized. It is important to implement awareness programs, regulations, or environmental policies for the environmental improvement of the municipality.

## I. Introducción

Momostenango se ubica en el altiplano occidental del país, a una distancia de siete kilómetros de la cabecera departamental de Totonicapán y a 208 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) se estima una población de 142,191 de habitantes en el municipio.

El crecimiento poblacional urbano ha generado la sobreutilización de bienes y servicios causando la producción de residuos y desechos sólidos, las municipalidades están obligadas a tomar decisiones para implementar sistemas de manejo, manipulación y disposición final de los desechos sólidos.

El municipio tiene una deficiencia en el manejo de los residuos y desechos sólidos, existiendo varios focos de contaminación en el área urbana, así mismo la contaminación de los recursos naturales. Por lo tanto, se plantea ¿Qué opciones existen para la disposición de los desechos sólidos generados en el municipio de Momostenango Totonicapán? pues el municipio no cuenta aún con un vertedero autorizado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Es responsabilidad de las municipalidades crear planes de manejo, reciclaje, reutilización, infraestructura para la disposición final de los desechos, como entes responsables de la gestión adecuada de los residuos y desechos sólidos. Por ello es importante los estudios de caracterización, para determinar la composición física, densidad y cantidad a nivel domiciliario y servicios municipales para dimensionar las medidas de las unidades de tratamiento.

Esta investigación presenta resultados de la caracterización de los residuos y desechos sólidos generados en los domicilios, mercado municipal y vías públicas del casco urbano de Momostenango, con el objetivo de proponer un diseño para una planta de tratamiento para el municipio.

La metodología empleada aplicó los lineamientos técnicos necesarios para la estructuración del proyecto, tales como: caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos y desechos sólidos, establecer las dimensiones de la planta de tratamiento, evaluar y seleccionar el sitio adecuado de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

Durante la investigación se muestrearon 178 domicilios del casco urbano, así como el mercado municipal y vías públicas; determinando una producción per-cápita de 0.42 kilogramos por habitante al día. Se determinó que el material orgánico ocupa una densidad de 169.93 kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), el material recuperable con una densidad de 70.73  $\text{kg/m}^3$ , seguido del material no recuperable con 92.38  $\text{kg/m}^3$  y el material inerte con una densidad de 223.66  $\text{kg/m}^3$ .

## II. Revisión de literatura

### 2.1. Información general del municipio de Momostenango, Totonicapán

#### 2.1.1. Antecedentes históricos

“Momostenango, es un pueblo de origen precolombino, en el Popol Vuh es mencionado con el nombre de Chui Tzaq que se traduce “frente a la fortaleza”. En la época colonial, fue conocido Momostenango como Santiago Momostenango, nombrado por los Tlascalas indicando que se refiere en la muralla cada día. (FUNCEDE, 1997, pág. 48)

#### 2.1.2. Localización

Según Ávila Flores (2007), “Momostenango se ubica en el altiplano occidental del País, a una distancia de siete kilómetros de la Cabecera Departamental de Totonicapán y a 208 kilómetros de la Ciudad Capital de Guatemala” (pág. 2)

#### 2.1.3. Extensión territorial

Momostenango pertenece a la llamada región VI Sur Occidente. Tiene una extensión territorial de 305 kilómetros cuadrados, es el Municipio que ocupa el segundo lugar en extensión territorial con el 29% del total de ocho municipios que integran el departamento de Totonicapán. (Ávila Flores, 2007, pág. 3)

#### 2.1.4. División política-administrativa

El municipio, según los censos X y XI poblacionales y V y VI de viviendas de los años 1994 y 2002, está organizado en: la cabecera Municipal (Villa), 12 aldeas, 148 caseríos y siete parajes, cinco fincas y la cabecera municipal se divide en cuatro barrios: Santa Ana, Santa Catarina, Patzite y Santa Isabel, los cuales conforman las cuatro zonas en que se divide el casco urbano. (Ávila Flores, 2007, pág. 5)

Según Ávila Flores (2007) “Los nombres de las aldeas son los siguientes: Los Cipreses, Tierra Colorada, Santa Ana, Tunayác, San Antonio Pasajoc, Chinimabé, Pitzal, Patulup, Xequemeyá, Tzanjon, Tierra Blanca, Xolajap, Nicajá, San Vicente Bueanabaj” (pág. 5)

**Tabla 1 Municipio de Momostenango. Centros poblados. Años: 1994, 2002, 2004 y 2018**

Centros poblados	Censos		Encuestas	Censo
	1994	2002	2004	2018
Villa	1	1	1	1
Aldeas	12	12	14	12
Caseríos	147	148	213	141
Parajes	8	7	5	5
Fincas		5	2	2
<b>Total</b>	<b>168</b>	<b>173</b>	<b>235</b>	<b>161</b>

**Fuente: Instituto Nacional de Estadística –INE-, actualizado 28/12/2018.**

### 2.1.5. Población

Como menciona Ávila Flores (2007) “Los recursos humanos, se definen como la totalidad de una población que desempeña una doble función en el desarrollo económico. Como factor de la producción combinada con los demás factores productivos y como consumidor en busca de la máxima satisfacción de sus necesidades y deseos” (pág. 15)

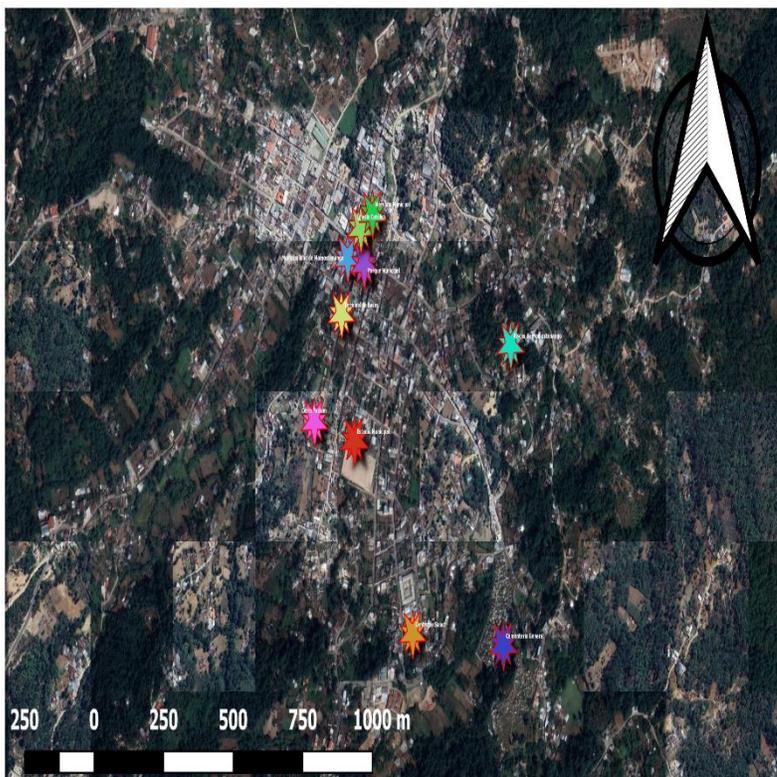
### 2.1.6. Número de habitantes en el municipio

El Instituto Nacional de Estadística Guatemala (2018) proyecta una población total de 142,191 comprendido en habitantes del área rural como urbana del año 2022.

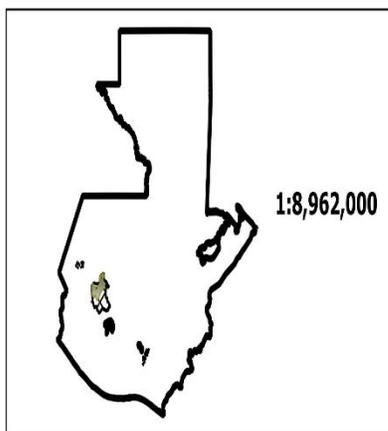
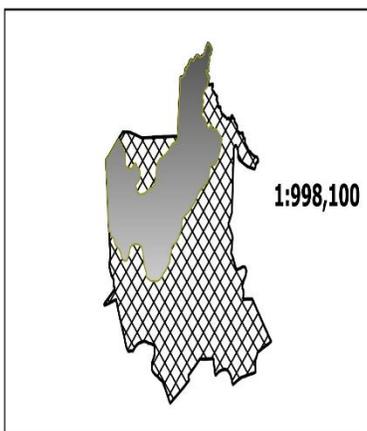
Figura 1



MAPA DE LUGARES DE INTERÉS DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, TOTONICAPÁN



SISTEMA DE REFERENCIA DE COORDENADAS PROYECTADAS  
GTM  
PROGRAMA QGIS  
AUTOR: RÉGILARGUETA  
UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



Leyenda

-  Guatemala
-  Momostenango
-  Tonicapán

Fuente: Programa QGIS

### **2.1.7. Suelo**

Se puede definir el recurso suelo, como la capa de materiales orgánicos y minerales que cubre la corteza terrestre, donde las plantas desarrollan sus raíces y toman los alimentos que son necesarios para su nutrición. Los procesos físicos químicos y biológicos que intervienen en la formación de los suelos están gobernados por factores del medio ambiente como el clima y la vegetación. (FAO, s.f.)

“De acuerdo a la tabla de cobertura vegetal y usos de la tierra del MAGA el municipio de Momostenango se encuentra de la siguiente manera: infraestructura 0.34%, agricultura 18.67%, arbustos-matorrales 28.78% y bosques naturales 25.18%.” (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación , 2003, pág. 146)

De acuerdo a la clasificación elaborada por Simmons, los suelos que se localizan el municipio son de las series Quiché, Sinaché, Totonicapán, Camanchá erosionado y Camanchá. Predomina en el territorio, la asociación de bosques mixtos y cultivos; coníferas y cultivos, y; algunas partes del área no cuentan con cobertura forestal o son bosque mixto. (Sistema Nacional de Planificación, 2010, pág. 42)

El municipio cuenta únicamente con dos clases de suelos, clase IV suelos que pueden ser utilizados para fines agrícolas y la clase VII suelos principalmente para la producción y protección de bosques, esta clase abarca el 99% del territorio del municipio. (Sistema Nacional de Planificación, 2010, pág. 42)

Actualmente, se vienen degradando los suelos, ocasionado por el cambio de uso para la agricultura y la urbanización como residenciales, etc. Hay prácticas inadecuadas con la utilización de abonos químicos que han contaminado la superficie y cuerpos de agua ubicados en el manto frático. (Sistema Nacional de Planificación, 2010, pág. 42)

### **2.1.8. Clima**

Se clasifica como cálido y templado, con temperatura media anual de 15.0°C en Momostenango, precipitaciones promedio 935 mm. La menor lluvia ocurre en el mes de diciembre con promedio de 1 mm. En junio, la precipitación alcanza su pico, con

un promedio de 187 mm, las temperaturas son más altas en promedio en mayo, alrededor de 16.9°C. a 12.6°C en promedio, enero es el mes más frío del año. La variación en la precipitación entre los meses más secos y más húmedos es 186 mm, la variación en la temperatura anual está alrededor de 4.3°C. (SEGEPLAN , 2020, pág. 18)

## **2.2. Residuos y desechos**

Los residuos y desechos sólidos son conocidos comúnmente como “basura” y representan una amenaza por su producción excesiva e incontrolada, ya que, contribuyen a la contaminación de las aguas, la tierra, el aire y también afectan el paisaje.

El término desecho es comúnmente utilizado como sinónimo de la palabra residuo, estos no poseen el mismo significado. Los residuos por su parte, son aquellos restos que no poseen ningún valor económico para su dueño, pero si tienen un valor comercial, ya se les puede otorgar un nuevo ciclo de vida, mediante la recuperación o reciclaje. (Venemedia, 2016)

### **2.2.1. Residuos sólidos**

“Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, pero que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje”. (IARN-URL, 2012, pág. 179)

Es el material o la sustancia orgánica, inorgánica, sólida, líquida, gaseosa, mezcla o combinación de ellas, resultante de actividad industrial, científica o tecnológica, que carece de interés económico y debe ser alternativamente objeto de confinamiento o disposición final. (Fraume Restrepo, 2006, pág. 388)

Material producido por actividades humanas, descartado por el que lo genera, pero que sí posee valor intrínseco o extrínseco, por lo que su destino debe ser el aprovechamiento. (MARN, 2018, art. 3)

### **2.2.2. Desechos sólidos**

“Comprenden los desperdicios que provienen de casas habitación, sitios de servicios privados y públicos, demoliciones, construcciones y de establecimientos comerciales y de servicios” (Eustat, pág. 2)

### **2.3. Clasificación de desechos sólidos**

Los desechos sólidos se clasifican de acuerdo a sus características, según su origen en la producción, por el tipo y constitución, por el tiempo que sus materiales tardan en descomponerse o degradarse. (Say Chamán, 2007, pág. 9)

#### **2.3.1. Clasificación de acuerdo a sus características**

Es todo desechos de origen biológico, alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y sobras de animales, etc. (Say Chamán, 2007, pág. 9)

##### **2.3.1.1. Desechos inorgánicos**

Es todo desecho de origen no biológico, es decir, de origen industrial o algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc. (Say Chamán, 2007, pág. 9)

##### **2.3.1.2. Desechos biodegradables**

Se descomponen en forma natural en un tiempo relativamente corto. Por ejemplo: los desechos orgánicos como las verduras y frutas, tardan poco tiempo en descomponerse. (Say Chamán, 2007, pág. 9)

##### **2.3.1.3. Desechos no biodegradables**

No se descomponen fácilmente, sino que tardan mucho tiempo en hacerlo. Por ejemplo: el vidrio tarda unos 4.000 años, el plástico tarde de 100 a 1.000 años, una lata de refresco tarda unos 10 años y un chicle unos cinco años. (Say Chamán, 2007, pág. 9)

## **2.3.2. Clasificación de acuerdo a su origen**

### **2.3.2.1. Residuos peligrosos**

“Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agente biológico-infecciosos) que les confiere peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio”. (DOF, 2006, pág. 345)

### **2.3.2.2. Residuos sólidos urbanos**

Se generan en los domicilios que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en las actividades domésticas, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques. (DOF, 2006, pág. 345)

### **2.3.2.3. Residuos de manejo especial**

“Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”. (DOF, 2006, pág. 345)

Los residuos de manejo especial forman parte de los desafíos que aborda la gestión integral de residuos sólidos, cuya visión se describe en el siguiente apartado.

## **2.4. Gestión integral de residuos sólidos (GIRS)**

Según CARE Internacional-Avina (2012), la gestión de los residuos sólidos se constituye en una estrategia que en el contexto del desarrollo local moviliza a todos los actores en torno al logro de objetivos comunes, relacionados con el fortalecimiento de la capacidad de gestión, ya sea comunitaria o municipal. (pág. 13)

“La gestión integral responde a la problemática de los residuos mediante soluciones viables y sostenibles, así como la apropiada tecnología, participación de

comunidades en el manejo de residuos y cuidado responsable.” (CARE Internacional-Avina, 2012, pág. 13)

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) depende de los indicadores ambientales municipales para evaluar su impacto y eficacia en el contexto local.

## **2.5. Indicadores ambientales municipales**

Los indicadores ambientales corresponden a aquellos que se ocupan de describir y mostrar los estados y las principales dinámicas ambientales, es decir el estatus y la tendencia por ejemplo de: la biota y biodiversidad, la cantidad y calidad de agua, la calidad del aire respirable, la carga contaminante y renovabilidad de la oferta energética, la disponibilidad y extracción de algunos recursos naturales, la contaminación ambiental, etc. (Quiroga Martínez, 2009, pág. 22)

### **2.5.1. Generación de desechos sólidos per cápita (PPC)**

El PPC se entiende como la producción de residuos generados por persona en el lapso de un día. Para obtener este dato, se requiere el registro de la muestra diaria de cada vivienda del día dos al octavo, recapitulando que el primer día no se contempla para efectos de tabulación de datos. (MARN, 2018, pág. 15)

Este indicador dispone de una medida unitaria de la generación de basura para una localidad determinada siendo comparable y a la vez, específica de una ciudad, de una región, de un barrio o de una zona urbana o de un estrato representativo de ingreso. Puede multiplicarse por la población para obtener la producción diaria, mensual o anual de desechos sólidos de un área en específico. (MARN, 2005)

MARN (2005) indica la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{PESO\ TOTAL\ DE\ LAS\ MUESTRAS\ (LIBRAS\ O\ KILOS)}{NÚMERO\ TOTAL\ DE\ PERSONAS\ DE\ LA\ MUESTRA}$$

### **2.5.2. Prueba de densidad o peso volumétrico kilogramos/ metros cúbicos (kg/m<sup>3</sup>)**

La densidad o peso volumétrico es el peso de los desechos generados contenido en una unidad de volumen. Este se emplea para calcular los servicios y vehículos

necesarios para la recolección de la basura. Se estima que el peso volumétrico de basura sin compactar oscila entre 125 y 250 kg/m<sup>3</sup>. La composición de la basura se refiere a la determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los desechos sólidos. (MARN, 2005)

MARN (2005) indica la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

### 2.5.3. Composición de los desechos sólidos

Se refiere a la determinación de las características cualitativas de los desechos sólidos. Estos datos tipifican el servicio por prestar, conjunto, métodos, turnos y horarios. La metodología consiste en la clasificación del total de los desechos sólidos generados diariamente. (MARN, 2005)

MARN (2005) indica la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje por día} = \frac{\text{peso de cada residuo clasificado}}{\text{peso total de la muestra de cuarteo}} \times 100$$

### 2.5.4. Cobertura de recolección de desechos sólidos

Es un indicador que mide porcentualmente la relación entre la cantidad de población con servicios de recolección de basura y la población urbana total. El indicador se considera relevante porque registra el grado en que una población está recolectando la basura producida para darle un tratamiento sanitario, considerando que otras formas de disposición son inadecuadas. Tiene relación con el indicador de generación de desechos sólidos per cápita, ya que al combinarse es posible obtener los datos de generación de desechos sólidos, con recolección y son los de la población bajo estudio. (MARN, 2005)

MARN (2005) indica la siguiente ecuación:

$$Cr = (V_{ser} * H_{pro}) / Thu * 100$$

Donde

Cr= cobertura

Vser= viviendas con servicio

Hpro= promedio de habitante/familia

Thu= total de habitantes

### **2.5.5. Dispersión y/o concentración de la disposición final de los desechos sólidos**

Cuantifica, en porcentaje, la superficie de terreno urbano utilizado para basurero no autorizado y basurero municipal en relación con la superficie de terreno urbano de la localidad municipal de que se trate. Se pretende medir la dispersión en el sentido negativo de la disposición final de desechos sólidos con relación al área urbana del poblado generador. Una relación histórica de este indicador muestra la tendencia en el manejo de los desechos en cada poblado o municipalidad. (MARN, 2005)

MARN (2005) indica la siguiente ecuación:

$$Dbas = \left( \frac{Hbas}{Hurb} \right) * 100$$

Donde:

Hbas= área de botaderos

Hurb= área total del municipio

## **2.6. Infraestructura para el tratamiento de residuos y desechos sólidos**

Son instalaciones y sistemas diseñados para gestionar adecuadamente la recolección, procesamiento, disposición y aprovechamiento de los residuos generados por la sociedad. Esta infraestructura es clave para reducir el impacto ambiental, promover la sostenibilidad y mejorar la calidad de vida.

