



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Energía y Ambiente

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COLONIA LAS ARCADIAS,  
ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

**Arq. Mileidy Natalí Santizo Zepeda**  
Asesorado por Msc. José Rosal Chicas

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COLONIA LAS ARCADIAS,  
ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ARQ. MILEIDY NATALÍ SANTIZO ZEPEDA**  
ASESORADO POR EL MSC. JOSE ROSAL CHICAS

AL COFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COLONIA LAS ARCADIAS,  
ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 14 de marzo del 2019.

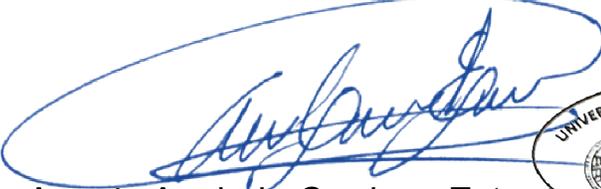
**Arq. Mileidy Natalí Santizo Zepeda**

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

LNG.DECANATO.OI.123.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COLONIA LAS ARCADIAS, ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, presentado por: **Mileidy Natalí Santizo Zepeda**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



**Guatemala, febrero de 2022**

LNG.EEP.OI.123.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BIOGAS, COLONIA LAS ARCADIAS, ALDEA LO DE CARRANZA,  
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA”**

presentado por **Mileidy Natalí Santizo Zepeda** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 03 de noviembre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMIICILIARES PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, COLONIA LAS ARCADIAS, ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA"** presentado por la Licenciada **Mileidy Natali Santizo Zepeda** quien se identifica con carné 200319354.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 30 de octubre de 2019

**Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación de la estudiante Mileidy Natali Santizo Zepeda, Carné número 200319354, cuyo título es "**SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, COLONIA LAS ARCADIAS, ALDEA LO DE CARRANZA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestra en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que la estudiante Santizo Zepeda, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Antonio Rosal Chicas'. The signature is stylized and includes a circled '!!' at the end.

**Ing. José Antonio Rosal Chicas**  
M.A. en Energía y Ambiente  
Asesor

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Gracias por tu misericordia en mi vida. Por la fortaleza, sabiduría, paz, bendición que siempre se refleja en mi vida. Por guardar mi salida y mi entrada. Porque sin tu presencia no podría alcanzar todas mis metas.

### **Mi madre**

Ana Lucrecia Zepeda, gracias por su apoyo incondicional, eres mi mejor amiga, mi fortaleza, mi debilidad, gracias porque sin tu presencia, no estuviera terminando esta fase de mi vida. Gracias por enseñarme a ser perseverante, por ser mi roca. Gracias mami la amo.

### **Mi padre**

Abilio Elías Santizo por estar al pendiente de mi vida, por su apoyo, por ser ejemplo de lucha y trabajo. Gracias papá.

### **Mi hija**

Valentina Santizo Zepeda mi vida, mi tesoro, mi amor gracias por entender que todo el tiempo que no estuve a tu lado fue por alcanzar una de mis metas, para poder darte un mejor futuro, te amo.

**Mi hermana**

Claudia Mathamba Zepeda, por su cariño y apoyo. Te querré eternamente.

**Mis hermanos**

Dorian, Junior y Michael Santizo Zepeda, por su cariño y apoyo cuando los he necesitado. Mi cariño por ustedes es eterno.

**Mis abuelos**

Jenaro Zepeda Arroyo, por sus consejos, por estar presente en mi vida.

Ana López Solís (q. d. e. p.), quien se dedicó a nosotros en vida y desde donde se encuentre nos sigue cuidando.

Nicolás Santizo Gramajo (q. d. e. p.) y Emiliana Racanac Pixola (q. d. e. p.) por los momentos vividos que llevo en la mente y en el corazón.

**Mis sobrinos**

Joshua, Jada y Bailan Juárez Mathamba, Alison y Elisa Santizo Hernández, Mía y David Santizo Choy, Elisa Santizo Jetella por su amor incondicional, los amo con todo mi corazón y siempre están en mis pensamientos. Los amo.

## **AGRADECIMIENTO A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudio donde he formado mi vida profesional y he definido otros valores en mi persona.

**Facultad de  
Ingeniería**

Por brindarme el conocimiento que permite mi ejercicio profesional.

**Escuela de Estudios  
de Postgrado**

Por tener esta facilidad y proporcionarme más conocimiento para tener un mejor nivel educativo.

**Mi asesor**

Ing. José Antonio Rosal Chicas, por su amistad, apoyo y colaboración en este trabajo de investigación.

Gracias por la paciencia que siempre me tuvo, le agradezco mucho todo el tiempo que me dedicó. Dios bendiga su vida siempre.

**Mis profesores**

Por su apoyo, por los conocimientos compartidos con mi persona. En especial a Ing. Isabel López Tohom, Ing. Víctor de León, Ing. Feliz Aguilar, Ing. Marvin Mérida, Ing. José Rosal y Ing. Juan Fuentes.

**Mis compañeros**

Por su apoyo incondicional, en especial a Ingeniero. Luz Aldana, Ing. Rolando Mérida, Ing. Julio Álvarez, Ing. José de la Cruz, Ing. José Luna, Arq. Luis del Cid e Ing. Billy Rushford.

**Mis colaboradores**

Por su apoyo durante la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Residuos sólidos domiciliars.....	1
1.1.1. Generalidades de los residuos sólidos domiciliars.....	1
1.1.2. Composición de los residuos sólidos domiciliars.....	2
1.1.2.1. Materia orgánica.....	2
1.1.2.2. Materia inorgánica.....	3
1.1.3. Propiedades de los residuos sólidos domiciliars.....	3
1.1.3.1. Propiedades físicas.....	3
1.1.3.2. Propiedades químicas.....	6
1.1.3.3. Propiedades biológicas.....	9
1.2. Gestión de residuos sólidos domiciliars.....	10
1.2.1. Generación de los residuos sólidos domiciliars.....	11
1.2.2. Recolección de los residuos sólidos domiciliars.....	11
1.2.2.1. Recipiente de almacenamiento.....	12
1.2.2.2. Bolsas o sacos desechables.....	12
1.2.2.3. Contenedores con ruedas.....	12
1.2.2.4. Contenedores de gran capacidad.....	13

1.2.2.5. Contenedores para residuo clasificado.....	13
1.2.3. Transporte de los residuos sólidos domiciliarios .....	14
1.2.4. Manipulación de los residuos sólidos domiciliarios .....	16
1.2.5. Proceso de los residuos sólidos domiciliarios .....	17
1.2.5.1. Reciclaje de vidrio .....	17
1.2.5.2. Reciclaje de papel .....	17
1.2.5.3. Reciclaje de plástico.....	18
1.2.5.4. Reciclaje de metales .....	19
1.2.6. Compostaje.....	19
1.3. Impacto ambiental de los residuos sólidos domiciliarios.....	19
1.3.1. Normativos nacionales e internacionales sobre residuos sólidos .....	20
1.3.2. Contaminación del suelo.....	20
1.3.3. Contaminación del agua .....	21
1.3.4. Contaminación del aire .....	21
1.3.5. Contaminación del paisaje .....	21
1.4. Biodigestor .....	22
1.4.1. Funcionamiento básico .....	22
1.4.2. Criterios para el diseño de un biodigestor .....	22
1.4.3. Tipos de biodigestores .....	24
1.4.3.1. Pozo séptico.....	24
1.4.3.2. Biodigestores de domo flotante (indio) .....	24
1.4.3.3. Biodigestores de domo fijo (chino) .....	24
1.4.3.4. Biodigestores de estructura flexible .....	25
1.4.3.5. Biodigestor casero.....	25
1.4.4. Instalaciones de los biodigestores .....	25
1.5. Biogás .....	27
1.5.1. Composición del biogás .....	28
1.5.2. Propiedades del biogás.....	28