### **2.6.1. Planta de tratamiento de residuos sólidos**

Las plantas de tratamiento de residuos sólidos, también llamadas plantas de selección, se encargan de llevar a cabo el proceso de separación y clasificación de residuos para su reciclaje. El proceso consiste en separar los restos no aprovechables de los residuos que aún pueden tener una segunda vida tras el correspondiente proceso de reciclado. (SOTECMA, 2015)

La planta de tratamiento de residuos sólidos se basa en las fases del tratamiento para operar de manera efectiva. Para el funcionamiento integral la planta depende de la correcta implementación de cada fase para cumplir su propósito.

### **2.6.2. Fases de una planta de tratamiento**

El Acuerdo Gubernativo 164-2021 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2021) describe las siguientes fases:

- **Recolección y transporte**

La recolección de los residuos y desechos sólidos comunes generados en las áreas públicas y privadas, debe efectuarse como máximo a cada setenta y dos horas.

- **Clasificación, separación y almacenamiento**

Proceso de separación de los materiales que llegan al centro de acopio o estación de transferencia deben ser inicialmente clasificados de los demás residuos según su composición física.

- **Recuperación y reciclaje**

Recuperación de materiales a partir de residuos sólidos comunes con el objetivo que sean sometidos a reciclaje.

- **Tratamiento de los desechos sólidos comunes**

Deben emplearse tecnologías en función de la naturaleza de los desechos a ser dispuestos y los objetivos de gestión establecidos.

- **Disposición final de desechos sólidos comunes**

La disposición final de los desechos sólidos comunes y los productos de su tratamiento debe realizarse por medio del sistema de relleno sanitario

### **2.6.3. Diseño y tipos de plantas de tratamiento de residuos sólidos**

El diseño e implementación de los diferentes tipos de plantas dependerá de los resultados de los distintos diagnósticos, entre las cuales están: planta de recuperación y planta de recuperación y tratamiento. (Ortega Landeo & Torres Romero, 2016, pág. 43)

- **Planta de recuperación:** Obtener la separación de componentes reciclables (papel, vidrio, aluminio y plástico), de los residuos y luego enviar residuos peligrosos domiciliarios (patogénicos, latas de pintura, pilas, solvente) y materia orgánica al relleno sanitario. También gestionar la comercialización de componentes reciclables. (Ortega Landeo & Torres Romero, 2016, pág. 44)
- **Planta de recuperación y tratamiento:** Se obtiene la separación de componentes reciclables (papel, vidrio, aluminio y plástico) peligrosos domiciliarios (patogénicos, latas, pilas, solventes) asimismo reciclar la

materia orgánica como lombricompost para fertilizante. También gestionar la comercialización de componentes reciclables y fertilizantes orgánicos y enviar residuos peligrosos domiciliarios a disposición final en adecuado relleno sanitario. (Ortega Landeo & Torres Romero, 2016, pág. 46)

#### **2.6.4. Orientaciones de planificación para las plantas de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos.**

Según SEGEPLAN (2019) “Deben considerarse los criterios establecidos en el marco de políticas públicas vigentes para priorizar la planificación, el diseño, la construcción y ubicación de las respectivas plantas de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos” (pág. 2)

Se debe tener en cuenta el tema de agua potable y saneamiento ambiental y conservación de los recursos naturales, planteados en las Prioridades Nacionales de Desarrollo vinculadas al Plan Nacional de Desarrollo K’atun, Nuestra Guatemala 2032 y la Agenda de Desarrollo 2030, los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como la Política General de Gobierno 2016-2020 y el marco de políticas públicas vinculadas. (SEGEPLAN , 2020) (pág. 2)

#### **2.6.5. Consideraciones para la ubicación de una planta de tratamiento de residuos sólidos**

De la cartografía temática disponible, se recomiendan los siguientes mapas;

- Áreas de recarga hídrica
- Capacidad de uso de la tierra
- Cuencas hidrográficas a escala 1:50,000
- Susceptibilidad a la erosión
- Zonas sísmicas
- Áreas protegidas
- Mapas de nivel

Esta lista no es definitiva, los criterios pueden ayudar a la toma de decisiones. (SEGEPLAN, 2019, pág. 8)

### 2.6.6. Consideraciones técnicas de una planta de tratamiento de desechos sólidos

El MIDES, será el responsable de verificar que los estudios de pre-inversión de plantas de tratamiento de desechos sólidos cumplan con la normativa legal y técnica para plantas de tratamiento de desechos sólidos que aplique. Es de gran importancia que en los estudios de pre-inversión incluyan la educación y sensibilización continua a la población beneficiada, ya que ésta es la base fundamental de la implementación y sostenibilidad, al lograr que los diferentes sectores, actores y sociedad se apropien e identifiquen con la necesidad de formar parte de una adecuada gestión integrada de los residuos y desechos sólidos. (SEGEPLAN, 2019, pág. 11)

- **Diagnóstico preliminar:** conocer los hábitos de consumo, las características geográficas, económicas, sociales y culturales de la población.
- **Factor físico y ambiental:** considerar los impactos al ambiente y a la salud de las personas generados por las actuales prácticas de manejo de los residuos y desechos sólidos. El impacto del manejo actual de los residuos y desechos sólidos considerando la calidad e impacto por el vertido de residuos y desechos al suelo, lagos y ríos.
- **Factor social cultural:** las acciones deben ser socializadas y validadas por la población, es indispensable considerar un proceso de información, socialización, capacitación práctica dentro de la solución planteada.
- **Factor económico financiero:** garantizar la sostenibilidad económica y financiera del proyecto, reflejar los gastos, tratamiento y disposición de los residuos y desechos sólidos, determinar los ingresos en materia de recolección y disposición final.

- **Factor técnico:** considerar soluciones que cuenten con tecnologías factibles y apropiadas de la localidad que sean culturalmente aceptadas. (SEGEPLAN, 2019, págs. 11-12)

Considerando los factores técnicos del diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos, el relleno sanitario es una técnica de disposición final en la que se entierran los desechos sólidos de manera controlada en el suelo, con medidas de ingeniería diseñadas para minimizar su impacto ambiental.

### **2.6.7. Relleno sanitario**

El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura más conocida y popular por ser eficiente, barato y de menores costos en inversiones que hay. Se tiene que contar con propiedades de terrenos grandes y lejos de la ciudad debido a los fuertes olores y problemas de gases que se generan por el entierro de la basura. (Vásquez, 1994, pág. 2)

Según Ullca (2006) Un relleno sanitario 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)

En la siguiente se describen las etapas, impactos y las medidas de mitigación utilizadas en los rellenos sanitarios.

**Tabla 2 Impactos específicos y medidas de mitigación en rellenos sanitarios**

Etapa	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
<b>1. Implantación</b>				
Elección del sitio	Contaminación ambiental.  Impactos a la estética.	Alteración en áreas de interés ecológico.	Empleo de segregadores y riesgos a la salud pública y de los trabajadores.	<p>Realizar un estudio de alternativas para la selección del sitio en base a la dirección del viento, permeabilidad del suelo, distancias de manantiales hídricos y otros criterios de ingeniería.</p> <p>Incluir en el diseño el tratamiento de los lixiviados.</p> <p>Evitar rellenos en áreas inestables, con pendientes, suelos saturados, bordes de los ríos, lagos.</p> <p>Seleccionar la alternativa que tenga el menor impacto a la flora y fauna, especialmente que no implique impactos irreversibles a la flora nativa o a especies en extinción.</p> <p>Implementar un plan de seguridad ocupacional y dotar a los trabajadores de equipos de protección individual.</p> <p>Adecuar rutas de acceso.</p>

ETAPA	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
Relevamientos topográficos	No significativo	Impacto en la flora y fauna	Atracción de trabajadores de otras regiones con distintos patrones culturales que pueden interferir negativamente en los hábitos y la dinámica de las poblaciones.	<p>En lo posible se debe preservar árboles y suprimir al mínimo la vegetación. Los árboles son un bioindicador de contaminación de acuíferos y pueden contribuir para indicar problemas de contaminación en localidades en donde es difícil el acceso a equipos de análisis fisicoquímicos.</p> <p>Implementar programas de educación ambiental para los trabajadores y aclaración sobre normas de conducta que sean socialmente aceptables por las comunidades cercanas al relleno.</p>

Etapa	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
Sondeos	No significativo	Desequilibrio de ecosistemas e impactos moderados en la fauna	Impactos sobre cada vivienda del sector	<p>Entrenamiento del personal.</p> <p>Efectuar negociación con la comunidad y preparación de un plan de mitigación ambiental para los grupos afectados.</p>
Remoción de vegetación y preparación preliminar del sitio	Pérdida del suelo, erosión que resulta del desmonte no controlado y mayor sedimentación de los ríos.	Pérdidas de vegetación y animales silvestres en el área ocupada.	Accidentes laborales	<p>Elaborar un plan de manejo para evitar la erosión de los suelos, producida al suprimir la vegetación.</p> <p>Los botaderos deben situarse en sitios adecuados para evitar la excesiva sedimentación de los ríos, impactos a las nacientes de los ríos.</p> <p>Elaborar un plan de remoción de vegetación.</p> <p>Efectuar el trasplante de especies consideradas importantes.</p> <p>Suprimir solamente la vegetación necesaria y preservar los nidos de animales y ecosistemas locales.</p> <p>Elaborar plan de seguridad ocupacional para los trabajadores.</p>

Etapa	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
Preparación del terreno	Contaminación de acuíferos.			Preparación del terreno para evitar infiltraciones y contaminación de los acuíferos y de las aguas superficiales, usando membranas geotextiles o geomembranas o arcillas impermeables.
Terraplanaje o accesos	Inestabilidad de las capas del suelo.	Los accesos y tráfico de vehículos pueden impactar sobre la flora e impedir el movimiento de la fauna, producir atropellamiento de animales, generar polvo y ruido.	Accidentes de trabajo.	<p>Realizar estudios de mecánica de suelos y de análisis de estabilidad.</p> <p>Prever vías de acceso que no interfieran en los ecosistemas existentes, señalización de áreas de circulación de animales.</p> <p>Implementar campañas de educación ambiental.</p> <p>Elaborar normas de seguridad de trabajo, con las indicaciones respectivas sobre el uso de equipo individual de protección.</p> <p>Implementar un plan de concientización de la comunidad y de los trabajadores.</p>
Nivelación y compactación	Generación de procesos erosivos y polvos.		Generación de ruidos.	<p>Tomar medidas para la conservación y mantenimiento de los equipos.</p> <p>Reducir el horario de trabajo a los períodos diurnos.</p>

Etapas	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
Drenaje y cercas	Emisión de gases generados por la descomposición de desechos.		Invasión de áreas por segregadores.	Utilizar el biogás como combustible o efectuar la quema del gas en las salidas construidas para ese propósito.
<b>2. Compactación</b>				
Descarga y compactación.	Generación de polvos.	Generación de vectores.	<p>Problemas de salud por contacto con basura de descarga clandestina en áreas abiertas y al lado de los caminos.</p> <p>El polvo es un irritante ocular que puede portar microorganismos patógenos al ser inhalados por las personas.</p>	<p>La selección del sitio es importante para minimizar este tipo de impactos.</p> <p>Controlar el esparcimiento de la basura por acción del viento y de la contaminación del aire mediante el diseño y operación adecuada para el control de quemas y humo, olores y polvo por contención, recolección y descarga al aire libre.</p> <p>Establecer un plan de vacunación de trabajadores y personas en contacto con la basura.</p> <p>Establecer medidas de protección individual; educación y limitar el acceso al relleno, control y fiscalización periódica del ambiente.</p>

Etapas	Impactos			Medidas mitigadoras
	Ambiente físico	Ambiente biológico	Ambiente antrópico	
Recubrimiento y paisajismo	Desfiguración del paisaje por el destroce de vegetación y excavaciones.			Establecer un plan de arborización/ cubierta vegetal de la zona.
<b>3. Mantenimiento y cierre</b>				
Drenajes líquidos y de gases.	Deterioro de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.  Contaminación del acuífero.	La descomposición de los desechos produce gas metano, potencialmente explosivo y gases orgánicos potencialmente tóxicos.		Efectuar monitoreo y medidas para el drenaje de gases.
Capa de recubrimiento y vegetación	Aspectos paisajísticos.			Retirar material de área autorizada.  Reintegrar al relleno estética y funcionalidad.

**Fuente: Con base a Ullca, 2,006, pág. 5-7**

### **2.6.8. Compostaje**

Menciona FAO (2013) “El compostaje es la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes”. (pág. 22)

Es importante mencionar que el proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad.

### **2.6.9. Fase mesófila**

En esta fase el material de partida aumenta su temperatura hasta los 45°C. Este aumento se debe a la actividad microbiana pues los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. Esta fase dura entre dos y ocho días. (FAO, 2013, pág. 23)

### **2.6.10. Fase termófila o de higienización**

Las temperaturas oscilan arriba de los 45°C transforman el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. Esta fase también se le llama fases de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Dura este proceso entre unos veinte días hasta tres meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores ambientales. (FAO, 2013, pág. 23)

### **2.6.11. Fase de enfriamiento o mesófila II.**

En esta fase la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. En esta etapa se requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (FAO, 2013, pág. 24)

### **2.6.12. Fase de maduración**

Según FAO (2013) “Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos”. (pág. 24)

## **2.7. Plan municipal para la gestión integral**

Según MARN (2021) “La gestión integral de residuos y desechos sólidos se basa en un instrumento de estudio de caracterización de los residuos y desechos sólidos en concordancia con el código municipal y las especificaciones técnicas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales” (pág. 2)

Es un instrumento de planificación que establece los objetivos propuestos a mediano y largo plazo, junto con las estrategias generales propuestas para alcanzarlos, involucrando aspectos técnicos, económicos, administrativos, sociales, educativos y legales; asimismo, podrá incluir las políticas básicas para el establecimiento, la ampliación o la optimización de la prestación de los servicios municipales relativos a la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comunes. (MARN, pág. 2)

## **2.8. Gestión integral de residuos y desechos sólidos**

Menciona CCAC & MARN (2021) “es el conjunto de acciones dirigidas al manejo sostenible de los residuos y desechos, desde su fase de generación hasta la disposición final” (pág.11)

También motiva la búsqueda de soluciones que tomen en cuenta aspectos técnicos, ambientales y financieros, así como sociales, promoviendo la recuperación del valor económico de los residuos sólidos. (CCAC & MARN, 2021, pág. 11)

## **2.9. Legislación ambiental de residuos y desechos sólidos**

- **Constitución Política de la República de Guatemala**

Es el documento fundamental que establece la estructura del Estado guatemalteco, define los derechos y deberes de los ciudadanos, y regula los poderes públicos. Fue promulgada el 31 de mayo de 1985 y ha sufrido diversas reformas desde entonces.

**Artículo 97. MEDIO AMBIENTE Y EQUILIBRIO ECOLÓGICO.** El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y el agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

- **Decreto Número 12-2002**

Este decreto es una legislación crucial que regula la organización, competencias y funciones de los municipios en el país. Es fundamental porque establece las normas y principios bajo los cuales se deben administrar los gobiernos locales en Guatemala.

**Art. 68. COMPETENCIAS PROPIAS DEL MUNICIPIO.**

- a) Abastecimiento domiciliar de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato.
- b) Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.

- **Código de Salud (Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala)**

Es una legislación importante que regula las normativas sanitarias y de salud pública en el país. Fue promulgada el 26 de septiembre de 1997 y tiene como objetivo principal establecer las bases legales para la protección y promoción de la salud de los guatemaltecos, así como regular las actividades relacionadas con la prestación de servicios de salud.

**Art. 65. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES.** El Ministerio de Salud, en coordinación con las demás instituciones del sector que desarrollen acciones en esta área, administrará programas que promuevan la participación comunitaria para la protección del medio ambiente y la eliminación de reservorios que faciliten la proliferación de vectores que participan en la transmisión de estas enfermedades.

**Art. 72. PROGRAMAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE RIESGOS AMBIENTALES:** El Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, las Municipalidades y la comunidad organizada con todas las instancias apropiadas, sean públicas o privadas, promoverán el desarrollo de programas de cuidado personal y de reducción de riesgos a la salud vinculados con desequilibrios ambientales, y ocasionados por contaminantes químicos, físicos o biológicos.

- **Acuerdo Gubernativo Número 281-2015, Política nacional para la gestión Integral de residuos y desechos Sólidos.**

Es un marco normativo y estratégico que busca promover prácticas sostenibles y eficientes en la gestión de los desechos en todo el país. Esta política es fundamental debido al crecimiento poblacional y urbano, así como a los desafíos ambientales y de salud pública asociados con la gestión inadecuada de los residuos sólidos.

## CAPITULO V

a) Programa de Inversión.

Construcción de infraestructura

Acciones principales de esta línea de política son:

- Implementación de los instrumentos ambientales orientados para la construcción de infraestructura.
- Fomentar la creación de normativas y estándares para el diseño y construcción de infraestructura adecuada para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos.
- Desarrollo de sistemas de monitoreo y seguimiento para el funcionamiento de la infraestructura.
- **Acuerdo Ministerial 7-2019 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guía para elaborar estudios de caracterización de residuos y sólidos comunes.**

Objetivo: Establecer los criterios en la realización de estudios de caracterización de residuos sólidos comunes para establecer la generación per cápita y la composición de la generación en los municipios que permitan ser fundamento en la toma de decisiones para la mejora de la gestión integral de residuos y desechos sólidos.

- **Acuerdo Gubernativo 164-2021.**

Este acuerdo es un normativo que aborda temas ambientales específicos en el país. Fue emitido el 24 de septiembre de 2021 y establece disposiciones importantes relacionadas con la protección ambiental y la gestión de recursos naturales en Guatemala.

**Art. 4. PLANES MUNICIPALES PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará con las Municipalidades, la elaboración de los planes relativos a la gestión integral de residuos y desechos sólidos y así evitar el deterioro ambiental,

con el fin de prevenir o mitigar impactos relacionados a los sistemas ambientales hídrico, edáfico, biótico, atmosférico y visual; regulados en la ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

### **III. Objetivos**

#### **3.1. General**

- Diseñar una planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos municipales para el casco urbano del municipio de Momostenango, Totonicapán.

#### **3.2. Específicos**

- Caracterizar los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano.
- Determinar las fases de tratamiento, para los residuos y desechos sólidos generados.
- Evaluar y seleccionar el sitio adecuado para la planta de tratamiento en el municipio.

#### IV. Materiales y métodos

##### 4.1. Materiales y Presupuesto

**Tabla 3 Materiales y presupuesto**

Material	Cantidad	Costo unitario	Financiamiento	Total
Recurso humano	21 días	Q 90.16	Epesista	Q 1,893.36
Galones diésel (Vehículo utilizado para recoger las muestras)	5.92 galones	Q 33.80	Municipalidad de Momostenango	Q 200.00
Guantes de tela	5 pares	Q 25.00		Q 125.00
Botas	1 par	Q 85.00		Q 85.00
Caja de cartón	22 unidades	Q 3.00		Q 66.00
Balanza romana	1	Q 300.00		Epesista
Computadora portátil	1	Q 1,000.00		Q 1,000.00
Calculadora científica	1	Q 120.00	Municipalidad de Momostenango	Q 120.00
GPS	1	Q 300.00		Q 300.00
Lapicero	1	Q 2.25	Epesista	Q 2.25
Lápiz	1	Q 1.25		Q 1.25
Libreta de campo	1	Q 7.00		Q 7.00
Resma de hojas	1	Q 65.00	Municipalidad de Momostenango	Q 65.00
Bolsas para basura (40 cm., de largo por 40 cm., de ancho)	600	Q 1.00		Q 600.00
Sticker	176	Q 0.25		Q 44.00
Cinta métrica (50 mts)	1	Q 50.00		Q 50.00
Jabón dispensador	1	Q 15.00		Q 15.00
Mascarilla desechable	50 unidades	Q 0.50		Q 25.00

Material	Cantidad	Costo unitario	Financiamiento	Total
Balanza electrónica	1	Q 350.00		Q 350.00
<b>TOTAL</b>				Q 5248.86

***Fuente: cotizaciones realizadas en el municipio de Momostenango, Totonicapán, 2022.***

## **4.2. Metodología**

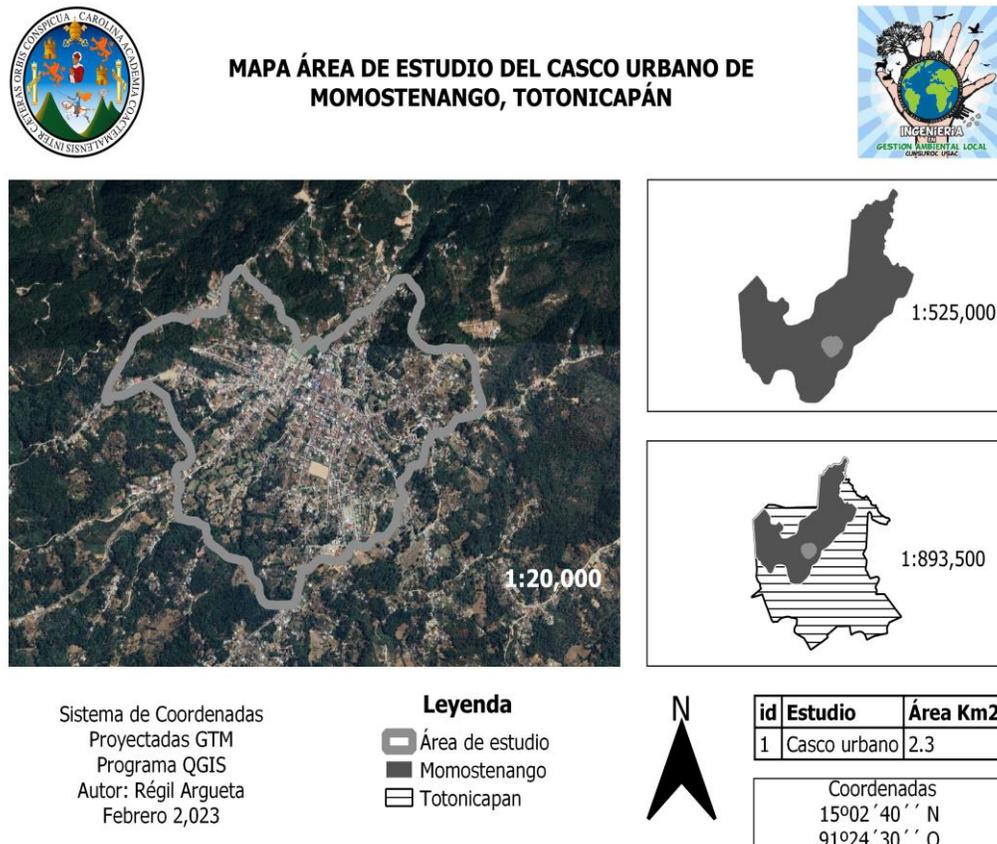
En la elaboración del diseño de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos municipales, se implementaron técnicas metodológicas, mismas que se encuentran descritas a continuación.

### **4.2.1. Población objetivo**

La investigación se realizó, teniendo un asentamiento para el año 2,022 de 16,575 habitantes mediante proyecciones, según el Instituto Nacional de Estadística (2018).

La delimitación del casco urbano se realizó mediante ortofotos del municipio de Momostenango apoyándose del sistema de información geográfica libre y de código abierto QGIS, dicho mapa contiene tres vistas; casco urbano, municipio y departamento, a continuación se presenta:

Figura 2



**Fuente:** ortofotos del programa QGIS

#### 4.2.2. Caracterización de los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano.

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

##### A. Cálculo de la muestra.

Se realizó un recorrido previamente delimitado para determinar la totalidad de viviendas, ya que se carecía de dicha información.

La ecuación utilizada para el cálculo de la muestra fue la del muestreo simple aleatorio (Aguilar Barrojas, 2005, pág. 4)

$$n = \frac{1852 * 1.96^2 * 0.50 * 0.50}{0.07^2(1852 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 178$$

Donde:

N= número total de viviendas en el casco urbano (1852 contabilizadas durante recorrido por el casco urbano)

Z= Confiabilidad estadística (96%=1.96)

e= error máximo admisible (0.07)

p= probabilidad de éxito (0.50)

q= probabilidad de fracaso (0.50)

### **B. Selección de la muestra**

Para el cálculo de la muestra se utilizó el método conocido como la regla de Sturges (USAC & Facultad de Ingeniería, 2011, pág. 06)

Regla de Sturges: Para el cálculo de la muestra se utilizó la siguiente fórmula.

$$k = 1 + 3.3 \log n$$

$$k = 1 + 3.33 \log 100 \quad k = 7.66 \quad k = 8$$

Donde:

1= constante

3.3= constante

n= número de muestra (viviendas)

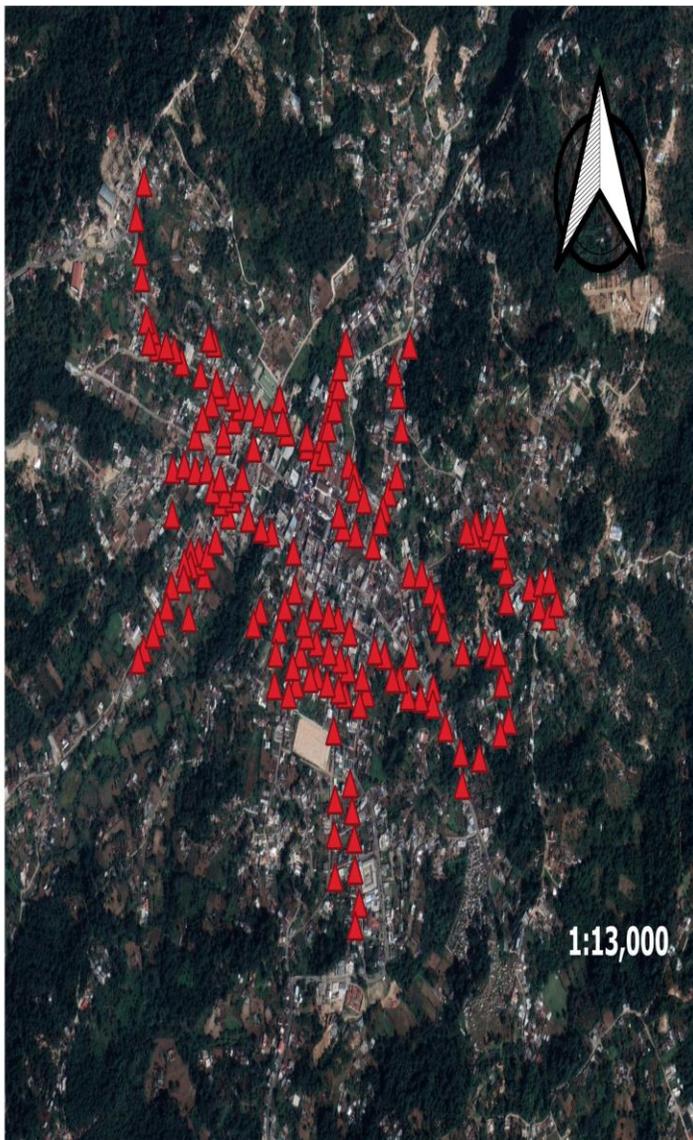
k= intervalos entre las viviendas muestreadas

La correcta aplicación de la fórmula indica que a cada ocho viviendas se identificó una para el muestreo. Mencionar que algunas viviendas al momento del muestreo no se encontraban habitadas o no participaban en la actividad, se procedió a muestrear la siguiente casa.

Figura 3

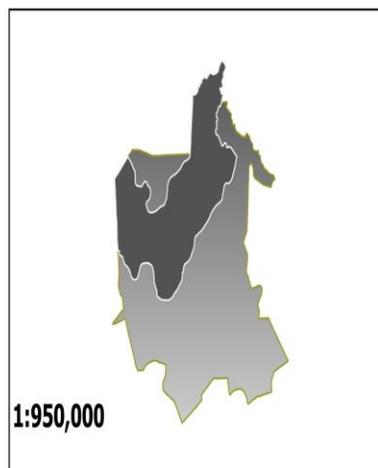


### MAPA DE UBICACIÓN DE VIVIENDAS, MUESTREADAS DEL CASCO URBANO DE MOMOSTENANGO, TOTONICAPÁN



#### Leyenda

- Momostenango
- Tonicapán
- ▲ 178 viviendas muestreadas



Sistemas de Coordinandas  
Proyectadas WGS84/GTM  
Autor: Régil Argueta  
Fecha: diciembre, 2022

Fuente: Programa QGIS

### **C. Toma de la muestra domiciliar**

Las actividades realizadas se describen a continuación:

- Previamente se socializó el plan metodológico con los técnicos de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM), trabajadores de servicios públicos, autoridades municipales, tren de aseo y comité de servidores públicos. Estas instituciones tuvieron incidencia en el estudio de la caracterización de los desechos sólidos.
- El muestreo se realizó en la semana del 11 al 18 de julio. Por lo tanto, la población objetivo depositó sus desechos desde el día uno del muestreo.
- El muestreo inició el 11 de julio repartiendo bolsas plásticas para basura de 40 cm de ancho \* 40 cm de largo, a cada vivienda participante.
- Durante la entrega de las bolsas para basura se pasaron boletas de encuesta para conocer el manejo de los desechos y los habitantes de la población objetivo.
- Se colocaron stickers en las viviendas para identificarlas durante la recolección de las muestras.
- Los desechos generados en las viviendas se recolectaron con personal de la UGAM, tren de aseo municipal y epesista el día jueves 14 de julio y el día lunes 18 de julio.
- Los desechos generados en las viviendas muestreadas se trasladaron y descargaron en el botadero del mercado municipal, en compañía del epesista para la supervisión de la recolección de las muestras.
- Seguidamente se realizaron los cálculos para determinar los indicadores ambientales de los desechos generados en las viviendas.

### **D. Toma de muestra en mercado y vías públicas**

- Durante la semana del 25 de julio al 31 de julio se realizó el pesaje de los desechos generados en el mercado municipal y del 08 de agosto al 14 de

agosto los desechos generados en la vía pública (incluye los desechos generados en el parque municipal pues no cuenta con recipientes para basura, por lo tanto, los trabajadores de servicios públicos acumulan los desechos con el barrido de las vías públicas)

- Los horarios para el pesaje de los desechos generados en el mercado y vías públicas son los siguientes:

**Tabla 4 Horarios para la toma de muestras en los servicios municipales**

<b>Estratos</b>	<b>Hora</b>	<b>Días</b>
Mercado municipal	14:00 p.m.	Lunes a domingo
Vías públicas	14:00 p.m. y 15:00 p.m.	Lunes a domingo

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

- Los desechos generados en el mercado municipal y vías públicas del casco urbano fueron trasladados por personal de servicios públicos al basurero del mercado municipal.
- Seguidamente se determinaron los indicadores ambientales de los residuos y desechos sólidos de los servicios municipales.

#### **E. Determinación de los indicadores ambientales**

Con los datos obtenidos anteriormente se procedió al cálculo de los indicadores ambientales de la siguiente manera:

- **Producción per cápita del casco urbano de Momostenango.**

Se determinó la producción per cápita de los estratos: domiciliar, mercado y vías públicas.

- En la obtención de la PPC domiciliar se registró el peso de la muestra durante una semana, seguidamente se dividió por el número total de habitantes de las viviendas muestreadas. Seguidamente, fue dividido el dato por los días muestreados.

- Para los servicios municipales fue similar el proceso, variando la población muestreada del casco urbano, pues corresponde a 16,575 habitantes según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (2,018).
- Una vez calculada la producción per cápita de las viviendas y servicios municipales (mercado y vías públicas), se sumaron los resultados anteriores obteniendo la PPC general.

La ecuación para el cálculo es la siguiente, según MARN (2005)

$$ppc = \frac{1 * \left(\frac{A}{B}\right) * P}{P}$$

Donde:

A= peso (kg) de los desechos generados durante una semana.

B= Número total de habitantes de la muestra

P= Población total del casco urbano

- **Composición física**

Para determinar la composición física de los desechos domiciliarios y servicios municipales, se realizó una clasificación manual de los residuos y desechos sólidos, de la siguiente manera:

- Desechos orgánicos: restos de comida, papel mojado, cáscaras de fruta, verdura y huevos, huesos, residuos del jardín, papel, cartón mojado.
- Desechos recuperables: PET, aluminio, madera, vidrio, metal.
- Desechos no recuperables: bolsas plásticas, vasos, platos y cubiertos desechables, baterías y bio-infecciosos.
- Inertes: tierra, piedras, arena.

Utilizando el peso total y el peso de cada clasificación se determinó los porcentajes usando la siguiente ecuación: (MARN, 2018, pág. 17)

$$\% = \frac{\text{kg desechos según clasificación (orgánicos, reciclables y no reciclables)} * 100}{\text{peso total generado (kgs)}}$$

- **Densidad de los desechos sólidos**

Una vez clasificados los residuos y desechos sólidos, se procedió al cálculo de la densidad, para esto se utilizó una caja de cartón, en donde se depositaron los desechos.

El procedimiento fue el siguiente:

- Determinación de la densidad

Para el cálculo de la densidad se utilizó la siguiente ecuación MARN (2018, pág. 19)

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de los residuos dentro de la caja}}{\text{Volumen}}$$

#### **4.2.3. Diseño de las fases de tratamiento, para los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano de Momostenango, Totonicapán.**

Una vez determinadas las características cualitativas y cuantitativas de los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano, se procedió a realizar las proyecciones para los años de funcionamiento de la planta de tratamiento de desechos sólidos.

Según el Ministerio de Ambiente y Recurso Naturales (2021), en el acuerdo gubernativo 164-2021 “Reglamento para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos” acuerda que la vida útil para la disposición final debe de ser por lo menos, quince años.

Menciona Marroquín y Marroquín (2003) “En todo proyecto de ingeniería, se establece una vida útil del proyecto de 20 años” (pág. 16) por lo tanto la utilidad de este proyecto sera de veinte años.

### **A. Proyección de la población, residuos y desechos en peso (kg)**

Con base en los resultados obtenidos con anterioridad se realizaron las siguientes proyecciones:

Para calcular la proyección de la población, se realizaron los siguientes cálculos.

1. Se tomaron los índices de crecimiento de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística (INE) 2018.
2. Del año 2,022 al 2,029 se hizo proyecciones con un índice de crecimiento de 1.5%, seguidamente del año 2,030 al 2,039 con índice de crecimiento de 1.1% y, por último, se realizaron las proyecciones del año 2,040 al 2,042 con un índice de crecimiento de 0.8%.

Para calcular la producción diaria y anual de los desechos sólidos, se realizaron los siguientes cálculos.

1. Producción diaria (kg/hab/día)= producción per-cápita \* la cantidad de habitantes por año.
2. Producción anual (kg/hab/anual) = producción diaria \* 365 o 366 dependiendo del año.

### **B. Proyección anual de la producción de los residuos y desechos sólidos según clasificación (orgánico e inorgánico: recuperables y no recuperables)**

Se determinó la producción anual en peso de los desechos sólidos: orgánicos, inorgánicos recuperables e inorgánicos no recuperables.