1.5.3.	Fases de fermentación anaerobia .....	29
1.5.3.1.	Hidrólisis .....	30
1.5.3.2.	Acido génesis .....	30
1.5.3.3.	Acetogénesis .....	31
1.5.3.4.	Metanogénesis .....	31
1.5.4.	Factor ambiental que influye en la fermentación.....	31
1.5.4.1.	Temperatura .....	31
1.5.4.2.	Grado de acidez (pH).....	32
1.5.5.	Adaptación de estufas a biogás.....	32
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
2.1.	Descripción del área .....	35
2.1.1.	Generalidades del municipio .....	35
2.1.1.1.	Localización.....	35
2.1.1.2.	Colonia Arcadias I.....	37
2.1.1.3.	Beneficiario.....	37
2.2.	Características de los residuos sólidos domiciliars.....	39
2.2.1.	Cálculo del número de muestras .....	39
2.2.1.1.	Tipo de Vivienda: las viviendas de la colonia Arcadias I cuentas con características variables.	39
2.2.2.	Recolección de datos .....	42
2.2.3.	Procedimiento para la recolección de datos y muestreo ....	47
2.2.3.1.	Solicitud de apoyo de parte de las familias .....	47
2.2.3.2.	Manejo y transporte .....	48
2.2.3.3.	Separación de los desechos sólidos domiciliars.....	50
3.	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	53
3.1.	Caracterización de los residuos sólidos domiciliars.....	53
3.2.	Beneficio de clasificar los residuos .....	56

3.3.	Desarrollo de biodigestor y producción de biogás .....	57
3.3.1.	Uso de biogás .....	58
3.4.	Beneficio ambiental .....	59
3.5.	Equivalente de generación efecto invernadero (GEI) .....	60
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	63
	CONCLUSIONES .....	67
	RECOMENDACIONES .....	69
	REFERENCIAS.....	71
	APÉNDICES .....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Peso de los residuos .....	4
2.	Volumen de los residuos .....	5
3.	Etapas de la gestión de residuos.....	10
4.	Contenedores con ruedas .....	12
5.	Clasificación de desecho .....	13
6.	Clasificación de residuos según ordenanza 11844/13.....	15
7.	Esquema de biodigestor .....	27
8.	Uso de biogás .....	33
9.	Municipio de San Juan Sacatepéquez.....	36
10.	Boque 1.....	38
11.	Colonia Arcadias I .....	38
12.	Población femenina .....	42
13.	Población masculina .....	43
14.	Estatus de vivienda .....	43
15.	Servicio de recolección.....	44
16.	Sin servicio de recolección .....	44
17.	Con servicio de recolección.....	45
18.	Vertedero 1 clandestino.....	46
19.	Vertedero 2 clandestino.....	46
20.	Vertedero 3 clandestino.....	47
21.	Superficie para clasificación de residuos .....	48
22.	Primer recolección.....	49
23.	Balanza .....	49
24.	Generación por vivienda.....	54

25.	Caracterización de residuos.....	55
26.	Biodigestor casero .....	57

## TABLAS

I.	Poder calorífico.....	5
II.	Componentes combustibles de los residuos .....	8
III.	Unidad de expresión para los residuos.....	11
IV.	Procesos en el tratamiento de residuos sólidos domiciliarios .....	16
V.	Composición del biogás.....	28
VI.	Tipo de viviendas.....	40
VII.	Servicios.....	40
VIII.	Residuos per cápita .....	53
IX.	Poder calorífico.....	55
X.	Residuo, peso y porcentaje .....	56
XI.	Beneficio por residuo inorgánico (1mes).....	56
XII.	Biogás equivalente por kg de materia orgánica .....	58
XIII.	Uso de biogás en una vivienda.....	59
XIV.	CO2 equivalente a combustibles fósiles .....	61

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Ácido sulfhídrico
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>h</b>	Altura
<b>w</b>	Ancho
<b>K</b>	Coefficiente de permeabilidad
<b>M</b>	Contenido de humedad
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrógeno
<b>pH</b>	Grado de acidez o alcalinidad de una solución
<b>GEI</b>	Gas de efecto invernadero
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>hab</b>	Habitantes
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno
<b>hrs</b>	Horas
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/hab/día</b>	Kilogramo por habitante por día
<b>kg/m</b>	Kilogramo por metro
<b>kg/m<sup>2</sup></b>	Kilogramo por metro cuadrado
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kw</b>	Kilowatt
<b>kwh</b>	Kilowatt hora
<b>l</b>	Largo

<b>lb</b>	Libra
<b>CH4</b>	Metano
<b>m</b>	Metro
<b>m2</b>	Metro cuadrado
<b>m3</b>	Metro cúbico
<b>msnm</b>	Metros sobre nivel del mar
<b>N2</b>	Nitrógeno
<b>N.</b>	Número de viviendas
<b>O2</b>	Oxígeno
<b>ppm</b>	Partes por millar
<b>k.</b>	Permeabilidad intrínseca
<b>y</b>	Peso
<b>Pi</b>	Peso de cada componente en los residuos
<b>W</b>	Peso inicial de la muestra
<b>%</b>	Porcentaje
<b>RSD</b>	Residuos sólidos domiciliarios
<b>Sc</b>	Tamaño del componente
<b>d</b>	Tamaño medio de los poros
<b>tn</b>	Tonelada
<b>μ</b>	Viscosidad dinámica del agua
<b>vol.</b>	Volumen
<b>W</b>	Watt.

## GLOSARIO

<b>Ácido sulfhídrico</b>	Gas incoloro, hediondo, inflamable, muy soluble en agua, compuesto de azufre e hidrógeno, que se origina en la putrefacción de las proteínas.
<b>Acuífero</b>	Dicho de una capa o vena subterránea que contiene agua.
<b>Aeróbico</b>	Que se produce con oxígeno.
<b>Anaerobio</b>	Que se produce sin la utilización de oxígeno.
<b>Biodegradación</b>	Descomposición natural de desechos sólidos, por medio de los agentes patógenos.
<b>Biodigestor</b>	Proceso de descomposición de una sustancia mediante la acción de organismos vivos.
<b>Biogás</b>	Gas obtenido por la degradación anaerobia de residuos orgánicos mediante bacterias, que se puede utilizar como combustible.
<b>Calorífico</b>	Perteneiente o relativo al calor.
<b>Compost</b>	Fertilizante natural procedente de los residuos orgánicos.

<b>Compostaje</b>	Proceso biológico aeróbico, que por él se obtiene del compost.
<b>Contaminación</b>	Acción y efecto de contaminar.
<b>Desintegrar</b>	Destruir por completo.
<b>Dióxido de carbono</b>	Gas más pesado que el aire, formado por la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno, que se produce en las combustiones y que es uno de los principales causantes del efecto invernadero.
<b>Disposición</b>	Acción y efecto de disponer.
<b>Energético</b>	Perteneciente o relativo a la energía.
<b>Fermentar Anaerobia</b>	Descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno.
<b>Generador</b>	Que genera.
<b>Hidrógeno</b>	Elemento químico de número atómico 1, el más ligero de todos y el más abundante en el universo, que, combinado con el oxígeno, forma el agua, y se utiliza como combustible y en la industria química.
<b>Humedad</b>	Agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>Inorgánico</b>	Dicho de una sustancia, que no tiene como componente el carbono.
<b>Latitud</b>	Distancia desde un punto de la superficie terrestre al ecuador, contada en grados de meridiano.
<b>Lixiviados</b>	Líquido residual, generalmente tóxico, que se filtra de un vertedero por percolación.
<b>Longitud</b>	Distancia angular medida en grados sobre el ecuador entre el meridiano de un punto y otro de referencia, actualmente el que pasa por Greenwich.
<b>Metano</b>	Hidrocarburo gaseosa, incoloro, poco soluble e inflamable, producido por la descomposición de sustancias orgánicas, siendo uno de los componentes del biogás.
<b>Monóxido</b>	Óxido cuya molécula contiene un solo átomo de oxígeno.
<b>Nitrógeno</b>	Elemento químico gaseoso de numero atómico 7, inerte, incoloro, inodoro e insípido, abundante en la corteza terrestre, presente en todos los seres vivos, que constituye las cuatro quintas partes del aire atmosférico en su forma molecular N <sub>2</sub> .

<b>Orgánico</b>	Dicho de una sustancia que tiene como componente el carbono y que forma parte de los seres vivos.
<b>Oxígeno</b>	Elemento químico de número atómico 8, representado por el símbolo O, es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Cerca de una quinta parte del aire es oxígeno.
<b>Peso bruto</b>	Peso total, incluido la tara.
<b>Permeabilidad</b>	Cualidad de permeable. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.
<b>Porosidad</b>	Cualidad de poroso.
<b>Reciclaje</b>	Proceso en el que materiales de residuos son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.
<b>Reutilización</b>	Acción y efecto de reutilizar.
<b>Residuo</b>	Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo.
<b>Separación</b>	Acción y efecto de separar o separarse.

<b>Temperatura</b>	Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K).
<b>Vertedero</b>	Lugar donde se vierten basuras o escombros. Instalación física utilizada para deposición de residuos sólidos.
<b>Volumen</b>	Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones, largo, ancho y alto, y cuya unidad de sistema internacional es el metro cúbico (m <sup>3</sup> ).



## **RESUMEN**

Este estudio se realizó con la finalidad del aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios que generan los vecinos de la colonia Arcadias I del municipio de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala y con ello no lleguen a vertederos clandestinos o terrenos baldíos, generando problemas de salud.

En el desarrollo de este estudio fueron ejecutadas varias fases para definir el tratamiento adecuado que se les dio a los residuos sólidos domiciliarios, utilizando los métodos más sencillos para que los vecinos comprendieran de forma fácil y rápido como caracterizar los residuos y se motivaran para que fueran reciclados y obtuvieran beneficios.

Se inició con la definición del área de la colonia Arcadias I, se realizaron las encuestas y se obtuvieron los datos de población femenina, población masculina, estatus de vivienda, nivel económico, clima, servicios, generando información para realizar el proceso de la caracterización de los residuos.

Se investigó el proceso de recolección de los residuos sólidos domiciliarios que realiza una entidad privada, definiendo que realizan 3 extracciones de residuos a la semana, como dato extra se obtuvo la situación actual de los vecinos que, si pagan el servicio de recolección y los que no, los residuos sin disposición final son incinerados o depositados en lugares no definidos.

Se realizó el proceso para dar la información a los vecinos de la clasificación, posteriormente los vecinos separaron los residuos, se recolectaron y fueron trasladados al punto de clasificación, en la valuación de los residuos se generó la información de cantidad y características de estos teniendo como prioridad la materia orgánica.

Al ejecutar la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios, se definió la cantidad que produce cada habitante aproximadamente 0.53 kg/hab/día de residuos, de los cuales el 64.1 % son de tipo orgánico y el 35.9 % son de tipo inorgánico, de la parte inorgánica la mayoría es cartón seguido del plástico.

La contaminación ambiental que se genera con el uso excesivo de combustibles fósiles y la falta de reciclaje de los residuos se une a la problemática del gas de efecto invernadero aumentando los daños ambientales, por lo cual uno de los objetivos es crear conciencia en la población, del uso de materia orgánica con la finalidad de producir biogás.

El biogás es una fuente de energía alternativa utilizada en otros países, por lo cual se implemente la construcción de un biodigestor casero a nivel domiciliario, con el cual se aprovechará la parte orgánica ya antes mencionada.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional genera el aumento de residuos sólidos domiciliarios (RSD) y la falta de manejo de los residuos trae consigo problemas de contaminación ambiental, vertederos clandestinos contaminación del aire, contaminación de agua tanto superficiales y subterráneos por los lixiviados de la basura que se filtran en el suelo, provocando problemas de salud en la población especialmente en los niños y adultos mayores.

En la actualidad no existe algún manejo de los RSD para reducir, reciclar o reutilizarlos por lo cual se hizo la implementación de un sistema de clasificación de residuos sólidos domiciliarios para la producción de biogás en la colonia Arcadias I, municipio de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala.

El estudio presente sirve como una herramienta de información sobre la clasificación y tratamiento de los RSD, el estudio tiene varios beneficios como el de aprovechar los RSD en la materia orgánica para la producción de bigas, bioabono y remuneración económica al vender la parte inorgánica, a las comunidades aledañas para que los usen como ejemplo la caracterización de los desechos, a la municipalidad de San Juan Sacatepéquez y a todo el que requiera información de cómo clasificar los RSD.

Se hizo una caracterización de los RSD de la colonia Arcadias I, recolectando los residuos sólidos de una semana, en diez viviendas para obtener los datos de la cantidad generada por cada persona, se aplicó un sistema de

separación de residuos sólidos domiciliarios teniendo como principal objetivo el aprovechamiento de la parte orgánica, lo necesario para llevar a cabo esta investigación fue proporcionado por el estudiante, tanto económica como académicamente, para realizar una propuesta de un sistema de clasificación de residuos para producir biogás.

En el capítulo 1 se encuentran las bases teóricas del manejo de residuos sólidos domiciliarios, impacto ambiental, biodigestores, biogás y sus principales preceptos. En el capítulo 2 se hizo la recolección de datos, para el diseño del sistema de caracterización y configuración de equipos y los datos correspondientes para el uso del biogás. En el capítulo 3 se fabricó el biodigestor casero para la obtención de biogás obtenido y su aprovechamiento, manifestando el uso de este. Finalmente se presentaron las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El crecimiento poblacional de la colonia Arcadías I, provoca el aumento de residuos sólidos domiciliarios y esto trae consigo problemas de salud y problemas de contaminación ambiental. Este tema es a nivel mundial y es preocupante referido al tema de reciclaje, dado a que los residuos sólidos domiciliarios (RSD) es uno de los principales causantes de la contaminación ambiental, provocada por los humanos, desde la revolución industrial.

El ente encargado de cumplir con la función de aseo y ornato, son las municipalidades, función que no está claramente definida en la colonia no existen lugares de disposición final para los RSD en la colonia Arcadías y por ello se forman vertederos a las orillas de las calles, provocando el aumento de animales rastreros y consigo problemas de salud.

Los lixiviados de la basura se filtran en la tierra y hacen contacto con los acuíferos subterráneos contaminando las aguas de consumo humano, los problemas de salud son más frecuentes para las familias que residen alrededor de los vertederos.

El problema por investigar se planteó con la clasificación de los residuos sólidos domiciliarios, en la colonia arcadías I, para terminar la cantidad de materia orgánica y con esto representar la producción de biogás.

Lo que lleva a la principal interrogante por responder:

¿Se podrá implementar un sistema de clasificación de residuos sólidos domiciliarios para la producción de biogás, en la colonia Arcadias, aldea lo de Carranza, San Juan Sacatepéquez?

Al determinar los residuos sólidos domiciliarios:

- ¿Cuál es la cantidad de RSD que genera las personas?
- ¿Qué tipo de RSD generan las personas?
- ¿Cuál será el mejor sistema de clasificación de RSD para el aprovechamiento de la materia orgánica?
- ¿Se puede producir biogás con la materia orgánica de los RSD?
- ¿Tendrá beneficio ambiental clasificar los RSD?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar un sistema de clasificación de residuos sólidos domiciliarios para la producción de biogás, colonia las Arcadias, aldea lo de Carranza, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

### **Específicos**

- Definir cuántos residuos sólidos domiciliarios (RSD) produce cada persona, en un periodo de una semana.
- Identificar cuáles son los RSD que genera cada persona.
- Determinar el aprovechamiento de la parte orgánica e inorgánica.
- Fabricar un biodigestor casero para evaluar si se puede producir biogás.
- Comparar el beneficio ambiental del aprovechamiento de la clasificación de los residuos sólidos domiciliarios.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, considerado para el diseño de un sistema de clasificación de residuos sólidos domiciliarios (RSD) para la producción de biogás, la colonia Arcadias I, actualmente está a cargo de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala, la colonia tiene un área de 29,500 m<sup>2</sup> aproximadamente, cuenta con 138 lotes, el área está definida como domiciliar con un nivel económico medio- bajo, los estudios necesarios para esta investigación nunca se habían realizado en esta área, dicha investigación servirá para referenciar el beneficio ambiental de clasificar los residuos sólidos domiciliarios.

Las encuestas realizadas sirvieron para generar graficas referenciando las edades de la población, tipo de vivienda, servicios, tipo de residuo, disposición de los residuos.