Se efectuó de acuerdo al cálculo individual del porcentaje de clasificación de la totalidad de los desechos generados en el casco urbano, de la siguiente manera:

1. Producción anual por tipo de residuo y desecho: Cantidad total/año \* (% según la clasificación/100)

### **C. Proyección anual del volumen de residuos y desechos sólidos.**

Se determinó la producción anual del volumen de los desechos sólidos: orgánicos, inorgánicos recuperables e inorgánicos no recuperables.

Con base al cálculo de la densidad de los desechos sólidos orgánico e inorgánico, se realizó la siguiente proyección:

1. Volumen anual a generar ( $m^3$ ) del material orgánico: producción anual en kg/ densidad.
2. Volumen anual a generar ( $m^3$ ) del material Inorgánico recuperable: producción / densidad.
3. Volumen kg del material inorgánico no recuperable: producción anual en kg/densidad

### **D. Determinación de las fases de tratamiento**

Las fases se definieron en función de la composición de los residuos y desechos sólidos: orgánico, inorgánico recuperable e inorgánico no recuperable. Según MARN (2021):

Las fases de tratamiento comienzan desde la clasificación primaria: orgánico e inorgánico; seguidamente la clasificación secundaria: papel y cartón, vidrio, plástico, metal, multicapa y otros. (pág. 4-5)

Los desechos inorgánicos recuperables tendrá la fase de recuperación con el objetivo que éstos sean sometidos a reciclaje. (pág. 9)

Los desechos sólidos no recuperables tendrán disposición final después de haber sido clasificados y los productos de su tratamiento pues ya no tienen aprovechamiento, estos serán depositados en el relleno sanitario. (pág. 15)

CCAC & MARN (2021) detalla que el compostaje es una opción para tratar los residuos orgánicos, por lo cual para encontrar la mejor alternativa, es necesario encontrar un equilibrio técnico, económico, social y medioambiental entre los distintos recursos y factores con los que cuenta el municipio, tales como:

- La densidad de población
- La cantidad de actividades comerciales
- Los sistemas de recolección de residuos y tratamiento de residuos implementados
- La composición y la calidad de los residuos orgánicos
- Las condiciones climáticas
- El uso potencial de compost (pág. 25)

a) Distribución de áreas en la planta de tratamiento

Con base en lo anterior se generó un esquema con la distribución de las fases de tratamiento. (ver figura 19)

b) Esquema de distribución de las instalaciones

Se realizó el esquema con las áreas de la planta de tratamiento. (ver figura 19)

### **E. Cálculo de las dimensiones de las fases de tratamiento de residuos y desechos sólidos**

Las dimensiones de las cámaras de compostaje, relleno sanitario y patio de maduración, se calcularon con base en la densidad de los residuos y desechos sólidos.

Los aspectos de diseño por cada fase de tratamiento y disposición final se definieron de la siguiente manera:

#### **1. Relleno sanitario**

Se presentan las ecuaciones realizadas para el cálculo de las dimensiones del relleno sanitario.

a) Volumen total del relleno.

*V = sumatoria de la producción de volumen del material no recuperable durante los 20 años de vida útil.*

b) Área del relleno.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$A = \text{volumen total de los desechos no recuperables} / F(\text{constante})(10\text{m}^3/\text{m}^2)$$

Dónde:

A relleno = Área del relleno

v basura = Volumen total de los años de proyección

F = Constante (10m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) (Röben, 2,002, pág. 95)

## 2. Cámaras de compostaje

Las dimensiones de las cámaras de compostaje están asociadas a las necesidades que se tienen de poder compostar lo proyectado del material orgánico al año.

Utilizando una formula básica para obtener el área, siendo:

$$A = \text{largo de la cámara de compostaje} * \text{ancho de la cámara de compostaje}$$

Para la obtención del volumen de la cámara de compostaje fue utilizada, la siguiente formula:

$$V = \text{altura} * \text{área de la cámara de compostaje}$$

La altura estará en función de la capacidad y el manejo por parte del personal dentro de la planta de tratamiento.

Número de cámaras: se estimó mediante el último año de proyección del material orgánico correspondiente al volumen anual.

Proyección mensual en volumen del material orgánico: proyección anual mt<sup>3</sup>/12 meses

Cálculo del número de cámaras:

*cámaras de compostaje*

= *volumen mensual material orgánico/volumen cámara de compostaje*

\*el volumen mensual corresponde al último año de las proyecciones.

### 3. Patio de maduración

El compostaje es una solución a la demanda de materia orgánica y calidad ambiental, es por ello que con este proceso se reduce hasta un 40% el peso del material orgánico, por lo tanto, nos dice que existe un aprovechamiento del 60% para la producción de abonos. (Navia Cuetia , Zamanate Cordoba , Morales Velasco, Alonso Prado , & Albán López, 2013, pág. 167)

Para la proyección anual del aprovechamiento de abono se realizó la siguiente operación:

- a) Producción anual de compost (kg/hab/año)= producción total kgs orgánico año \* 60% rendimiento de la materia orgánica.
- b) Volumen anual a generar de compost (m<sup>3</sup>)= producción anual de compost / densidad material orgánico
- c) Volumen del patio de maduración (m<sup>3</sup>)= producción del último año de compost / densidad material orgánico
- d) Área del patio de maduración (m<sup>2</sup>)= Dimensionado de acuerdo a la producción de compost para el último año.

### 4. Almacén/Bodega

Las dimensiones del almacén serán calculadas con base a la densidad del material recuperable y la proyección mensual del último año (volumen).

- a) Producción mensual del último año de material recuperable= producción anual de material recuperable / 12 meses
- b) Volumen total del almacén= proyección mensual del último año del material recuperable kg/m<sup>3</sup>/densidad del material recuperable.

- c) Área del almacén/bodega= dimensionado con base al volumen total del almacén.

### 5. Laguna de estabilización de lixiviados

Marroquín y Marroquín (2003) menciona que la descomposición del material orgánico putrescible, en la época de invierno, por infiltración, podría producir lixiviados con cierto grado de contaminación por lo que, se considera el diseño de una laguna de estabilización de lixiviados (pág. 23)

Para establecer las dimensiones de la laguna se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Se estimó el caudal de lixiviados, el cual se infiltra a través del relleno sanitario o en el drenaje francés.
- b) Se determinó la temperatura ambiente en el mes más frío del año.
- c) Se calculó la carga de retención hidráulica, mediante la siguiente fórmula (Oskley, 1997 citado por Marroquín y Marroquín, 2003, pág. 28)

$$CSm = 357.4(1.085)^{T-20} kg/hab/día$$

Donde:

CSm= carga superficial máxima de Demando Bioquímica de Oxígeno (DBO)

T= temperatura media del aire en el mes más frío (°C)

- d) Se calculó el área requerida para la laguna de estabilización (Oskley, 1997 citado por Marroquín y Marroquín, 2003, pág. 28)

$$Af == \frac{10LaQ}{CSmx(FS)} \quad (m^2)$$

Donde:

Af= área de la laguna (m<sup>2</sup>)

La= concentración del afuente DBO (mg/l)

Q= caudal promedio (m<sup>3</sup>/día)

FS= factor de seguridad (0.8 a 0.9)

- e) Se definieron las dimensiones de la laguna. Oskley (1997) citado por Marroquín y Marroquín (2003) recomienda una relación de largo/ancho de 2/1 y una profundidad útil de 1.50 a 2.00 m (no incluye el metro estimado para acumulación de lodos), para mantener condiciones aerobicas en el primer metro de profundidad.
- f) A continuación, se presenta el cálculo del volumen de la laguna de estabilización: (Oskley, 1997, citado por Marroquín y Marroquín, 2003, pág. 28-29)

$$Vf = \left(\frac{P}{6}\right) * [(lxa) + (l - 2ip) + 4(l - iP)(a - iP)]$$

Donde:

Vf= volumen de la laguna (m<sup>3</sup>)

P= profundidad útil de la laguna (m)

l= largo superficial de la laguna

a= ancho superficial de la laguna

i= relación horizontal/vertical del talud interior (cifra 3, recomendado por el autor)

- g) A continuación, se presenta el cálculo de retención hidráulica, aplicando la siguiente fórmula (Oskley, 1997, citado por Marroquín y Marroquín, 2003, pág. 29)

$$Of = \frac{VF}{Q} \text{ (días)}$$

Donde:

Vf= volumen de la laguna (m<sup>3</sup>)

Q= caudal promedio (m<sup>3</sup>/día)

#### **4.2.4. Evaluación y selección de sitio de ubicación de la planta de tratamiento de desechos sólidos en Momostenango, Totonicapán.**

##### **A. Requerimientos técnicos según Acuerdo Gubernativo 164-2021.**

Los requerimientos corresponden al reglamento 164-2021 en su artículo 37. Normas para sitios para la disposición final. (MARN, 2021)

1. Localización: La planta debe estar a 250 mt lineales entre las áreas destinadas a las actividades de disposición final de los desechos sólidos comunes y los productos de su tratamiento; y el edificio, vivienda o inmueble más cercano, la carretera debe ser transitable en toda época del año.
2. Vientos: El área de llenado prevista debe corresponder a la dirección a favor de los vientos prevalentes en el sitio para la disposición final.
3. Topografía: Pendiente no mayor del 30% para evitar la erosión de los suelos.
4. Suelos: La planta debe estar ubicada en suelos arcillosos, ya que son poco permeables, impidiendo la filtración de cualquier líquido contaminante.
5. Hidrogeología: La planta no debe estar ubicada aguas arriba de ninguna fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, ni en ningún sitio donde el nivel freático esté ubicado a una profundidad menor que dos metros.
6. Acceso: Debe contar con acceso vehicular apropiado, de acuerdo con el tipo y tamaño de los vehículos atendidos.

##### **B. Análisis de tipos de suelos**

En el acuerdo gubernativo 164-2021 en su artículo 37, inciso p, menciona lo siguiente:

Debe efectuarse la nivelación e impermeabilización completa del suelo de soporte del área de terreno a ser ocupada para la disposición final.

Suelo arcilloso con un coeficiente de permeabilidad no mayor que quinientos picómetros por segundo, compactado a un espesor mínimo de treinta centímetros, medidos después de la compactación

Por tanto, mediante shapes de tipos de suelos del programa QGIS se realizó un mapa determinando si era apto para la infraestructura de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos en el casco urbano de Momostenango.

### **C. Análisis de aguas subterráneas**

El acuerdo gubernativo en su artículo 37. Normas para sitios para la disposición final. En su inciso i) menciona: el terreno a ser ocupado como sitio para la disposición final no podrá estar ubicado aguas arriba de ninguna fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, ni en ningún sitio donde el nivel freático esté ubicado a una profundidad menor que dos metros

Para el cumplimiento de este análisis se realizaron mediciones en el casco urbano y sus alrededores a los pozos de abastecimiento de agua potable, mediante una soga que era arrojada al fondo del pozo para conocer la profundidad del manto freático.

Seguidamente se tabularon los datos de cuatro pozos para determinar el promedio de la profundidad de los mismos, la muestra es representativa por el poco acceso que se tiene a las fuentes de abastecimiento en el municipio de Momostenango.

### **D. Identificación de alternativas de ubicación**

- Recopilación de información: Mediante los requerimientos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales del reglamento 164-2021, se recopiló información con las características de diferentes lugares que cumplen para la ubicación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.
- Análisis de información: Se identificó la alternativa adecuada con la información recopilada de los lugares que cumplieron los requerimientos ubicados en el centro urbano de Momostenango. (ver figura 22)

## V. Resultados y discusión

A continuación, se describen los resultados obtenidos a partir de la ejecución de la metodología planteada.

### 5.1. Población objetivo

La investigación se desarrolló en el casco urbano del municipio de Momostenango, Totonicapán. La selección de la muestra se describe en la Tabla No. 5.

**Tabla 5 Población objetivo**

Población objetivo	
Estrato	Habitantes
Domiciliar	573 (habitantes de la caracterización domiciliar)
Mercado municipal	16,575 (población del casco urbano 2,022)
Vías públicas	16,575 habitantes

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

### 5.2. Caracterización de los residuos y desechos sólidos generados.

Es un proceso fundamental dentro de la gestión integral, que permite en esta investigación entender su composición, cantidad y características físicas. Esta información fue crucial para el diseño de la planta de tratamiento del casco urbano.

#### 5.2.1. Determinación de los indicadores ambientales

A continuación, se presenta la situación ambiental del municipio de Momostenango con respecto a los residuos y desechos sólidos.

### A. Producción per cápita del casco urbano de Momostenango.

Durante los meses de julio y agosto, se realizó el pesaje de los residuos y desechos generados en las 178 viviendas de la muestra, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 6 Peso de los residuos por estratos**

Estrato	Fecha	Peso kilogramos (kg)
Domiciliar	11 de julio al 18 de julio	1626.79
Mercado municipal	25 de julio al 31 de julio	1057.85
Vías públicas	08 de agosto al 14 de agosto	463.82

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

Determinado los pesos de cada estrato se realizaron los cálculos para determinar la producción per-cápita.

- Per-cápita domiciliar

$$ppc = \frac{1 * \left(\frac{1622.68}{573}\right) * 16,575}{16,575} = 0.4046 \frac{kgs}{hab} / día$$

- Per-cápita mercado

$$ppc = \frac{1 * \left(\frac{1,057.85}{16,575}\right) * 16,575}{16,575} = 0.0091 \frac{kgs}{hab} / día$$

- Per-cápita vías públicas

$$ppc = \frac{1 * \left(\frac{463.82}{16,575}\right) * 16,575}{16,575} = 0.003997 \frac{kgs}{hab} / día$$

- Per-cápita integrada

$$ppc = 0.4046 + 0.0091 + 0.003997 = 0.42 \frac{kgs}{hab} / día$$

Con base a los resultados obtenidos de la producción per-cápita (ppc) indica que cada habitante del casco urbano de Momostenango, genera al día 0.42 kg de residuos y desechos sólidos en promedio.

A nivel domiciliario se determinó una producción per cápita de 0.40 kg/hab/día, seguidamente la producción per cápita del mercado de 0.01 kg/hab/día y vías públicas de 0.0040 kg/hab/día.

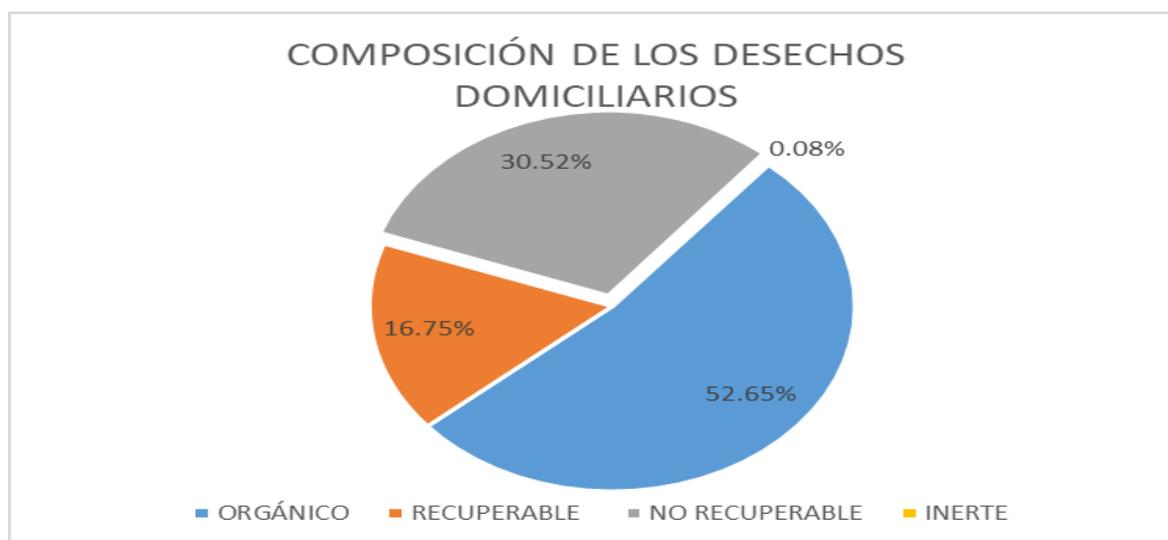
## B. Composición física

### 1. Desechos sólidos domiciliarios

Los desechos generados en el área urbana con respecto a nivel domiciliario se presentan a continuación:

Se generan 856.58 kg de material orgánico, 272.44 kg de material inorgánico recuperable, 496.48 de material inorgánico no recuperable y 1.30 de material inerte. Por lo tanto, se generaron durante una semana en el casco urbano alrededor de 1,626.79 kg de desechos sólidos. De acuerdo a los datos anteriores se determinó la clasificación por material obteniendo los siguientes datos: 52.65 % de material orgánico, 16.75 % de material inorgánico recuperable, 30.52 % de material inorgánico no recuperable y 0.08 % de material inerte.

**Figura 4**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

De acuerdo a la composición de los desechos domiciliarios de la figura No. 4 casi una tercera parte se produce debido a las podas de árboles y plantas, jardinería y restos de comida en las viviendas del casco urbano.

Aproximadamente la mayoría de la clasificación de los residuos y desechos sólidos (desechos orgánicos y recuperables) puede ser aprovechado, mediante compost del material orgánico y venta del material inorgánico recuperable como el aluminio, plástico, etc. Es importante crear estrategias o reglamentos para reducir la producción del material no recuperable que corresponde a un sector significativo.

**Tabla 7 Clasificación material recuperable**

<b>Tipo</b>	<b>Kg</b>	<b>%</b>
Polietileno tereftalato (PET)	73.33	27.08%
Papel y cartón	94.42	34.87%
Vidrio	62.14	22.95%
Polietileno de alta densidad (PAD)	24.82	9.17%
Aluminio	16.06	5.93%
<b>Total</b>	<b>270.77</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

Todo lo relacionado al material de aluminio es comercializado por los habitantes de la muestra para obtener una remuneración económica.

**Tabla 8 Clasificación material no recuperable domiciliar**

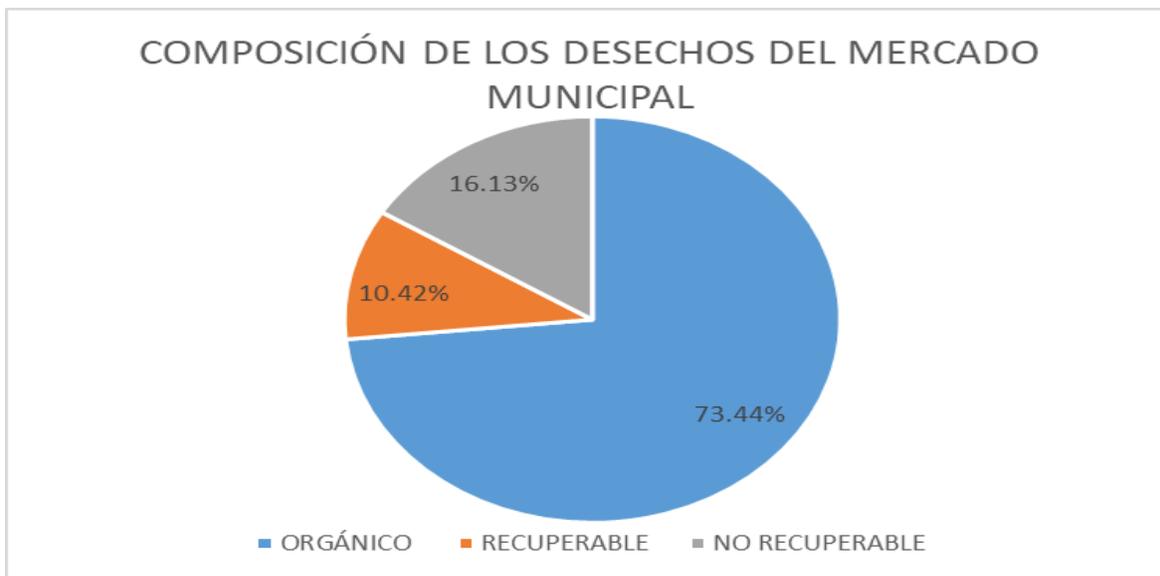
<b>Tipo</b>	<b>Kg</b>	<b>%</b>
Duroport	22.87	4.61%
Pañal desechable	266.55	53.69%
Tela	47.70	9.61%
Otros plásticos	145.73	29.35%
Bioinfecciosos hospitalarios	13.63	2.74%
<b>Total</b>	<b>496.48</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

## 2. Desechos sólidos del mercado municipal

Se generan 776.93 kg de material orgánico, 110.27 kg de material inorgánico recuperable y 170.65 de material inorgánico no recuperable. Por lo tanto, se generaron durante una semana en el casco urbano alrededor de 1,057.85 kg de desechos sólidos.

**Figura 5**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

De acuerdo a la figura se muestra que predomina lo orgánico esto se debe a que existe un comercio grande en la venta de flores para adornos de ocasiones espaciales (cumpleaños, defunciones, altares, etc), venta de verduras y frutas, así como; la venta de carné de res y pollo, por lo tanto, es exponencial la producción del material orgánico.

Se identifica que el material no recuperable predomina sobre lo aprovechable, por lo tanto, es importante generar campañas, charlas, ferias ambientales, etc., para crear una cultura ambiental de concientización y sensibilización.

**Tabla 9 Composición material recuperable del mercado municipal**

<b>Tipo</b>	<b>Kilogramos</b>	<b>%</b>
<i>Polietileno tereftalato (PET)</i>	<i>41.07</i>	<i>37.24%</i>
<i>Vidrio</i>	<i>24.30</i>	<i>22.04%</i>
<i>Aluminio</i>	<i>7.70</i>	<i>6.98%</i>
<i>Papel y cartón</i>	<i>37.20</i>	<i>33.74%</i>
<b>Total</b>	<b>110.27</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor: 2,022.**

La tabla, muestra que el material PET predomina, seguido del papel y cartón, el vidrio y por último el aluminio.

**Tabla 10 Clasificación de los desechos no recuperables del mercado**

<b>Tipo</b>	<b>Kg</b>	<b>%</b>
Duroport	12.38	7.25%
Pañal desechable	18.96	11.11%
Tela	35.03	20.53%
Otros plásticos	104.28	61.11%
<b>Total</b>	<b>170.65</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

En la tabla se identificó que una porción del material analizado corresponde a plásticos no reciclables, como bolsas plásticas y pajillas. Este dato resalta la preocupante realidad de la producción de estos materiales, los cuales presentan una alta resistencia a la degradación y pueden permanecer en el medio ambiente durante períodos que alcanzan miles de años.

Esta persistencia prolongada representa un desafío ambiental significativo y subraya la importancia de promover prácticas de consumo sostenibles y alternativas que reduzcan la dependencia de estos plásticos no biodegradables.

Actualmente, estos desechos del mercado municipal son llevados a un botadero municipal a cielo abierto, por lo tanto, es crucial generar conciencia entre los habitantes del casco urbano para reducir el uso de estos materiales.

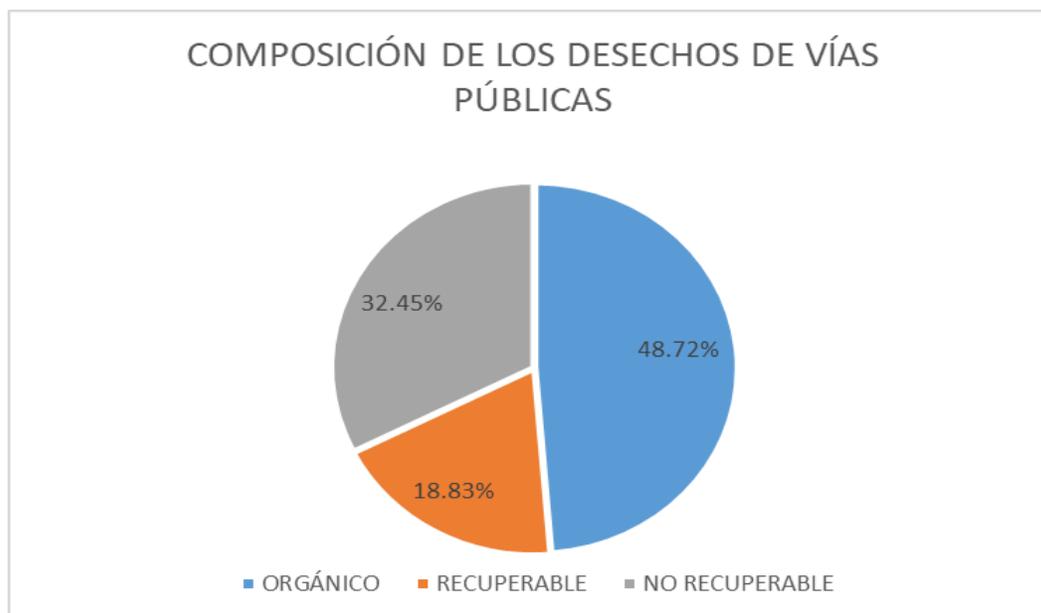
### 3. Desechos sólidos vías públicas

Los desechos generados en el área urbano con respecto a vías públicas se presentan a continuación:

Se generan 225.98 kg de material orgánico, 87.34 kg de material inorgánico recuperable y 150.50 kg de material inorgánico no recuperable. Por lo tanto, se generaron durante una semana en el casco urbano alrededor de 463.82 kg de desechos sólidos.

Por lo tanto, existe una mayoría de material aprovechable (orgánico y recuperable) que puede ser abonos orgánicos, material recuperable para su venta, también existe un alto porcentaje del uso de materiales no aprovechables como: bolsas plásticas, pajillas, vasos desechables, entre otros.

**Figura 6**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Tabla 11 Clasificación de desechos recuperables**

<b>Tipo</b>	<b>Kg</b>	<b>%</b>
Polietileno tereftalato (PET)	42.21	48.33%
Papel y cartón	20.21	23.14%
Vidrio	12.07	13.82%
Polietileno de alta densidad (PAD)	2.33	2.66%
Aluminio	10.52	12.05%
<b>Total</b>	<b>87.34</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

El peso total de los desechos recuperable durante una semana de muestreo fue de 87.34 kg distribuido en PET, papel y cartón, vidrio, PAD y aluminio. El material predominante es el PET, existe un uso considerable de botellas de bebidas y botellas de frascos de comida.

**Tabla 12 Clasificación del material no recuperable de vías públicas**

<b>Tipo</b>	<b>Kg</b>	<b>%</b>
Duroport	24.23	16.10%
Pañal desechable	30.96	20.57%
Tela	1.08	1.54%
Bolsas plásticos	75.62	50.24%
Vasos desechables	16.29	10.82%
Bioinfecciosos	2.32	1.54%
<b>Total</b>	<b>150.50</b>	<b>100%</b>

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

Los desechos no recuperables durante una semana fueron de 150.50 kg, predomina el uso de bolsas plásticas, seguido de pañales desechables, el duroport seguidamente los vasos desechables, material bioinfeccioso y por último telas.

#### 4. COMPOSICIÓN GENERAL (domiciliar, mercado y vías públicas)

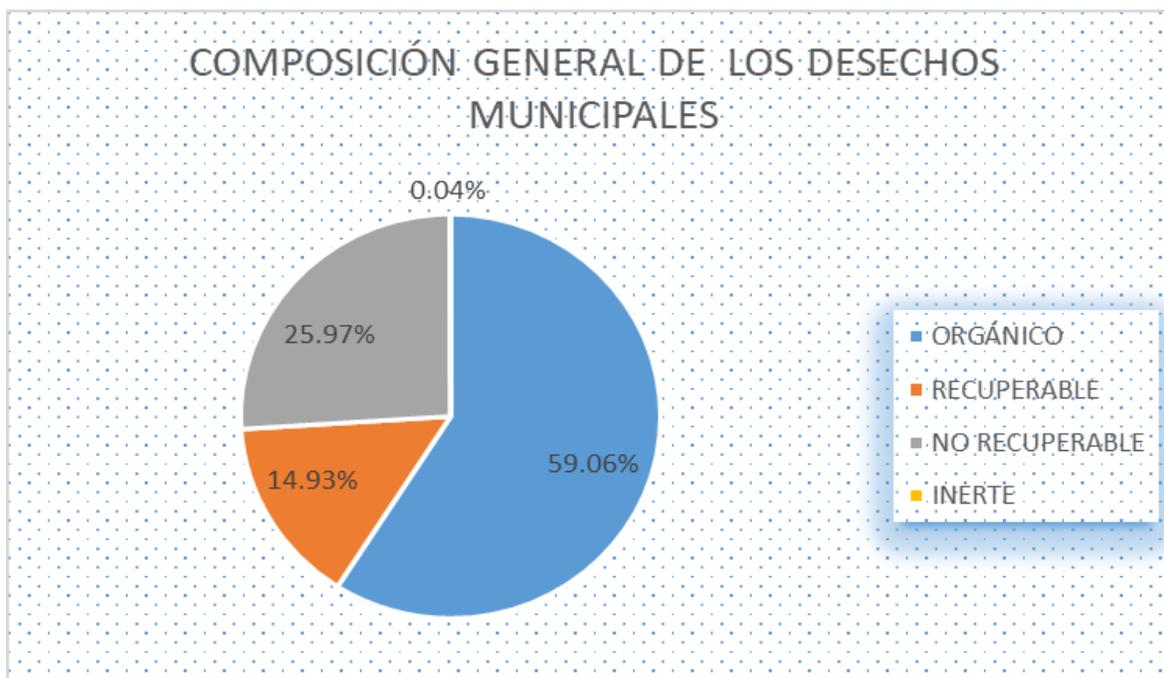
A continuación, se presenta la integración de los resultados de los desechos domiciliarios y servicios municipales:

**Tabla 13 Clasificación general de los desechos municipales**

<b>Tipo</b>	<b>Domiciliar</b>	<b>Vías Públicas</b>	<b>Mercado</b>	<b>Total</b>
Orgánico	856.58	225.98	776.93	1859.49
Recuperable	272.44	87.34	110.27	470.05
No recuperable	496.48	150.50	170.65	817.63
Inerte	1.30			1.30
<b>Total</b>	1626.79	463.82	1057.85	3148.47

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

De acuerdo a la tabla, el material orgánico tiene la mayor producción, seguido del material inorgánico no recuperable, el material inorgánico recuperable y por último el material inerte. Durante la caracterización del casco urbano se obtuvo un peso total de los desechos de 3,148.47 kg.

**Figura 7**

**Fuente:** Elaborado por el autor 2,022.

Con base a la figura, se determina que predomina el material orgánico, seguido del material no recuperable, el material recuperable y material inerte. Por lo tanto, la mayoría de los desechos puede ser aprovechado en diferentes métodos (abonos orgánicos, reutilización, reciclaje, etc.)

Puede decirse que una cuarta parte de los materiales no recuperables incluyen duroport, bolsas plásticas, pajillas, pañales, el resto pertenece a los residuos recuperables formado por PET, vidrio, aluminio, papel y cartón.

### C. Densidad de los residuos y desechos sólidos

**Tabla 14 Densidad general de los residuos y desechos municipales**

Tipo	Volumen metros cúbicos (m <sup>3</sup> )	Densidad kilogramos/metros cúbicos (g/m <sup>3</sup> )
Orgánico	0.1680	169.93
Recuperable	0.1800	70.73
No recuperable	0.1646	92.38
Inerte	0.0800	223.66

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

#### 5.3. Diseño de las fases de tratamiento, para los residuos y desechos sólidos generados en el casco urbano.

El diseño de las fases de tratamiento para los residuos y desechos sólidos es un proceso que será crucial dentro de la gestión integral de residuos, que busca minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia en la gestión de recursos. A continuación, se describen de manera general cómo se estructuran estas fases.

### **5.3.1. Proyecciones de la población, residuos y desechos sólidos en peso y volumen.**

Las proyecciones de la población y su impacto en la generación de residuos y desechos sólidos en términos de pesos y volumen son fundamentales para la planificación y gestión efectiva de estos recursos.

#### **A. Proyección de la población del casco urbano de Momostenango.**

Las siguientes proyecciones se realizaron en base a la tasa nacional de crecimiento poblacional establecida por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2019) refiere una tasa de crecimiento 1.5% del año 2022 al 2029, del año 2030 al 2039 una tasa del 1.1% y por último una tasa de crecimiento del 0.8% del año 2040 al 2042. (ver tabla 15, pág. 63)

**Tabla 15 Proyección de la población del casco urbano de Momostenango**

<b>Años de funcionamiento de la planta</b>	<b>Año</b>	<b>Población (personas)</b>
0	2022	16575
1	2023	16824
2	2024	17076
3	2025	17332
4	2026	17592
5	2027	17856
6	2028	18124
7	2029	18396
8	2030	18598
9	2031	18803
10	2032	19009
11	2033	19219
12	3034	19430
13	2035	19644
14	2036	19860
15	2037	20078
16	2038	20299
17	2039	20522
18	2040	20687
19	2041	20852
20	2042	21019

**Fuente: Elaborado por el autor, con base en proyecciones del INE 2019**

## B. Proyección diaria y anual de la producción total de los desechos sólidos.

Se describen los pesos diarios y anuales de la población relacionados a la producción per cápita (ppc) de los habitantes del casco urbano de Momostenango.

**Tabla 16 Proyección diaria y anual de la producción total de residuos y desechos sólidos**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>PPC (kg/hab/día)</b>	<b>Total kilogramos diarios</b>	<b>Total kilogramos anuales</b>
2022	16575	0.42	6961.50	2540947.50
2023	16824	0.42	7065.92	2579061.71
2024	17076	0.42	7171.91	2624919.55
2025	17332	0.42	7279.49	2657013.85
2026	17592	0.42	7388.68	2696869.06
2027	17856	0.42	7499.51	2737322.10
2028	18124	0.42	7612.01	2785993.93
2029	18396	0.42	7726.19	2820057.66
2030	18598	0.42	7811.17	2851078.29
2031	18803	0.42	7897.10	2882440.15
2032	19009	0.42	7983.96	2922130.96
2033	19219	0.42	8071.79	2946202.61
2034	19430	0.42	8160.58	2978610.84
2035	19644	0.42	8250.34	3011375.56
2036	19860	0.42	8341.10	3052841.79
2037	20078	0.42	8432.85	3077990.20
2038	20299	0.42	8525.61	3111848.09
2039	20522	0.42	8619.39	3146078.42
2040	20687	0.42	8688.35	3179935.39

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>PPC (kg/hab/día)</b>	<b>Total kilogramos diarios</b>	<b>Total kilogramos anuales</b>
2041	20852	0.42	8757.85	3196617.02
2042	21019	0.42	8827.92	3222189.96

***Fuente: Elaborado por el autor 2,022.***

\*Se recomienda mantener constante la producción per cápita (ppc) basada en los habitantes del casco urbano de Momostenango a lo largo de los años de funcionamiento para obtener datos más precisos y representativos.

### **C. Proyección anual en peso de los desechos orgánicos, inorgánico recuperable e inorgánico no recuperable.**

Se realizaron las proyecciones considerando la composición de los residuos sólidos, donde el material orgánico representa el 59%, de material inorgánico recuperable el 15%, y el material inorgánico no recuperable el 26%. Este análisis se llevó a cabo con el objetivo de entender mejor la cantidad y tipo de residuos generados, proporcionando datos precisos que son fundamentales para la planificación y gestión de sistemas eficientes de manejo de residuos.