Teniendo identificada las 10 viviendas para la recolección de los RSD, los vecinos que colaboraron con esta investigación clasifican los residuos en orgánicos e inorgánicos, recolectando dos muestras por cada vivienda durante 7 días, estableciendo la base de la caracterización de los RSD.

Se realizó el proceso de traslado y se clasificaron los residuos, determinando la materia orgánica generada, en total se recolectaron 70 muestras, con un 80 % de efectividad en las muestras.

Se definió la materia orgánica por cada habitante equivalente a 0.34 kg/hab/día, sirvió de base para el cálculo del biodigestor casero, dimensionando con esto, volumen de trabajo, agua, biogás.

Así también la temperatura entre los 25 °C y 40 °C, pH ideal es de 7, ausencia de oxígeno sin fugas, materia orgánica, implementando el uso de materiales adecuados para la construcción del biodigestor se define que es necesario lo siguiente:

- Recipiente (varía según la materia prima)
- Conectores
- Llaves de paso
- Manguera de gas
- Manguera transparente
- Manómetro
- Equipo de seguridad personal.
- Llave de paso
- Tubería de PVC
- Sierra
- Pegamento
- Coplas
- Reducidores

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Residuos sólidos domiciliarios**

“Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) los residuos son: aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producidas” (Chicohay, 2014, p. 10).

Los residuos aumentan cada año, con el crecimiento de la población y sin manejo de estos genera problemas.

En cuanto a los términos generales, Nuestra Esfera (2014) explica que cuando hablamos de basura o desechos se tiene que hacer a la idea que es un sobrante que no se reutiliza, ahora si nos referimos a los residuos estos si son reutilizables y los residuos domiciliarios específicamente comprendes restos de alimentos, papeles, cartones, metales, plásticos y vidrios, entre otros.

### **1.1.1. Generalidades de los residuos sólidos domiciliarios**

En cuanto a la importancia de tomar las variaciones de los residuos, se tiene cierta flexibilidad para los cambios a futuro, adaptándose a los cambios y composición de los residuos, tecnologías nuevas, mercadeo diferente, reciclables, no reciclables (Randon, 2016).

En cuanto a términos generales, Randon (2016) explica que la composición de los residuos es diferente para cada lugar de recolección, ya que varían según

la población, pero más que nada dependen del nivel de vida, el clima y el día de la semana.

La energía y materiales que son utilizados para la elaboración de envases y productos que posteriormente son desechados, con frecuencia provienen de recursos no renovables como el petróleo y minerales o de otros recursos naturales indispensables para el sostenimiento de la vida en el planeta (Monterrey, 2017).

### **1.1.2. Composición de los residuos sólidos domiciliarios**

Estos se dividen en dos grandes tipos orgánico e inorgánico, si la colonia está en un nivel desarrollado serán menos residuos orgánicos generados y mayores los residuos inorgánicos, si la colonia está en vías de desarrollo los residuos inorgánicos serán en menor cantidad.

#### **1.1.2.1. Materia orgánica**

“Los residuos orgánicos, son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores” (Jaramillo, 2008, p. XVII). En cuanto a la importancia de los desintegradores, Chicohay (2014) explica que los principales son las bacterias y las lombrices.

Sobre la materia orgánica con más valor de reutilización, Chicohay (2014) nos indica que el papel y el cartón son materiales orgánicos, contando con un valor extra de reutilización ya que al volverlo a procesar se convierte nuevamente en papel y cartón.

### **1.1.2.2. Materia inorgánica**

“Los residuos inorgánicos son los elaborados con materiales que no se descomponen o tardan largo tiempo en descomponerse como: plásticos, metales y vidrio, también entre ellos se incluyen el papel y el cartón” (Chicohay, 2014, p. 26).

La materia o residuos inorgánicos se basan en compuestos de carbono y las más comunes son: dióxido de carbono, amoníaco, agua, cloruro de sodio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y minerales.

### **1.1.3. Propiedades de los residuos sólidos domiciliarios**

Los residuos tienen diferentes propiedades, dentro de ellas podemos destacar, las propiedades físicas, las propiedades químicas y las propiedades biológicas.

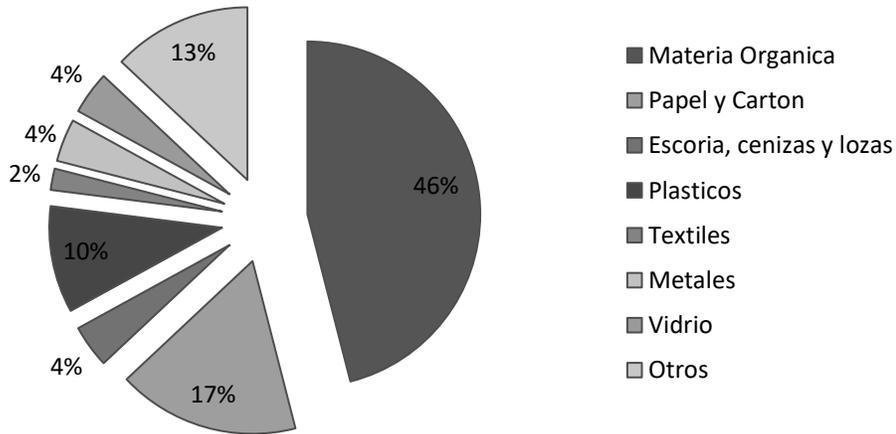
#### **1.1.3.1. Propiedades físicas**

Las propiedades más importantes de los residuos para hacer referencia se utiliza unidad de peso (gramo, kilogramo, tonelada).

Se hace referencia a si el peso es húmedo o seco, es decir si los residuos contienen o no humedad, también referidos a espacios sin uso como cajas sin doblar, separación, transformación.

- **Peso específico:** nos sirve principalmente para determinar el volumen ocupado por una masa de residuos, (kg/m<sup>3</sup>) (Gestión Integral, 2010).

Figura 1. **Peso de los residuos**



Fuentes: elaboración propia, con datos obtenidos de Rondón (2018).

*Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.*

- Tamaño de residuo: en términos generales, Rondón (2018) considera importante el tamaño de los residuos para definir la parte que se puede recuperar.

$$Sc = l$$

$$Sc = (1 + w) 1/2$$

$$Sc = (1 + w + h) 1/3$$

Donde:

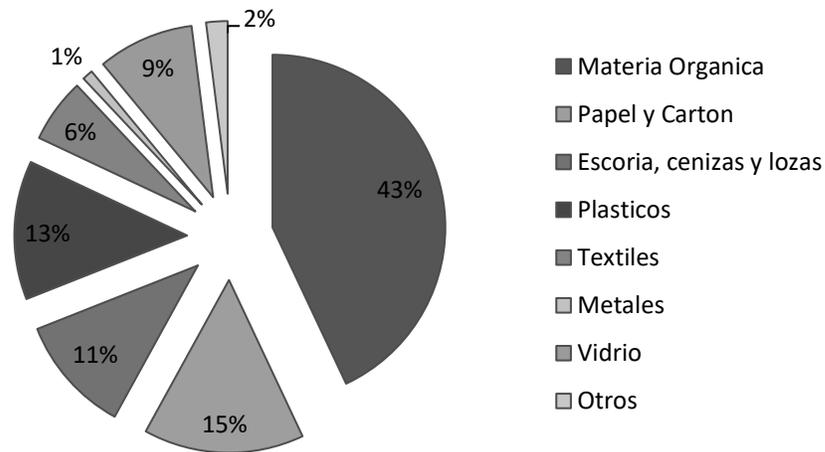
Sc = Tamaño del componente (mm)

w = Ancho (mm)

l = Largo (mm)

h = Altura (mm)

Figura 2. Volumen de los residuos



Fuentes: elaboración propia, con datos obtenidos de López (2007).  
*Manejo de los residuos Sólidos en Honduras.*

- Capacidad de campo: se define como la cantidad de agua que puede retener el suelo, es importante para determinar la formación de lixiviados en los vertederos.