**Tabla 17 Proyección de la producción total del material orgánico e inorgánico**

Año	Población	PPC (kg/hab/día)	Total, kg diarios	Total, kg anuales	Total, kg orgánico/año	Total, kg recuperable/año	Total, kg no recuperable/año
2022	16575	0.42	6961.50	2540947.50	1499159.03	381142.13	660646.35
2023	16824	0.42	7065.92	2579061.71	1521646.41	386859.26	670556.05
2024	17076	0.42	7171.91	2624919.55	1548702.53	393737.93	682479.08
2025	17332	0.42	7279.49	2657013.85	1567638.17	398552.08	690823.60
2026	17592	0.42	7388.68	2696869.06	1591152.75	404530.36	701185.96
2027	17856	0.42	7499.51	2737322.10	1615020.04	410598.31	711703.75
2028	18124	0.42	7612.01	2785993.93	1643736.42	417899.09	724358.42
2029	18396	0.42	7726.19	2820057.66	1663834.02	423008.65	733214.99
2030	18598	0.42	7811.17	2851078.29	1682136.19	427661.74	741280.36
2031	18803	0.42	7897.10	2882440.15	1700639.69	432366.02	749434.44
2032	19009	0.42	7983.96	2922130.96	1724057.27	438319.64	759754.05
2033	19219	0.42	8071.79	2946202.61	1738259.54	441930.39	766012.68
2034	19430	0.42	8160.58	2978610.84	1757380.40	446791.63	774438.82
2035	19644	0.42	8250.34	3011375.56	1776711.58	451706.33	782957.65
2036	19860	0.42	8341.10	3052841.79	1801176.65	457926.27	793738.86
2037	20078	0.42	8432.85	3077990.20	1816014.22	461698.53	800277.45
2038	20299	0.42	8525.61	3111848.09	1835990.37	466777.21	809080.50
2039	20522	0.42	8619.39	3146078.42	1856186.27	471911.76	817980.39
2040	20687	0.42	8688.35	3179935.39	1876161.88	476990.31	826783.20
2041	20852	0.42	8757.85	3196617.02	1886004.04	479492.55	831120.43
2042	21019	0.42	8827.92	3222189.96	1901092.08	483328.49	837769.39

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

## D. Proyección anual en volumen de los desechos orgánicos e inorgánicos.

**Tabla 18 Proyección en volumen de los desechos orgánicos e inorgánicos**

Año	Población	PPC (kg/hab/día)	Total, kg diarios	Total, kg anuales	Densidad orgánica	Volumen total anual orgánico	Densidad recuperable	Volumen total anual recuperable	Densidad no recuperable	Volumen total anual no recuperable
2022	16575	0.42	6961.50	2540947.50	169.93	8822.22	70.73	5388.61	92.38	7151.24
2023	16824	0.42	7065.92	2579061.71	169.93	8954.55	70.73	5469.44	92.38	7258.51
2024	17076	0.42	7171.91	2624919.55	169.93	9113.77	70.73	5566.70	92.38	7387.57
2025	17332	0.42	7279.49	2657013.85	169.93	9225.20	70.73	5634.76	92.38	7477.90
2026	17592	0.42	7388.68	2696869.06	169.93	9363.58	70.73	5719.28	92.38	7590.07
2027	17856	0.42	7499.51	2737322.10	169.93	9504.03	70.73	5805.07	92.38	7703.92
2028	18124	0.42	7612.01	2785993.93	169.93	9673.02	70.73	5908.29	92.38	7840.90
2029	18396	0.42	7726.19	2820057.66	169.93	9791.29	70.73	5980.53	92.38	7936.77
2030	18598	0.42	7811.17	2851078.29	169.93	9898.99	70.73	6046.31	92.38	8024.07
2031	18803	0.42	7897.10	2882440.15	169.93	10007.88	70.73	6112.82	92.38	8112.34
2032	19009	0.42	7983.96	2922130.96	169.93	10145.69	70.73	6196.99	92.38	8224.04
2033	19219	0.42	8071.79	2946202.61	169.93	10229.27	70.73	6248.04	92.38	8291.79
3034	19430	0.42	8160.58	2978610.84	169.93	10341.79	70.73	6316.77	92.38	8383.00
2035	19644	0.42	8250.34	3011375.56	169.93	10455.55	70.73	6386.26	92.38	8475.21
2036	19860	0.42	8341.10	3052841.79	169.93	10599.52	70.73	6474.19	92.38	8591.92
2037	20078	0.42	8432.85	3077990.20	169.93	10686.84	70.73	6527.53	92.38	8662.69
2038	20299	0.42	8525.61	3111848.09	169.93	10804.39	70.73	6599.33	92.38	8757.98
2039	20522	0.42	8619.39	3146078.42	169.93	10923.24	70.73	6671.92	92.38	8854.32
2040	20687	0.42	8688.35	3179935.39	169.93	11040.79	70.73	6743.72	92.38	8949.61
2041	20852	0.42	8757.85	3196617.02	169.93	11098.71	70.73	6779.10	92.38	8996.56
2042	21019	0.42	8827.92	3222189.96	169.93	11187.50	70.73	6833.33	92.38	9068.53

Las proyecciones en volumen se realizaron considerando las densidades específicas de los diferentes tipos de materiales presentes en los residuos sólidos. La densidad del material orgánico se estimó en  $169.93 \text{ kg/m}^3$ , mientras que para el material inorgánico recuperable se estimó una densidad de  $70.73 \text{ kg/m}^3$ . Por otro lado, el material inorgánico no recuperable se estimó con una densidad de  $92.38 \text{ kg/m}^3$ .

Estos valores se determinaron con base en las características cualitativas y cuantitativas del casco urbano de Momostenango, proporcionando datos fundamentales para la planificación precisa del manejo de residuos y desechos sólidos.

### **5.3.2. Determinación de las fases de tratamiento**

A continuación, se presentan las fases de tratamiento para los residuos y desechos sólidos basado en la composición de los diferentes materiales desechados.

#### **A. Clasificación de los desechos**

Esta fase debe estar enfocada a la clasificación de los materiales orgánicos e inorgánicos como primaria, seguidamente de la clasificación secundaria que incluyen: papel y cartón, vidrio, bolsas plásticas, vasos desechables, telas, duroport, vidrio, aluminio, pañales desechables y otros.

Para cumplir con esta fase es importante realizar capacitación constante a la población, sobre la clasificación de los desechos sólidos generados comprendida en la composición física: orgánico e inorgánico.

#### **B. Recolección y transporte**

Para cumplimiento de esta fase previamente, deben realizarse capacitaciones al personal del tren de aseo sobre la clasificación de los residuos y desechos sólidos desde la fuente generadora.

En las fuentes generadoras se deben distribuir recipientes rotulados conforme al tipo del material; orgánicos e inorgánicos, esta distribución se debe realizar en el casco urbano de Momostenango. La separación se hará el día jueves desde las

viviendas cuando pasa el tren de aseo para luego ser acopiadas por el tren de aseo y se estima una tarifa semanal de Q. 7.00 para la población que usará el tren de limpieza.

Es importante sensibilizar a la población sobre la importancia del servicio de tren de aseo y su continua utilización, se deben implementar la recolección en horarios específicos por barrios que componen el casco urbano de Momostenango.

Creación de manuales y guías para capacitar para el personal del tren de aseo.

### **C. Recuperación del material reciclable**

Estos deberán ser almacenados en una bodega, previo a ser compactados, con el propósito de reducir el espacio dentro de las instalaciones. Los materiales a compactar son: PET, papel y cartón, PAD y aluminio.

Estos residuos y desechos sólidos serán vendidos a centros de acopio para el reciclaje. El tiempo de permanencia dentro de las instalaciones no debe prolongarse demasiado para evitar la acumulación, malos olores y entrada de roedores a la bodega. Para la venta del material recuperable es de 15 días máximo.

### **D. Área de compostaje**

Esta fase se implementará por descomposición aerobia de la materia, tendrá un proceso llamado "Compostaje por cámaras ventiladas" (COCAVENT), pues requiere poca mecanización. Este proceso tendrá dos etapas de tres meses cada una pues se efectuará una biodegradación eficaz. (Glynn & W. Heinkee, 1996, págs. 591,592)

Contará con 18 cámaras para el proceso compost, dichas cámaras deben tener una pendiente baja y en cada una debe contar con rejillas para su aireación esto con el fin de aprovechar el aire del exterior y así regular la temperatura para su debido compostaje. Las cámaras de la primera fase estarán continuas a las 9 cámaras de la segunda fase, para facilitar el traslado de una cámara a otra.

Cada cámara se llenará a cada 4 días, para reducir el tiempo de compostaje tendrá un riego de dos a tres veces lo cual regulará la temperatura para acelerar dicho

proceso. Se espera compostar para el año 2,042 alrededor de 11,187.25 metros cúbicos ( $m^3$ ) y en cada ciclo alrededor de 4,056 metros cúbicos ( $m^3$ ) con un rendimiento del 60% corresponde a 2,433.6  $m^3$  según las proyecciones. El área de compostaje estará techada para optimizar la aireación del exterior, el proceso de volteo será manual por medio de palas.

#### **E. Patio de maduración**

Es el almacenaje del producto final de compost, se estima unos tres meses para su venta. Seguidamente de haber compostado el material orgánico, se trasladarán del área de compostaje al patio de maduración manualmente, para ser empacado y así mismo dispuesto a su venta. Tendrá un muro perimetral de aproximadamente 1.5 metros de altura para evitar la entrada de roedores, insectos o plagas.

El patio de maduración contará con un área de 812 metros cuadrados ( $m^2$ ) y una altura de 3 metros para almacenar los 4,056  $m^3$  que se compostará en cada ciclo recordando que hay un rendimiento del 60% por lo tanto se almacenarán 2,423.6  $m^3$  convertido ya en abono orgánico para su venta.

#### **F. Relleno sanitario**

Es la disposición final de los residuos no recuperables dispuesto en trincheras (son zanjas creadas con una profundidad de dos a tres metros luego se aplanan) para lo cual se depositarán diariamente y se realizarán coberturas 3 veces a la semana, la materia de cobertura será el mismo que se extrajo durante la fase de construcción.

Según proyecciones se dispondrán 164,587.70 metros cúbicos de material no recuperable durante los 20 años de funcionamiento del relleno sanitario, estos residuos no recuperables se colocarán en la parte más baja cubriendo cada capa con el material extraído. Tendrá un sistema de drenaje francés para los lixiviados.

- **Laguna de estabilización lixiviados**

En esta área serán tratados los lixiviados de las cámaras de compostaje y relleno sanitario; los lixiviados serán transportados por medio de gravedad a un sistema de drenaje hacia la laguna de estabilización.

Tendrá proceso aerobico: este proceso las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica convirtiéndola en dióxido de carbono. Una vez haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias. Esta etapa del proceso es conocida como respiración endógena. (Contreras & Suárez, 2006)

### **5.3.3. Dimensiones de las fases de tratamiento residuos y desechos sólidos**

Las dimensiones de las fases de tratamiento: almacén/bodega, cámaras de compostaje, patio de maduración y relleno sanitario; fueron determinadas con base en la densidad de los desechos sólidos generados en el casco urbano de Momostenango.

#### **A. Relleno sanitario**

Con base en la proyección de desechos no recuperables en 20 años del funcionamiento de la planta de desechos, se basó al último año de proyección en volumen de los residuos inorgánicos no recuperables correspondiente a 9,068.53 m<sup>3</sup>.

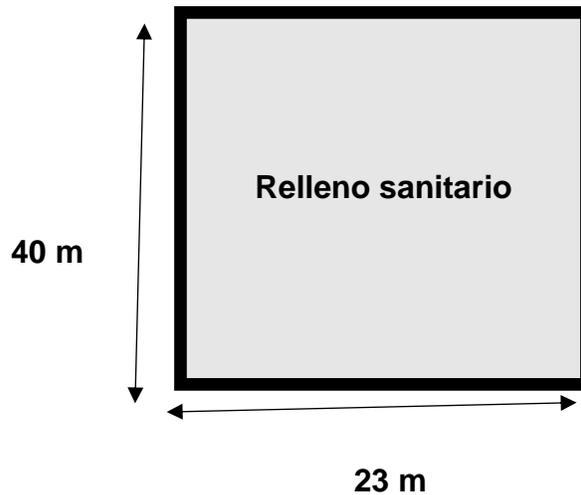
Determinando las dimensiones del relleno sanitario, con base a la ecuación de (Rôben, 2002, pág. 95)

A= volumen total de los desechos no recuperables/ F (constante) (10m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{9,068.53 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3 / \text{m}^2} = 906.85 \text{ m}^2$$

Determinando un área total para la disposición final de 906.85 m<sup>2</sup>, definiendo las unidades de medidas de 40 metros de largo por 23 metros de ancho y 10 metros de profundidad, con el fin de disponer un total de 164,587.70 m<sup>3</sup> de desechos no recuperables, para el periodo de 20 años de funcionamiento de la planta.

**Figura 8 Dimensiones del relleno sanitario**



Mediante la medición de pozos de abastecimiento en el casco urbano de Momostenango, se determinó una profundidad de 17.47 metros del manto freático por lo tanto es apto para este tipo de infraestructura.

### **B. Cámaras de compostaje**

De acuerdo a las proyecciones se contempla un volumen total del material orgánico de 203,045.61 m<sup>3</sup> para los 20 años de funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos en el municipio de Momostenango.

- Área de cámara compost

$$A = 6.5 \text{ m} * 6.5 \text{ m} = 42.25 \text{ m}^2$$

Donde:

A= largo \* ancho

Las medidas de cada cámara están en función del volumen que se compostará al año.

- Volumen de cámara de compostaje

$$v = \text{Área} * \text{altura}$$

Ecuación básica para calcular volumen.

$$v = 42.5 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} = 126.75 \text{ m}^3$$

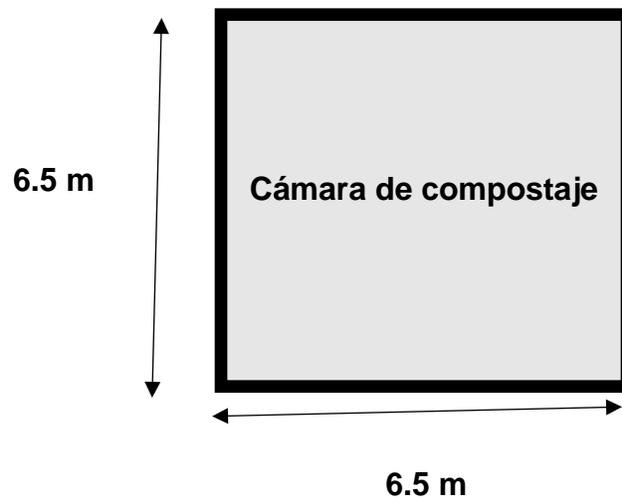
### C. Área total etapa de compostaje

$$\text{Área total} = \text{número de cámaras} * \text{área de cámara}$$

$$A = 18 \text{ cámaras} * 42.5 \text{ m}^2 = 760.5 \text{ m}^2$$

Se determina un área total de 760.5 m<sup>2</sup> para el área de compostaje, el cual tendrá 18 cámaras de compostaje para las dos fases del compost. Estas cámaras se llenarán a cada 4 días, según lo proyectado tendrá 4 repeticiones al año, quiere decir que las cámaras se llenarán y vaciarán 4 veces al año en promedio.

**Figura 9**



#### D. Patio de maduración

Se realizaron proyecciones de la producción de compost con base en el peso de los desechos orgánicos anuales, tomando en cuenta un rendimiento del 60% durante el período de compostaje. A continuación, se presentan las proyecciones que determinan las dimensiones del patio de maduración.

**Tabla 19 Proyección del material de compost o abono orgánico**

Año	Total, Kg orgánico/año	Rendimiento del 60 %	Densidad orgánica kg/m <sup>3</sup>	Volumen compost/año
2022	1461037.55	876622.53	169.93	5158.73
2023	1664101.50	998460.90	169.93	5875.72
2024	1878059.94	1126835.96	169.93	6631.18
2025	2087646.15	1252587.69	169.93	7371.20
2026	2308383.79	1385030.27	169.93	8150.59
2027	2535273.84	1521164.30	169.93	8951.71
2028	2776035.99	1665621.60	169.93	9801.81
2029	3008053.44	1804832.07	169.93	10621.03
2030	3241396.34	1944837.80	169.93	11444.93
2031	3479508.81	2087705.28	169.93	12285.68
2032	3732666.08	2239599.65	169.93	13179.54
2033	3970350.34	2382210.20	169.93	14018.77
2034	4223236.14	2533941.69	169.93	14911.68
2035	4481205.03	2688723.02	169.93	15822.53
2036	4757336.40	2854401.84	169.93	16797.52
2037	5012718.10	3007630.86	169.93	17699.23
2038	5286428.28	3171856.97	169.93	18665.67
2039	5565553.55	3339332.13	169.93	19651.22
2040	5848800.66	3509280.39	169.93	20651.33
2041	6104007.18	3662404.31	169.93	21552.43
2042	6379159.72	3827495.83	169.93	22523.96
<b>TOTAL</b>	<b>78339921.27</b>	<b>47003952.76</b>		<b>281766.46</b>

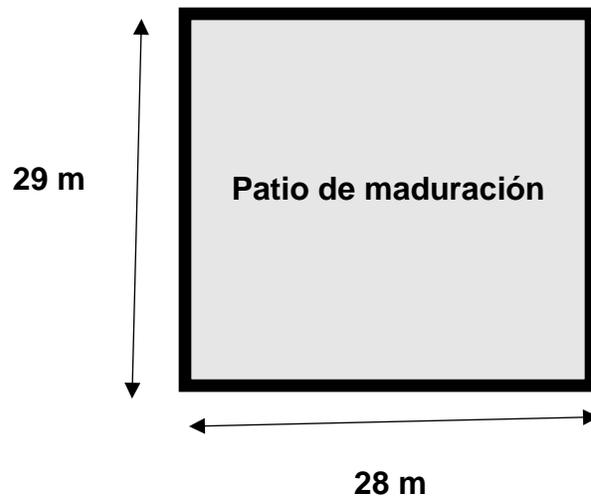
**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

Se determina una proyección anual en volumen de abono orgánico para el año 2,042 de 11,187.25 m<sup>3</sup> y en cada ciclo 4,056 m<sup>3</sup> con un rendimiento de 2,433.6 m<sup>3</sup>, en base a esta proyección se realizó las dimensiones. Las medidas son las siguientes: largo de 29 m \* 28 m de ancho y una altura de 3 m.

En el patio de maduración se espera una producción de compost de 281,766.46 m<sup>3</sup> para los 20 años de funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

Con un área total de 812 m<sup>2</sup> para el almacenaje del compost triturado para su venta, donación o utilización.