Tabla I. Poder calorífico

Tipo	Porcentaje
Mat. Orgánica	49.8 %
Papel	4.9 %
Cartón	15.8 %
Escoria, Ceniza	1.00 %
Plástico	17.7 %
Textiles	4.5 %
Metales	2.3 %
Vidrio	2.5 %
Otros	1.5 %

Fuente: elaboración propia, empleando datos del Instituto Costarricense de Electricidad.

- Porosidad: la composición de los desechos está directamente asociado a las variaciones en la porosidad.

$$K = Cd^2 \gamma/\mu = k \gamma/\mu$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad.

C = Constante sin dimensiones o factor de forma.

d = Tamaño medio de los poros.

$\gamma$  = Peso específico del agua.

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua.

k = Permeabilidad intrínseca.

### 1.1.3.2. Propiedades químicas

En cuanto a la percepción general, Aulaga (2012) explica que la composición química de los componentes que integran los residuos sólidos urbanos se tiene que evaluar, para optar y mejorar las opciones de procesamiento y recuperación, indica la viabilidad de la incineración, combinación de residuos semihúmedos, de combustión, teniendo propiedades importantes a conocer como el análisis físico, punto de fusión de las cenizas, análisis elemental y su contenido energético de los residuos sólidos domiciliarios.

- Análisis físico: para realizar un análisis físico se realizan los siguientes ensayos a los residuos sólidos.

La humedad (perdida de humedad cuando se calienta a 105 °C durante una hora), materia volátil combustible (pérdida de peso

adicional por ignición a 950 °C), carbón fijo (rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil), ceniza (peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto). (Aulaga, 2012, p. 19)

- Punto de fusión de las cenizas: La temperatura es parte fundamental en el ensayo de la fusión. Se define como la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos se transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración.

Las temperaturas típicas de fusión para la formación de escorias de residuos sólidos oscilan entre 1.100 °C y 1.200 °C. (Aulaga, 2012, p. 19)

- Análisis elemental de los componentes: este ensayo determina los porcentajes de los elementos que contiene cada residuo. Normalmente implica la determinación del porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y ceniza.

Debido a la creciente preocupación por la emisión de compuestos clorados durante la combustión, frecuentemente se incluye la determinación de halógenos en el análisis elemental.

Contenido energético: se determina de diferentes maneras. Utilizando una caldera a escala real como calorímetro, Utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio, por cálculo, si se conoce la composición elemental. (Aulaga, 2012, p. 19)

Tabla II. **Componentes combustibles de los residuos**

<b>Porcentaje sin humedad</b>						
<b>Componente</b>	<b>Carbón</b>	<b>Hidrógeno</b>	<b>Oxígeno</b>	<b>Nitrógeno</b>	<b>Azufre</b>	<b>Cenizas</b>
<b>Orgánicos</b>						
Residuos de Comida	48.00	6.40	37.60	2.60	0.40	5.00
Papel	43.50	6.00	44.00	0.30	0.20	6.00
Cartón	44.00	5.90	44.60	0.30	0.20	5.00
Plástico	60.00	7.20	22.80	-	-	10.00
Textiles	55.00	6.60	31.20	4.60	0.15	2.50
Goma	78.00	10.10	-	2.00	-	10.00
Cuero	60.00	8.00	11.60	10.00	0.40	10.00
Residuos de Jardín	47.80	6.00	38.00	3.40	0.30	4.50
Madera	49.50	6.00	42.70	0.20	0.10	1.50
<b>Inorgánico</b>						
Vidrio	0.50	0.10	0.40	<0.10	-	98.90
Metal	4.50	0.60	4.30	<0.10	-	90.50
Suciedad, Ceniza, Otro	26.30	3.00	2.00	0.50	0.20	68.00

Fuentes: elaboración propia, con datos obtenidos de Aulaga (2012).

*Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.*

### 1.1.3.3. Propiedades biológicas

- Clasificación: en cuanto al análisis biológico, Aulaga (2012) define que si retiramos el plástico, la goma y el cuero, la mayoría de los residuos sólidos se pueden clasificar en su fracción orgánica de la siguiente manera.

Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos, y diversos ácidos orgánicos.

Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos. Celulosa, un producto de condensación de glucosa con seis carbonos.

Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.

Lignina, un material polímero que contiene anillos aromáticos con grupos metoxi (CH<sub>3</sub>O), cuya fórmula exacta aún no se conoce. (Presente en algunos productos de papel como periódicos y en tablas de aglomerado).

Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.

Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

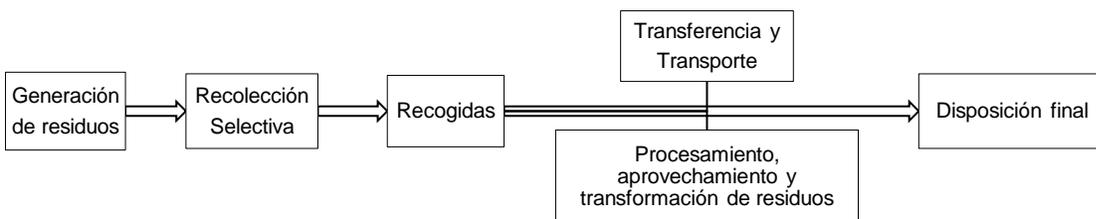
- Biodegradabilidad de los componentes: en cuanto al análisis de biodegradabilidad, Aulaga (2012) define que el residuo con más lignina es el papel periódico, siendo este el menos biodegradable.

- Producción de olores: en cuanto a la producción de olores, Aulaga (2012) se generan cuando los residuos pasan mucho tiempo almacenados, ya sea en el área de la vivienda, en el área de transferencia, en los vertederos, nos indica que en clima caluroso se genera más rápido los olores.
- Reducción de moscas: en cuanto a las moscas, Aulaga (2012), en la estación de verano y siempre que este el clima caluroso, la reproducción de las moscas, las moscas pueden desarrollarse en menos de dos semanas después de poner los huevos

## 1.2. Gestión de residuos sólidos domiciliarios

Dentro de su ámbito, la gestión de residuos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación y de ingeniería involucradas en las soluciones de todos los problemas de los residuos sólidos. Las soluciones pueden implicar relaciones interdisciplinarias complejas entre campos como la ciencia política, el urbanismo, la planificación regional, la geografía, la economía, la salud pública, la sociología, la demografía, las comunicaciones, la conservación, así como, la ingeniería y la ciencia de los materiales. (Aulaga, 2012, p. 30)

Figura 3. **Etapas de la gestión de residuos**



Fuentes: elaboración propia, con datos obtenidos de Rondón (2018).

*Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.*

### 1.2.1. Generación de los residuos sólidos domiciliarios

En cuanto a la generación de los residuos, Rondón (2018) define la importancia de saber el tipo de residuo generado, doméstico, comercial, industrial, agrícola, para evaluar la gestión de estos.

### 1.2.2. Recolección de los residuos sólidos domiciliarios

En cuanto al tema de recolección de los residuos, Rondon (2018) tiene como principal objetivo estimar la cantidad de residuos sólidos, lo ideal es definir la ruta de recolección para ser eficaces, los horarios, tipo de transporte y la operación de los residuos en su fase de disposición final.

Tabla III. **Unidad de expresión para los residuos**

<b>Tipo de residuos</b>	<b>Unidad de expresión</b>
<b>Domésticos</b>	kg/hab/día, utilizada por la estabilidad relativa de la producción de residuos domésticos en una determinada localización
<b>Comerciales</b>	kg/hab/día, actualmente, esta expresión proporciona poca información útil sobre la naturaleza de la generación de residuos sólidos en las fuentes comerciales. El uso de tales factores permitiría establecer comparaciones.

Fuente: elaboración propia, empleando datos del Instituto Costarricense de Electricidad.

### **1.2.2.1. Recipiente de almacenamiento**

Por lo general son de plástico y algunos tienen tapadera para evitar los malos olores y la formación de vectores.

### **1.2.2.2. Bolsas o sacos desechables**

En la mayoría de los países se usan de plástico, modificando los reglamentos ya se están introduciendo las bolsas de papel, implementando algunas con cierre para evitar derrames mejorando la recolección.