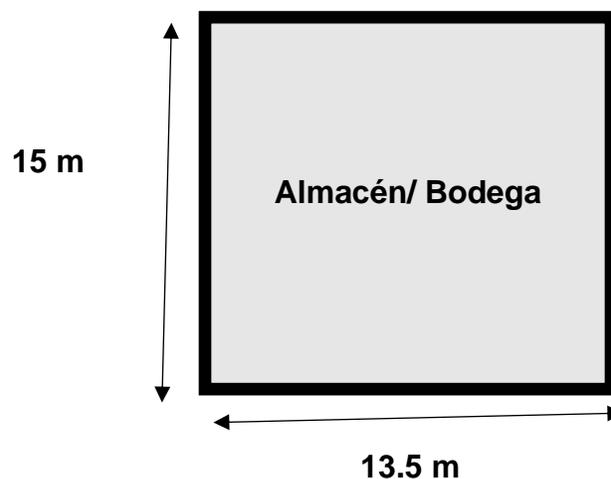
**Figura 10**



### **E. Almacén/Bodega**

Las proyecciones para calcular las dimensiones de almacenaje de los desechos inorgánicos recuperables estarán proyectadas a continuación:

**Figura 11**



El último año de las proyecciones se produce alrededor de 483,328.49 kg del material inorgánico recuperable al año y al mes unos 40,277.37 kg este dato se dividió entre la densidad correspondiente a 70.73 kg/mt<sup>3</sup> dando así un volumen de 569.44 m<sup>3</sup> para el almacén o bodega, dimensionado con medidas de 15 m de largo, 13.5 m de ancho y una altura de 3 m.

#### F. Laguna de estabilización de lixiviados

- Cálculo de recarga de retención hidráulica.

$$CSm = 357.4(1.085)^{22-20} kg/hab/día$$

$$CSm = 357.4 * 1.6314675 kg/hab/día$$

$$CSm = 387.779 kg/hab/día$$

La carga orgánica en volumen máxima es de 387.779 kg/hab/día a tratar diariamente.

- Cálculo del área requerida para la laguna de estabilización

$$Af == \frac{10 * 290 \frac{mg}{l} * \frac{100m^3}{día}}{387.779(0.9)} = \frac{290000}{349.0011} = 830.94m^2$$

Esta laguna de estabilización tendrá un área de 831 metros cuadrados para tratar los lixiviados producto de las cámaras de compostaje y relleno sanitario. Estará dimensionado con medidas de 42 metros de largo y 21.5 metros de ancho.

- Cálculo del volumen de la laguna

$$Vf = \left(\frac{1.5}{6}\right) * [(42 * 21.5) + (42 - 2 * 3 * 1.5) + 4(42 - 3 * 1.5)(21.5 - 3 * 1.5)]$$

$$Vf = 871.50 m^3$$

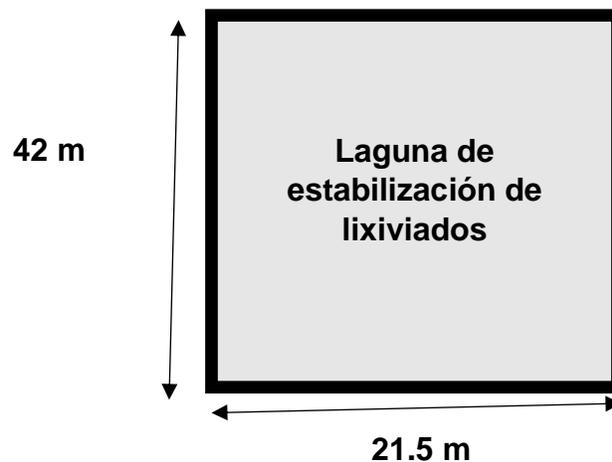
La laguna de estabilización deberá tener un volumen de 871.50 m<sup>3</sup> para la descarga de los lixiviados

- Cálculo de retención hidráulica

$$Of = \frac{817.50 \text{ m}^3}{100 \text{ m}^3/\text{día}} = 8.715 \text{ días}$$

Se determinó que el período de retención corresponde a 9 días, lo cual es el tiempo de permanencia del volumen del caudal.

**Figura 12**



### **Fases complementarias**

#### **1. Garita de control**

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2021), deben existir medios físicos que permitan el control permanente sobre el acceso peatonal y vehicular a la planta, por lo tanto se contempla una garita de control ubicada en la entrada principal de la planta. Tendrá dimensiones de 6 mt de largo por 6 mts de ancho.

#### **2. Oficina administrativa**

Es importante la construcción de una oficina, utilizada por el encargado de la planta, personal administrativo, así como visitas. contemplando servicio sanitario y vestidor. Las medidas serán 15 mts de largo por 10 mts de ancho.

### **3. Baños y vestidores**

Se tendrá un área para el personal de la planta de tratamiento para sus necesidades, ducharse o cambiarse, las dimensiones son 15 metros de largo por 10 m de ancho.

### **4. Parqueo de vehículos**

Tendrá dos áreas de parqueo para el personal que labore en la planta de tratamiento, así como para las visitas que lo requieran. Un área será para vehículos livianos (pickup, camionetas tipo agrícola y motocicletas) y la otra área será para camiones que entrarán a la planta.

Primer parqueo dimensionado con unas medidas de 16 metros de largo por 30 metros de ancho, este para vehículos livianos y el segundo con medidas de 29.25 metros de largo por 25.15 metros de ancho. Estas medidas son estándares para el buen funcionamiento y viabilidad de los vehículos dentro de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

Figura 13



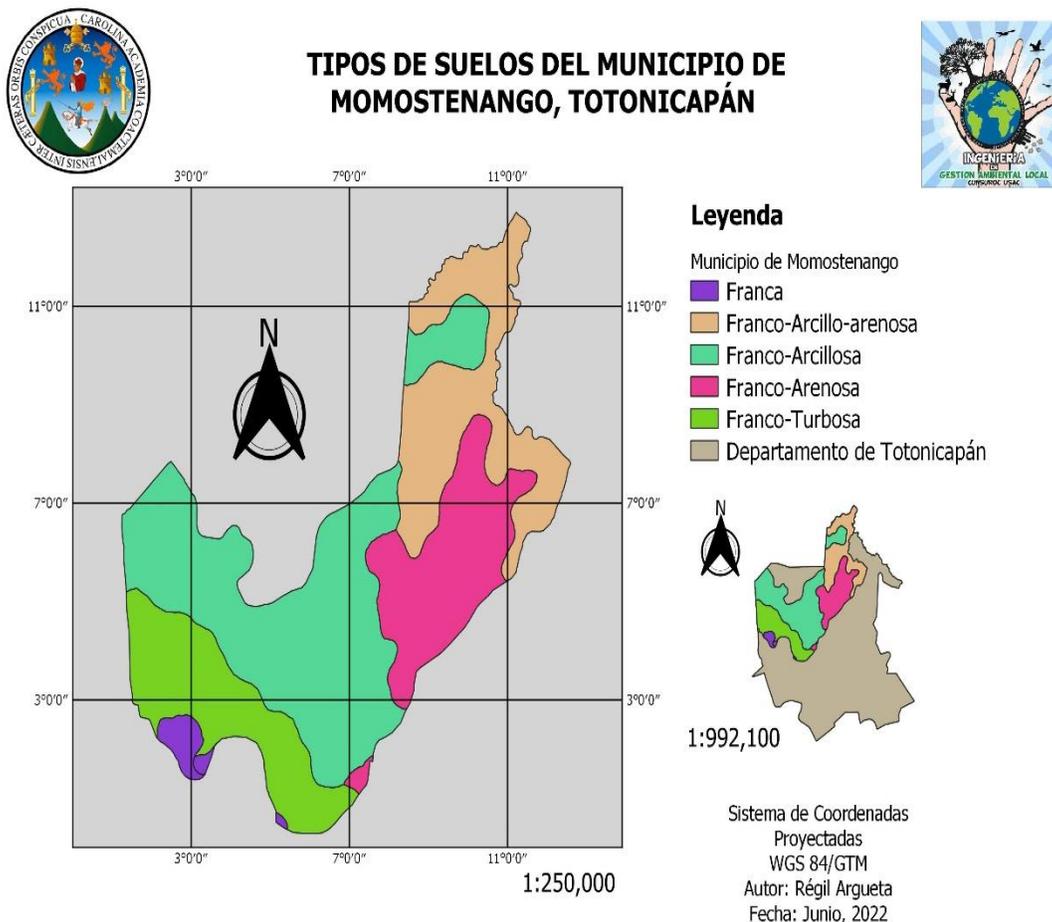
Fuente: Elaborado por el autor, con base a LibreCAD 2,023.

### 5.3.4. Evaluación y selección de sitio para la planta de tratamiento de desechos sólidos

- **Análisis de suelos**

El reglamento 164-2021 en su artículo 37 del MARN (2021) indica que el suelo de tipo arcilloso es el óptimo para este tipo de infraestructura. El casco urbano y alrededores de Momostenango se encuentra en un tipo de suelo franco arcilloso, por lo tanto, es apto para establecer una planta de tratamiento de desechos sólidos. A continuación, se muestra los tipos de suelos.

**Figura 14**



**Fuente: Elaborado por el autor, con base a ortofotos de QGIS 2,023.**

- **Análisis de aguas subterráneas**

Se midieron 4 pozos de abastecimiento de agua potable determinando así, la profundidad del manto freático. A continuación, se presenta los datos:

**Tabla 20 Promedio de la profundidad de pozos de abastecimiento de agua**

No. Pozo de Abastecimiento	Profundidad
1	16.9 m
2	14 m
3	18 m
4	21 m
<b>Promedio profundidad</b>	17.47 m

El promedio de profundidad de las aguas subterráneas se encuentra a 17.47 m, determinando que la alternativa de ubicación es acorde para establecer un relleno sanitario en el casco urbano o sus alrededores. Las mediciones son dentro del casco urbano y sus alrededores.

**Figura 15**



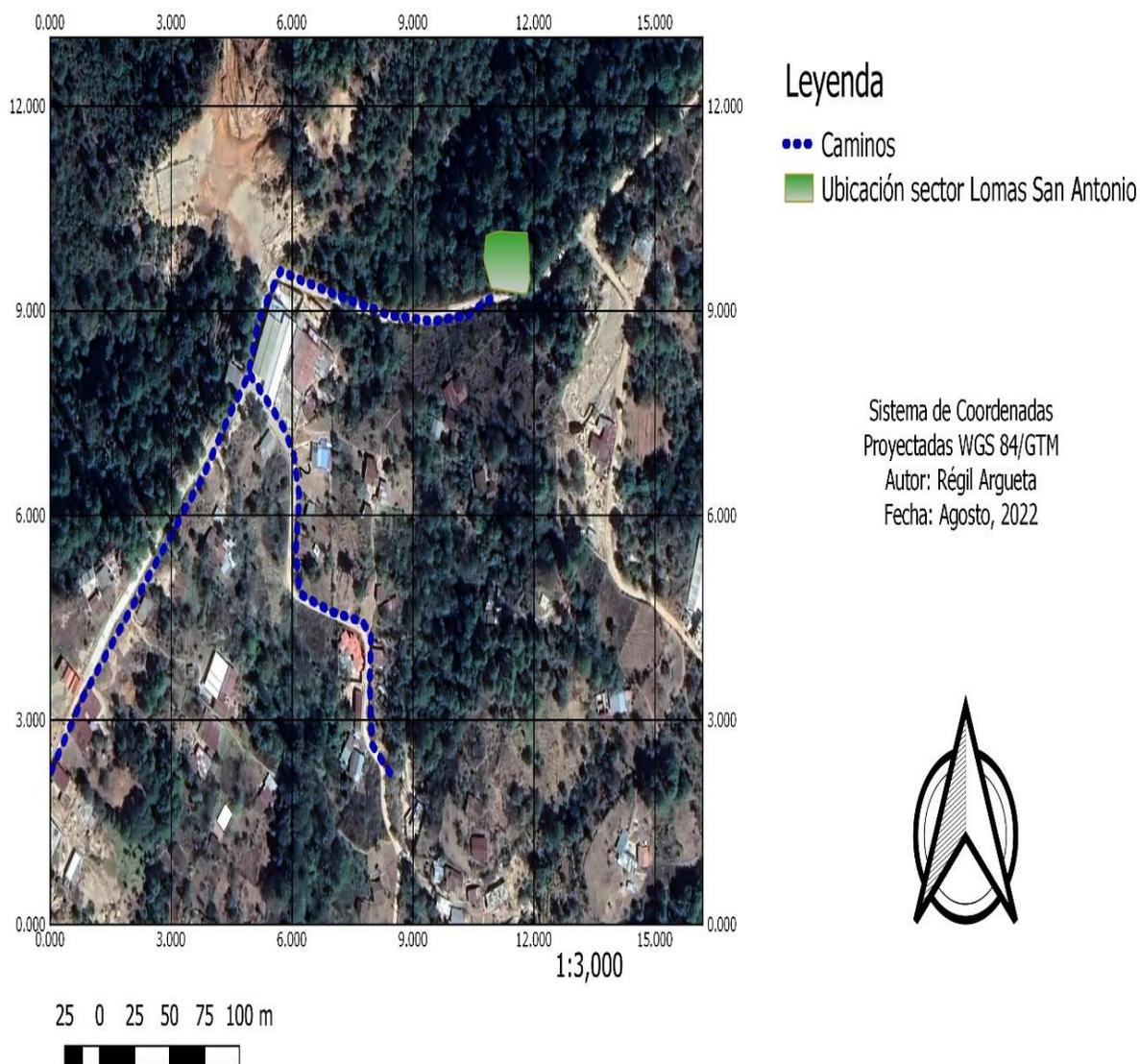
**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

- Selección del sitio

Figura 16



Mapa de propuesta para la ubicación de la Planta de tratamiento de desechos sólidos ubicado en sector Lomas San Antonio



Fuente: Elaborado por el autor 2,022.

**Tabla 21 Check list de parámetros de ubicación**

Aspectos evaluados	Parámetros de medición	Resultado	Cumple si/no	
Tipo suelo	Arcilloso	Suelo arcilloso en el casco urbano y alrededores	X	
Manto freático	Cuatro metros de profundidad con respecto al manto freático	17.5 metros de profundidad del manto freático	X	
Distanciamiento de edificaciones cercanas	Cien metros líneas entre áreas de tratamiento y edificaciones	250 metros lineales de distanciamiento con edificaciones	X	
Accesos	Caminos accesibles	Tiene caminos con accesos viables	X	

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

La ubicación es en el sector Lomas de San Antonio pues según los criterios por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, son aptos para establecer la infraestructura de la planta.

El precio de una cuerda de terreno ubicada en el centro de Momostenango con dimensiones de 20.80 de largo por 20.80 de ancho y área total de 432.64 m<sup>2</sup>, con un costo alrededor de Q 75,000.00. Se estima alrededor de 11 cuerdas para la planta de tratamiento con un costo de Q 11, 175,000.00.

## VI. Conclusiones

- De acuerdo a la caracterización de residuos y desechos sólidos se estima que cada habitante del casco urbano de Momostenango produce 0.42 kilogramos de basura al día, según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la media de producción per cápita (PPC) en Guatemala es de 0.45 kg/habitante/día por lo tanto la PPC del casco urbano se mantiene por debajo y no es preocupante por el momento.
- De la totalidad de los desechos generados en el casco urbano, predomina el material orgánico con 59.06%, el material recuperable con un 14.93%, el material no recuperable con 25.97% y por último el material inerte con 0.04%. Por lo tanto, el 73.99% puede ser aprovechado con tratamientos de compostaje y reciclaje.
- Se determina una densidad para el material de origen orgánico de 169.93 kg/m<sup>3</sup>, el material recuperable con una densidad de 70.73 kg/m<sup>3</sup>, seguido del material no recuperable con 92.38 kg/m<sup>3</sup> y el material inerte con una densidad de 223.66 kg/m<sup>3</sup>.
- Se definió el diseño de una propuesta de planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos con relleno sanitario como disposición final para minimizar el impacto ambiental en el casco urbano de Momostenango.
- Se determinó el proceso de tratamiento de los residuos sólidos el cual debe de consistir en varias fases esenciales para su gestión. Estas incluyen la clasificación inicial de los desechos, seguida de su recolección y transporte, la recuperación de materiales inorgánicos reciclables, y el tratamiento de los residuos orgánicos a través de cámaras de compostaje y patio de maduración.

## VII. Recomendaciones

- Para optar a un rendimiento alto en el compostaje es necesario regular la temperatura del compost para activar las bacterias de descomposición de la materia orgánica y así obtener un abono rico en nutrientes y útil para el campo agronómico.
- Son necesarias campañas de sensibilización, ferias ambientales, normativos y políticas ambientales para el mejoramiento ambiental del municipio de Momostenango, Totonicapán. Haciendo referencia a que se tiene una producción per cápita que está en los límites permisibles y un aumento provocando rebasar los límites establecidos permitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- El relleno sanitario calculado deberá contar con un área de 906.85 m<sup>2</sup> con dimensiones de 40 metros de largo por 23 metros de ancho y 10 metros de profundidad, con el fin de disponer 164,587.70 m<sup>3</sup>.
- La laguna de estabilización necesaria debe poseer un área 831 metros cuadrados y con un volumen de descarga de 871.50 metros cúbicos para tratar los lixiviados de las cámaras de compost y relleno sanitario.
- La ubicación propuesta para la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos se encuentra en el sector Lomas San Antonio, serán necesarias alrededor de 11 cuerdas con un valor de Q 11, 175,000.00.

- Para las fases de tratamiento dentro de la planta es recomendable la capacitación constante y monitoreo por identidades privadas o gubernamentales para el buen funcionamiento del mismo.