### **1.2.2.3. Contenedores con ruedas**

Recipiente de basura usualmente de plástico, equipado con ruedas, tapa con bisagra, generando facilidad para trasladarlo, más resistentes.

Figura 4. **Contenedores con ruedas**



Fuente: [Fotografía de Formato Verde]. (España. 2012). España.

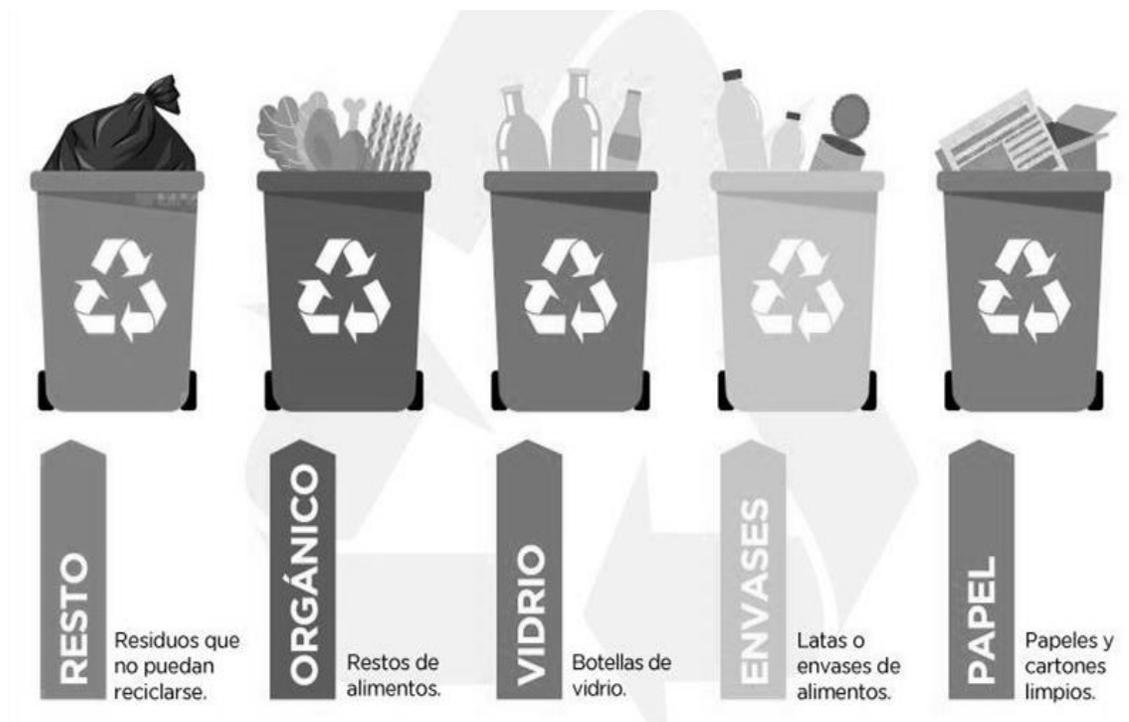
#### 1.2.2.4. Contenedores de gran capacidad

Por lo general son de lámina de acero reforzado, con ganchos laterales para su transporte, pueden estar abiertos o cerrados según sea el uso, capacidad máxima de 30 metros cúbicos.

#### 1.2.2.5. Contenedores para residuo clasificado

Generalmente fabricados de plástico, según sea el uso varía la capacidad, se fabrican con más resistencia por el tipo de residuo: plásticos, vidrio, cartón o papel, latas. Al usar este tipo de contenedor favorece el transporte y la recuperación de los residuos reutilizables.

Figura 5. Clasificación de desecho



Fuente: Postposmo (2019). *Código para la recolección de residuos*

### **1.2.3. Transporte de los residuos sólidos domiciliarios**

En cuanto al transporte de los residuos sólidos domiciliarios, Rondon (2018) indica que se debe de tomar en cuenta el tiempo del recolector desde que vacía el primer depósito hasta que descargue la última recolección.

En cuanto al transporte de los residuos sólidos domiciliarios, Rondon (2018) maneja las alternativas sobre el equipo de recolección, presentando las diferentes transportes y definiendo la unidad equivalente a hombre/minuto por tonelada.

- Camión: “tiempo gastado por el empleado en el vehículo, ya sea en recorrido, compactando la basura o esperando” (Rondon, 2018, p. 55).
- Calle: “tiempo ocupado por el empleado en caminar por la calle o acera” (Rondon, 2018, p. 55).
- “En la propiedad; tiempo gastado por el empleado al caminar dentro de las propiedades privadas” (Rondon, 2018, p. 55)
- “En el recipiente; tiempo destinado a clasificar los residuos en un recipiente adecuado de recolección en el interior del hogar” (Rondon, 2018, p. 55).

“Esta operación requiere un trabajo adicional obligando al personal de limpieza pública a entrar a la casa y normalmente vaciar los residuos a un recipiente liviano y de mayor tamaño, recipiente de traspaso, el cual se completa con varios servicios antes de llevarlo al camión” (Carranza, 2011, p. 52).

- En carga; tiempo usado en vaciar la basura en el vehículo transportador. Incluye el tiempo empleado desde la iniciación de la descarga hasta que el operario tiene totalmente vaciado el recipiente o ha completado la operación de descarga.
- En espera, tiempo utilizado por el empleado en espera del camión durante la operación de carga.
- En descanso; tiempo improductivo del empleado (conversaciones o actividades personales) (Rondon, 2018, p. 56).

Este no incluye el tiempo indispensable a otros propósitos, como tiempo de alimentación en horas de trabajo, tiempo requerido para obtener combustible, tiempo de atención al público o a los supervisores.

Figura 6. **Clasificación de residuos según ordenanza 11844/13**



Fuente: Dirección de Ambiente (2014). *Separación de residuos para grandes generadores.*

#### 1.2.4. Manipulación de los residuos sólidos domiciliarios

Los residuos pueden ser clasificados antes de una disposición final, los procesos mecánicos, térmicos y biológicos, aprovechando los residuos sólidos domiciliarios.

Tabla IV. **Procesos en el tratamiento de residuos sólidos domiciliarios**

<b>Mecánicos</b>	<u>Clasificación</u> : en función del interés económico o como paso previo a un procesamiento posterior.
	<u>Trituración</u> : homogeniza todos los residuos a un mismo tamaño, para facilitar el manejo.
	<u>Compactación</u> : reduce los espacios vacíos (densifica los residuos).
<b>Térmicos</b>	<u>Incineración</u> : quema controlada, a alta temperatura, en equipos especiales diseñados y como dispositivos de control ambiental.
	<u>Pirolisis</u> : degradación térmica de los residuos en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo, a temperatura inferior a la de la incineración, que produce líquidos y gases de alto contenido energético, y menos contaminación atmosférica.
<b>Biológicos</b>	<u>Aeróbico</u> : indicado para estabilización y compostaje. Sus productos principales son el agua, el dióxido de carbono y el calor.
	<u>Anaeróbico</u> : importante en la producción de metano. La degradación de los residuos es más lenta y genera ácidos grasos, acético y otros de bajo peso molecular, inclusive algunos gases bastante con mal olor y tóxico.

Fuente: elaboración propia, empleando datos del Instituto Costarricense de Electricidad.

### **1.2.5. Proceso de los residuos sólidos domiciliarios**

Se analizan los elementos para seleccionar, aprovechar y transformar los residuos sólidos domiciliarios, previo a la disposición final.

#### **1.2.5.1. Reciclaje de vidrio**

La mayor parte del material de vidrio proviene en presentaciones de botellas de bebidas, envases de alimentos, ventanas. Algunos de los residuos no son reciclables como: focos de luz, espejos, lámparas, macetas, lentes, otro, el porcentaje recuperado del 100 % producido, es entre 6-10 %.