## VIII. Revisión bibliográfica

Aguilar Barrojas, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. SALUD en TABASCO.*  
<https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>

Ávila Flores, L. A. (2007). *Diagnóstico Socioeconómico, potencialidades productivas y propuesta de inversión.* [Trabajo de Graduación, Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03\\_0646\\_v7.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0646_v7.pdf)

Cajamarca V, D. (2012). *Procedimiento para la elaboración de abonos orgánicos.* [Tesis de Agronomía. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias].  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>

CARE Internacional-Avina. (01 de 2012). *Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).* Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades.  
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD002947.pdf>

Coalición Clima y Aire Limpio. y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Guía de compostaje municipal.*  
[https://www.marn.gob.gt/wpfd\\_file/guia-compostaje/](https://www.marn.gob.gt/wpfd_file/guia-compostaje/)

Contreras, A., y Suárez, J. (2006). *Rellenos sanitarios.* Ciencias Naturales-Química-Desarrollo Sustentable.  
<http://cienciasnaturales-quimica-desarrollo.blogspot.com/2008/11/rellenos-sanitarios.html>

Diario Oficial de la Federación. (2006). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.*  
<https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/situacion05/cap8.pdf>

Eustat. (s.f.). *Residuos Urbanos (RU)*. Instituto Vasco de Estadística.  
[https://www.eustat.eus/documentos/opt\\_0/tema\\_454/elem\\_12570/definicion.html](https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_454/elem_12570/definicion.html)

Fraume Restrepo, N. J. (2006). *Diccionario Ambiental*. (20. ed.). Vol. 3. Ecoe Ediciones.  
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1232/1/Fraume-Diccionario%20ambiental.pdf>

Fundación Centroamericana de Desarrollo. (1997). *Diagnóstico municipio de Momostenango*. FUNCEDE.

Gall, F. (2000). *Diccionario Geográfico de Guatemala. Flora y Fauna*. (2ª. ed.)  
 Biblioteca del Organismo Judicial.  
<http://biblioteca.oj.gob.gt/digitales/26558.pdf>

Glynn, H. W. y Heinke, G. (1996). *Ingeniería Ambiental*.  
[https://biblioasesorbogota.files.wordpress.com/2013/04/ingenieria-ambiental\\_glynn.pdf](https://biblioasesorbogota.files.wordpress.com/2013/04/ingenieria-ambiental_glynn.pdf)

Gómez, M. E. (11 de 2019). *La gestión integrada de residuos y desechos sólidos como estrategia para la prevención de impactos ambientales negativos en el casco urbano de Chicacao, Suchitepéquez*.  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/12906/1/TRABAJO%20DE%20GRADUACION%20CI%20C3%93N.pdf>

Hernández, M. (14 de 05 de 2019). *¿Que son los residuos orgánicos? ¿Cómo es el tratamiento de residuos?* UNIVERSITAS.  
<https://masterresiduos.umh.es/2019/05/14/que-son-los-residuos-organicos-como-es-el-tratamiento-de-residuos/#:~:text=El%20tratamiento%20de%20residuos%20org%C3%A1nicos%20se%20puede%20realizar%20por%20compostaje,puede%20utilizar%20como%20abono%20org%C3%A1nic>

- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. y Universidad Rafael Landívar. (2012). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012 Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. IARN-URL <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40177>
- Instituto Nacional de Bosques. (2007). *Cobertura Forestal de Guatemala Municipio de Momostenango, Totonicapán*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda 2018*. INE. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). *División Población de la CEPAL*. INE. <https://www.ine.gob.gt/proyecciones/>
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2000). *Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala*. MAGA. <https://www.maga.gob.gt/download/clasificacion-suelo.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2005). *Manual para determinar el estado de gestión de los desechos sólidos y el agua a nivel local de la República de Guatemala*. MARN.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Guía de términos de uso frecuente en la gestión ambiental*. MARN.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes*. MARN. <https://raicescomunitarias.org/userfiles/2019/12/Gui%CC%81a-para-elaborar-estudios-de-caracterizacio%CC%81n-de-residuos-solidos.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (09 de 08 de 2021). *Acuerdo Gubernativo Número 164-2021*. MARN. <https://sgp.gob.gt/wp-content/uploads/2021/08/AG-164-2021.pdf>

- Marroquín y Marroquín , E. E. (2003). *Diseño de las unidades de tratamiento y aspectos de operación y mantenimiento* . Sistema de Bibliotecas Universidad del Valle Guatemala.  
[https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/1910/Marroqu%  
 c3%adn%20y%20Marroqu%  
 c3%adn%20c%20Elbia%20Elizabeth.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/1910/Marroqu%c3%adn%20y%20Marroqu%c3%adn%20c%20Elbia%20Elizabeth.PDF?sequence=1&isAllowed=y)
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación . (2003). *Mapa de cobertura vegetal y uso de tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala* . MAGA.  
<https://www.maga.gob.gt/download/cobertura-vt.pdf>
- Moriana, L. (05 de 10 de 2021). *Qué son los recursos naturales y sus tipos* . Ecología Verde.  
<https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-recursos-naturales-y-sus-tipos-1365.html>
- Navia Cuetia , C. A., Zamanate Cordoba, Y., Morales Velasco, S., Alonso Prado , F., y Albán López, N. (2013). *Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (Solanum lycopersicum)*.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa19.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. FAO.  
<https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). *El Suelo*. FAO.  
<https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>

- Ortega Landeo , Y. N., y Torres Romero, S. W. (2016). *"Diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos municipales para poblaciones pequeñas"*. [Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Centro de Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3756/Ortega%20Landeo%20-%20Torres%20Romero.pdf?sequence=1>
- Quiroga Martínez, R. (05 de 2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas CEPAL. [https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/8\\_manual-61-cepal\\_formatoserie\\_color.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/8_manual-61-cepal_formatoserie_color.pdf)
- Ramírez Santos , C. R., y Gómez Sicajá, R. (2007). *Diagnóstico socioeconómico potencialidades productivas y propuestas de inversión*. Biblioteca USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03\\_0645\\_v1.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0645_v1.pdf)
- Rôben, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación, y Cierre de Rellenos Sanitario Municipales*. Municipalidad de Loja. <https://www.accionecologica.org/wp-content/uploads/loja.pdf>
- Say Chamán, A. B. (2007). *Manejo de la basura y su clasificación*. Biblioteca USAC Facultad de Humanidades. [http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07\\_1989.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_1989.pdf)
- Secretaría de Planificación y de Programación de la Presidencia . (2020). *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial Momostenango, Totonicapán*. Municipalidad de Momostenango, Totonicapán. [https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/05/805\\_PDM\\_OT\\_MOMOSTENANGO.pdf](https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/05/805_PDM_OT_MOMOSTENANGO.pdf)

Secretaría de Planificación y de Programación de la Presidencia. (01 de 05 de 2019). *Criterios generales para priorizar la planificación, diseño, construcción*. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. [http://snip.segeplan.gob.gt/sche\\$sinip/documentos/CRITERIOS\\_PTAR\\_DE SECHOS\\_SOLIDOS\\_1\\_5\\_2019.pdf](http://snip.segeplan.gob.gt/sche$sinip/documentos/CRITERIOS_PTAR_DE SECHOS_SOLIDOS_1_5_2019.pdf)

Sistema Nacional de Planificación. (12 de 2010). *Plan de desarrollo Momostenango Totonicapán*. Sistema Nacional de Planificación. <https://momostenango.simsan.org.gt/wp-content/uploads/2020/02/plan-desarrollo.pdf>

Soluciones Técnicas y Maquinarias. (2015). *Planta de tratamiento de residuos sólidos*. SOTECMA. <https://www.sotecma.es/planta-tratamiento-residuos-solidos/>

Ullca, J. (2006). Los Rellenos Sanitarios. *La Granja Revista de Ciencias de la Vida*, (4), 2-17. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

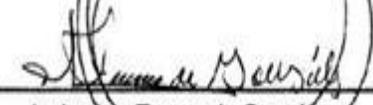
Unidad de Gestión Ambiental Municipal. (2022). *Plan Estratégico Institucional Anual*. UGAM

Universidad Nacional del Altiplano. (2013). *Diseño de una planta de recuperación y manejo de residuos sólidos urbanos para el distrito de Asillo*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4167>

Universidad Rafael Landívar y Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas y Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente . (01 de 2006). *Síntesis del Perfil Ambiental de Guatemala*. Documento Técnico del Perfil Ambiental de Guatemala. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/10/SntesisdelperfilambientaldeGuatemala2004.pdf>

Universidad San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería. (2011). *Manual de Estadística Descriptiva*. Ingeniería Universidad San Carlos de Guatemala. [http://estadistica.ingenieria.usac.edu.gt/file.php/1/Manual\\_E%201\\_PDF.pdf](http://estadistica.ingenieria.usac.edu.gt/file.php/1/Manual_E%201_PDF.pdf)

Vásquez. (1994). *Relleno Sanitario*. [Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería. Universidad de Sonora México] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20523/capitulo3.pdf>

Vo. Bo.   
Lcda. Ana Teresa de González.  
Bibliotecaria CUNSUROC.



## IX. Anexos

**Anexo 1: Composición física de los desechos sólidos generados en el casco urbano de Momostenango.**

**Tabla 22 Composición física de los desechos domiciliare**

<b>Componente</b>	<b>kg</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Densidad</b>
ORGÁNICO	856.58	52.65%	243.05
PET	73.88	4.54%	61.01
PAPEL Y CARTÓN	94.42	5.80%	81.77
VIDRIO	62.14	3.82%	200
PAD	25.22	1.55%	24.42
ALUMINIO	16.78	1.03%	28.2
DUROPORT	22.87	1.41%	79.58
PAÑAL DESECHABLE	266.55	16.39%	152.94
TELA	47.70	2.93%	112
OTROS PLÁSTICOS	145.73	8.96%	105.54
BIOINFECCIOSO	13.63	0.84%	86.85
INERTE	1.30	0.08%	223.66
<b>TOTAL</b>	<b>1626.79</b>	<b>100.00%</b>	

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Tabla 23 Composición física de los desechos del mercado municipal**

<b>Componente</b>	<b>kg</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Densidad</b>
ORGÁNICO	776.93	73%	196.23
PET	41.07	4%	88.32
VIDRIO	24.3	2%	115.71
ALUMINIO	7.7	1%	82.51
PAPEL Y CARTÓN	37.2	4%	27.4
DUROPORT	12.38	1%	95.68
PAÑAL DESECHABLE	18.96	2%	102.3
TELA	35.03	3%	88.32
OTROS PLÁSTICOS	104.28	10%	140.85
<b>TOTAL</b>	<b>1057.85</b>	<b>100%</b>	

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Tabla 24 Composición física de los desechos de vías públicas**

Componente	kg	Porcentaje	Densidad
ORGÁNICO	225.98	48.72%	70.53
PET	42.21	9.10%	23.35
PAPEL Y CARTÓN	20.21	4.36%	46.32
VIDRIO	12.07	2.60%	102.19
PAD	2.33	0.50%	18.96
ALUMINIO	10.52	2.27%	82.32
DUROPORT	24.23	5.22%	26.35
PAÑAL DESECHABLE	30.96	6.68%	96.52
TELA	1.08	0.23%	78
BOLSAS PLÁSTICAS	75.62	16.30%	89.56
VASOS DESECHABLES	16.29	3.51%	56.87
BIOINFECCIOSO	2.32	0.50%	30.56
TOTAL	463.82	100.00%	

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

## **Anexo 2: Figuras del proceso de investigación**

**Figura 17 Disposición final de los residuos y desechos sólidos**

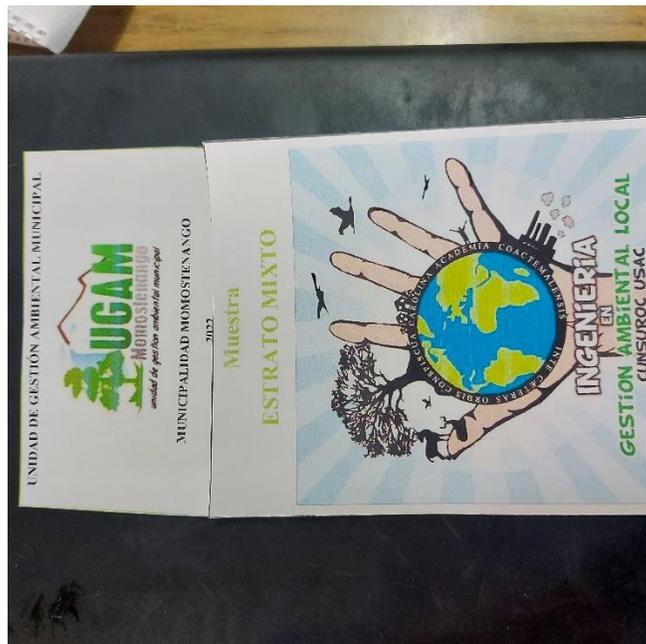
**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 18 Vehículo del tren de aseo**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 19 Stickers para identificación de las viviendas muestreadas**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 20 Identificación de las viviendas muestreadas**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 21 Toma de datos sobre las viviendas**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 22 Pesaje de los desechos vías públicas**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 23 Toma de datos de los residuos y desechos sólidos**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 24 Recolección de las muestras de las viviendas**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 25 Apoyo del personal municipal**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Figura 26 Determinación cualitativa y cuantitativa de los desechos domiciliarios**



**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Anexo 3: Cotización de los materiales a utilizar para la caracterización en Ferretería “El Centro”**

**Figura 27 Cotización de insumos**

**FERRETERIA EL CENTRO**  
 1A AVENIDA 1-41 ZONA 1 Y SUCURSAL 1A AVENIDA 1-41 ZONA 4 MOMOSTENANGO, TOTOXICAPAN, TELÉFONO 7736-5191

**FERRETERIA EL CENTRO**  
 COTIZACION No. 31798  
 1RA AVENIDA 1-50 ZONA 4, MOMOSTENANGO  
 Teléfono: 7736-5191 correo electrónico: otorroszarate@gmail.com

Nombre: MUNICIPALIDAD DE MOMOSTENANGO Fecha: 14/07/2022  
 Dirección: ZDA. AVENIDA 1-99 ZONA 1

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	MONTO
250	18-4437	BOLSA BD 24 * 38 * 2 NEGRA BASURERA GRANEL	250.00
5	18-0795	GUANTES DE TELA Y CARNZA REFORZADOS TC0754	125.00
1	18-4759	BALANZA MOSTRADOR 40 LBS CUCHARON CROMADO BM2	600.00
1	18-5207	METRO 5m x 3/4" PRO MAGNETICO TIP STANLEY 30-085	55.00
1	18-0399	JARON DISPENSADOR OLIMPO-4600. SURT.	15.00
1	21-0067	DESINFECTANTE OLIN GALON MANZANA-CANELA	25.00
50	18-6570	MASCARILLA DESECHABLE	25.00

**Fuente: Elaborado por el autor 2,022.**

**Anexo 4: Encuesta a las viviendas de la muestra.****Universidad de San Carlos de Guatemala****Centro Universitario de Sur Occidente****Ingeniería en Gestión Ambiental Local****Ejercicio Supervisado**

Instrucciones: a continuación, se le presenta un listado de preguntas que debe responder marcando con una "X" donde corresponda.

Nombre del encuestado: \_\_\_\_\_

Localidad: \_\_\_\_\_

Datos del domicilio:

Calle o avenida:

Número de casa:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Colonia:

Municipio:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Departamento:

No. de habitantes en la vivienda:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué tipo de recipiente utiliza para almacenar sus residuos y desechos (basura)?

Bolsas plásticas \_\_\_ Costal \_\_\_ Caja de cartón \_\_\_ Otro: \_\_\_\_\_

¿Utiliza el tren de aseo municipal?

Si \_\_\_ NO \_\_\_

Si no utiliza ¿por qué? \_\_\_\_\_

¿Con qué frecuencia recogen sus residuos y desechos (basura)?

1 por semana \_\_\_ 2 por semana \_\_\_ 3 por semana \_\_\_ Otro: \_\_\_\_\_

¿Qué hace con los residuos y desechos (basura) si no pasa el camión?

Quemar \_\_\_ Enterrar \_\_\_ Tirar \_\_\_ Otro: \_\_\_\_\_

¿Qué opina del servicio de recolección?

Bueno \_\_\_ Malo \_\_\_ Regular \_\_\_

## Anexo 5: Entrevista al encargado del tren de aseo municipal.



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



Instrucciones: lea en voz alta las siguientes

preguntas al entrevistado.

¿Cuáles son los días de recolección de desechos domiciliarios en el casco urbano de Momostenango?

---

¿Con qué frecuencia recolectan los desechos del mercado municipal?

---

¿Con qué frecuencia recolectan los desechos de las vías públicas?

---

¿Se le brinda un tratamiento previo a la disposición final de los desechos y residuos sólidos?

---

¿Cuántas viviendas utilizan el tren de aseo municipal?

---

¿Se cuenta con transporte propio para la recolección de los residuos y desechos sólidos del mercado y vías?, si la respuesta es no, ¿por qué?

Si \_\_\_ No\_\_\_, \_\_\_\_\_

¿Cuántos camiones de recolección de desechos posee la municipalidad?

---

¿Cuenta el municipio con planta de desechos y residuos sólidos?

---



Mazatenango Suchitepéquez, 07 de noviembre de 2023

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: **“Diseño de planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos municipales del caso urbano de Momostenango, Totonicapán”**, presentado por el estudiante **Luis Fernando Régil Argueta** con carné número **201742158** y Código Único de Identificación **3072826191013**. 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



Mazatenango, 19 de febrero de 2024

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

Respetable Maestra:

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 de la investigación titulada: **“DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL CASCO URBANO DE MOMOSTENANGO, TOTONICAPÁN”**, presentada por el estudiante: **Luis Fernando Régil Argueta**, quien se identifica con número de carné: **201742158**, y con Código Único de Identificación: **3072 82619 1013**.

Por lo tanto, en mi calidad de revisor le informo que después de realizar el proceso que se 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.

Ing. Agro. Alberto Benjamín Gómez  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Revisor de Trabajo de Graduación



Mazatenango 12 de noviembre, 2024

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 "**Diseño de Planta de Tratamiento de Residuos y Desechos Sólidos municipales del casco urbano de Momostenango, Totonicapán**" del estudiante **Luis Fernando Régil Argueta carné 201742158**, 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.

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- 14-2025**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, el veinticinco de febrero de dos mil veinticinco\_\_\_\_\_

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **“DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS MUNICIPALES DEL CASCO URBANO DE MOMOSTENANGO, TOTONICAPÁN”** del estudiante: **Luis Fernando Régil Argueta**, Carné 201742158. CUI: 3072 82619 1013 de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

M.A. Luis Carlos Muñoz  
Director



/gris