En cuanto al tema de la reutilización, Chicohay (2014), menciona que en su ensayo es posible que cada botella de vidrio puede ser utilizada de 40 a 60 veces, después de un lavado intenso, y su gasto energético del 5 % respecto a reciclarlo

Es químicamente inerte, se puede moldear y gravar, es 100 % reciclable y mantiene el 100 % de sus cualidades, ahorro de 1200 Kg. de materia primas por cada tonelada de vidrio usado, ahorro de energía al no tener que poner materia prima de nuevo, disminuye el número de residuos sólidos en los vertederos, reducir la extracción de materia prima para la fabricación de más botellas. (Chicohay, 2014, p. 72)

#### **1.2.5.2. Reciclaje de papel**

Los productos varían desde periódicos, hojas, folletos, revistas, facturas. Por ello cada uno debe de ser separado por características iguales. Los procesos para reciclar el papel.

- Clasificación, preparación y embalaje

- Operación de pulpado
- Eliminación de objetos
- Destintado
- Lavados y espesados sucesivo
- Secado

Ventajas de reciclar el papel basada en (Molina, 2018)

- Se evita la tala de arboles
- Se reduce en un 85 % el consumo de agua y un 65 % de energía
- Se disminuye los efluentes contaminantes en un 35 %
- Se reduce la exportación de madera.

### **1.2.5.3. Reciclaje de plástico**

El plástico si se desintegra, por medio de pirolisis, hidrogenación, gasificación y tratamiento con disolvente.

Ventajas de reciclar el plástico:

- Ahorro de materia prima y energía
- Reduce la cantidad de residuos al tratar por otro sistema
- Disminuye el impacto ambiental o alteración del paisaje que suponen los plásticos desperdigados por el suelo.

#### **1.2.5.4. Reciclaje de metales**

Se funde el metal, con el fin de darle un nuevo uso. Los más comunes son el Cobre, el Acero y el Aluminio. Es mejor fundir un metal ya usado y no fabricar uno nuevo.

#### **1.2.6. Compostaje**

“El compostaje consiste en la descomposición controlada de materiales orgánicos como son frutas, verduras, podas, hojas, etc., por medio de un proceso biológico, donde interactúan microorganismos, oxígeno y factores ambientales, tales como la humedad y la temperatura” (Chicohay, 2018, p.76 ).

El resultado del proceso orgánico lo llamamos "compost", es un abono y no un fertilizante, es más bien un regenerador orgánico del suelo. Sus efectos positivos sobre el suelo son:

- Suelta los terrenos compactados y compacta los demasiado sueltos.
- Favorece el abonado químico al evitar la percolación.
- Alta capacidad de retención de agua por el suelo.
- Es fuente de elementos nutritivos (nutrientes más oligoelementos).
- Aumenta la materia orgánica del suelo. (Chicohay, 2018, p. 76)

### **1.3. Impacto ambiental de los residuos sólidos domiciliarios**

Los residuos sólidos existen desde la antigüedad junto a la humanidad, así como el aumento de población y de los residuos, generan un gran impacto ambiental negativo por el inadecuado manejo.

El problema no solo afecta al medio ambiente, sino también a los seres humanos. Este impacto es tan negativo por el inadecuado manejo de los residuos.

### **1.3.1. Normativos nacionales e internacionales sobre residuos sólidos**

Ministerio de Ambiente y recursos naturales: el MARN es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público (MARN, s.f.).

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social: el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de la República de Guatemala (MSPAS, s.f.).

Le corresponde formular las políticas y hacer cumplir el régimen jurídico relativo a la salud preventiva y curativa y a las acciones de protección, promoción, recuperación y rehabilitación de la salud física y mental de los habitantes del país y a la preservación higiénica de medio ambiente (MSPAS, s.f.).

Ministerio de Desarrollo Urbano: el ente se encarga de organizar, coordinar las actividades públicas. Mediante la formulación de políticas de desarrollo, planes y programas para coordinar. Decreto 11-2002.

### **1.3.2. Contaminación del suelo**

Si se dice contaminación del suelo se refiere a que el suelo naturalmente es contaminado por agentes externos, sustancias o elementos sólidos, líquidos o gaseosos que afectan la biota edifica, las plantas, la vida animal y la salud humana.

Esto crea microfaunas habitadas por bacterias, hongos, musgos, lombrices.

### **1.3.3. Contaminación del agua**

El cuerpo de agua se contamina por los vertederos clandestinos y los rellenos sanitarios, cuando llueve se generan sustancias tóxicas llamadas lixiviados, filtrándose en el subsuelo y llegando al manto freático.

El recurso hídrico se contamina con la presencia de residuos sólidos como:

- Materia orgánica: microorganismos, oxígeno y bacterias.
- Obstrucciones: desechos grandes (colchones, escombros), basura, bolsas.
- Tratamiento: costos altos para que sea de consumo humano.
- Impactos: fauna, flora, costas, playas, pesca, recreación.

### **1.3.4. Contaminación del aire**

El aire se contamina cuando se generan incendios en los basureros o vertederos clandestinos, liberándose grandes cantidades de CO<sub>2</sub> los cuales afectan la atmósfera y la salud de los seres vivos, también las que se dispersan por el aire.

### **1.3.5. Contaminación del paisaje**

El paisaje no es tomado como recurso, pero es uno de los que se contamina por estar los desechos expuestos, genera problemas de mal humor, dolor de cabeza y estrés.

## **1.4. Biodigestor**

El biodigestor nace por la necesidad de energía, aprovechando los residuos sólidos domiciliarios y siendo esta una energía alternativa. Formando un ahorro al no tener que comprar gas, sobre todo en las áreas rurales.

### **1.4.1. Funcionamiento básico**

En cuanto al tema de las funciones básicas de un biodigestor, Santa fe (2018) el biodigestor es un contenedor cerrado, herméticamente, dentro del cual se colocan los residuos orgánicos para que se desintegren, formando gas metano, fertilizando, bioabono.

### **1.4.2. Criterios para el diseño de un biodigestor**

Sobre los criterios requeridos para diseñar un biodigestor tenemos lo siguiente, Santa fe, (2018) sobre el sustrato se recomienda la materia orgánica ya sea de origen animal o vegetal, se debe evitar los residuos que no sean orgánicos, también el tamaño no debe de ser grande no mayor de una manzana, el agua es fundamental para un buen funcionamiento del biodigestor.

Factores humanos

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos
- Disponibilidad de materia prima.

### Factores biológicos

- Enfermedades y plagas, tanto humanas, como pecuarias y agrícolas

### Factores físicos

- Localización (urbana, rural o semi-urbana, la latitud, longitud y altitud).
- Climáticos (temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección).
- Vías de acceso.
- Topografía (plano, ondulado, o quebrado)
- Suelos (textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica)

### Factores de construcción

- Técnicas de construcción

### Factores utilitarios

- Función principal
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor es doméstica o familiar.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m<sup>3</sup> / digestor; si es mediano de 12 a 45 m<sup>3</sup> digestor y si es grande de 45 a 100 m<sup>3</sup> / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases.

### **1.4.3. Tipos de biodigestores**

A continuación, se presenta la clasificación de los biodigestores:

#### **1.4.3.1. Pozo séptico**

“Es el más antiguo y sencillo digestor anaerobio que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico” (Habitat, 2005, p. 7).

#### **1.4.3.2. Biodigestores de domo flotante (indio)**

Este biodigestor consiste en un tambor, hecho de acero reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar la corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 a 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi continuamente a través de una tubería de entrada. (Habitat, 2005, p. 7)

#### **1.4.3.3. Biodigestores de domo fijo (chino)**

Este reactor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 m de agua. Esta instalación tiene como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como

promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático (Habitat, 2005, p. 8).

#### **1.4.3.4. Biodigestores de estructura flexible**

La inversión alta que exigía construir el biodigestor de estructura fija resultaba una limitante para el bajo ingreso de los pequeños granjeros. En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de esta. (Habitat, 2005, p.9)

#### **1.4.3.5. Biodigestor casero**

Los usos para este biogás podrían ser cocinar algunos alimentos, calefacción para estancias, iluminación o simplemente para proyectos o experimentos caseros (Ecoinventos, 2020).

El biodigestor debería construirse de acuerdo con la disponibilidad de recursos y no tratar de hacerlo exactamente con los materiales típicos de un modelo base. El Biodigestor casero está en fase experimental, lo cual constituye una unidad de pruebas, recopilación de información más como fuente estable de biogás para uso doméstico (Ecoinventos, recuperado 2020).

#### **1.4.4. Instalaciones de los biodigestores**

- Definir el tamaño del biodigestor y la entrada de materia (1 tanque de 120lts. 1 tapón de 4", tubo de PVC de 3")
- Adaptador de 1" para conectar una válvula de salida

- Válvula de esfera de PVC
- Un conector de tanque de ½ “
- Válvula de esfera con rosca de ½
- Manguera
- Adaptador para manguera
- Tubo de llanta
- Bote plástico con rosca (transparente)
- Materia orgánica
- Agua
- Embudo
- Codos PVC
- Tee
- Llave selectora

#### Ventajas del biodigestor

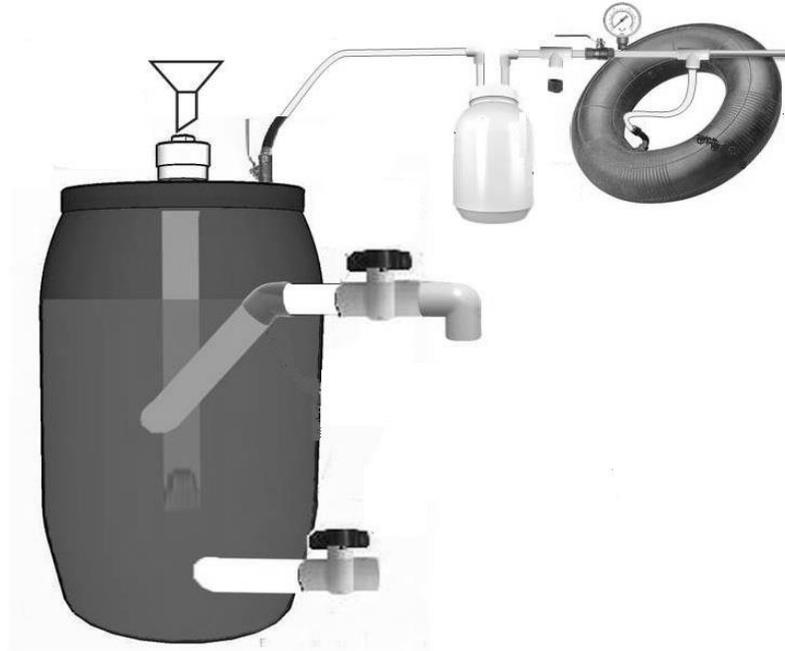
- Producción de energía (iluminación, combustible)
- Estufas
- Cocción
- Calentamiento
- Mejora los cultivos
- Reducción en las emisiones de gas de efecto invernadero
- Comida de peces
- Mejora los suelos arenosos o arcillosos

#### Desventajas del biodigestor

- Los materiales se deterioran facialmente

- Cambiar la instalación cada 3 años
- Vulnerable a rupturas

Figura 7. Esquema de biodigestor



Fuente: Desarrollo Tecnológico (2020). *Cómo hacer un biodigestor*.

## 1.5. Biogás

Cuando hablamos de biogás podemos decir que naturalmente es un gas que se forma por reacciones de degradación de la materia orgánica que se encuentra dentro de los residuos.

### 1.5.1. Composición del biogás

“El biogás es una mezcla de gases, compuesta principalmente de Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), pero también se encuentra otros gases en menor proporciones como hidrógeno (H<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), amoníaco (NH<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>)” (Perez, 2006, p.39).

Tabla V. **Composición del biogás**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	55 – 70 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	30 – 45 %
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	
Hidrogeno (H <sub>2</sub> )	
Oxigeno (O <sub>2</sub> )	Traza 5 %
Monóxido de Carbono (CO)	
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	
Hidrocarburos aromáticos	
Compuestos orgánicos volátiles	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Habitat. (2020).

*Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energetica y biofertilizante*

### 1.5.2. Propiedades del biogás

“Es un combustible, una mezcla de gases compuestos, en su mayor parte, por metano y dióxido de carbono, en proporciones que varían según el residuo con el cual se alimenta el biodigestor y habitualmente rondan en un 50 % de metano” (Santa Fe, 2020, p. 10).

El biogás posee las siguientes características:

- Grado de Inflamación: 6 % a 12 % volumen aire
- Temperatura de Inflamación: 600 °C
- Presión crítica: 82 bar
- Temperatura crítica: -82.5 °C
- Peso específico: 1.2 kg/m

Cuando manejamos gas de deben de tomar ciertas medidas de precaución por la condensación del vapor, por ese motivo es adecuado poner una trampa de agua y punto de drenajes en la tubería.

1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a:

- 0.61 litros de gasolina
- 0.583 litros de keroseno
- 0.55 litros de diésel
- 1.5 m<sup>3</sup> de gas natural
- 1.43 kwh de energía eléctrica
- 0.5 a 1.5 kg. de madera
- 0.74 kg. de carbón vegetal
- 0.3 m<sup>3</sup> de propano
- 0.2 m<sup>3</sup> de butano

### **1.5.3. Fases de fermentación anaerobia**

La fermentación anaerobia comprende una compleja serie de reacciones de digestión y fermentación que llevan a cabo diferentes especies bacterianas, en condiciones anóxicas. Este proceso biológico se basa en la transformación a través de reacciones bioquímicas de la materia orgánica contaminante en biomasa y en un gas cuyos componentes principales son

el CH<sub>4</sub> y el CO<sub>2</sub>, y que se conoce con el nombre de biogás. (Rosales, 2006, p. 44)

#### **1.5.3.1. Hidrólisis**

El primer paso de la fermentación anaerobia es el proceso de Hidrólisis, que sucede en los polímeros orgánicos como los carbohidratos, lípidos, polisacáridos, grasas y proteínas.

Cualquier substrato se compone de los tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. La hidrólisis de cada tipo de compuesto se realiza por diferentes grupos enzimáticos.

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso depende de muchos factores, entre otros del pH, la temperatura, la concentración de biomasa hidrolítica, tipo de materia orgánica y el tamaño de partícula. (Rosales, 2006, p. 46 )

#### **1.5.3.2. Acido génesis**

Este paso implica la conversión microbiana de los compuestos resultantes de la hidrólisis, como ácidos grasos de cadena larga, ácidos y aminoácidos, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como el ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH), pequeñas concentraciones de ácidos grasos volátiles, ácido fúlvico y otros ácidos más complejos que son utilizados en este paso como sustratos por microorganismos metanogénicos. (Rosales, 2006, p. 46 )

### **1.5.3.3. Acetogénesis**

Los acetógenos crecen lentamente y dependen del hidrógeno para degradación de distintos sustratos para la obtención de energía; así de esta manera la Acetogenesis se lleva a cabo por la interdependencia entre los organismos productores de hidrógeno y los consumidores de éste, en lo que se puede denominar una relación sin trópica. (Rosales, 2006, p. 47)

### **1.5.3.4. Metanogénesis**

Esta es la parte final en la fermentación anaerobia metanogénica; en esta fase se genera el CH<sub>4</sub> a partir de la descomposición del ácido acético o a partir de la fusión del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>.

Todas las bacterias metanogénica poseen varias coenzimas especiales, siendo la coenzima M, la que participa en el paso final de la formación de CH<sub>4</sub>. (Rosales, 2006, p. 48 )

## **1.5.4. Factor ambiental que influye en la fermentación**

La fermentación tendrá resultados diferentes según en el contexto que se evalué, por ello dentro de la línea de estudio evaluaremos la temperatura y el pH, ver los rangos de referencia para una fermentación óptima.

### **1.5.4.1. Temperatura**

El tratamiento de las fracción orgánica de los RSU en los reactores anaeróbicos es llevado a cabo, normalmente, dentro de dos rangos distintos de temperatura: el rango mesofílico, entre el intervalo de temperatura de 25

a 40 °C, y el rango termofílico, con temperaturas mayores a los 45°C. Parámetros físicos del proceso, como la viscosidad y la tensión superficial, dependen de la temperatura.

En algunos casos, la fermentación anaerobia en el rango termofílico ha mostrado ser más inestable que la fermentación en el rango de condiciones mesofílicas. (Rosales, 2006, p. 51)

#### **1.5.4.2. Grado de acidez (pH)**

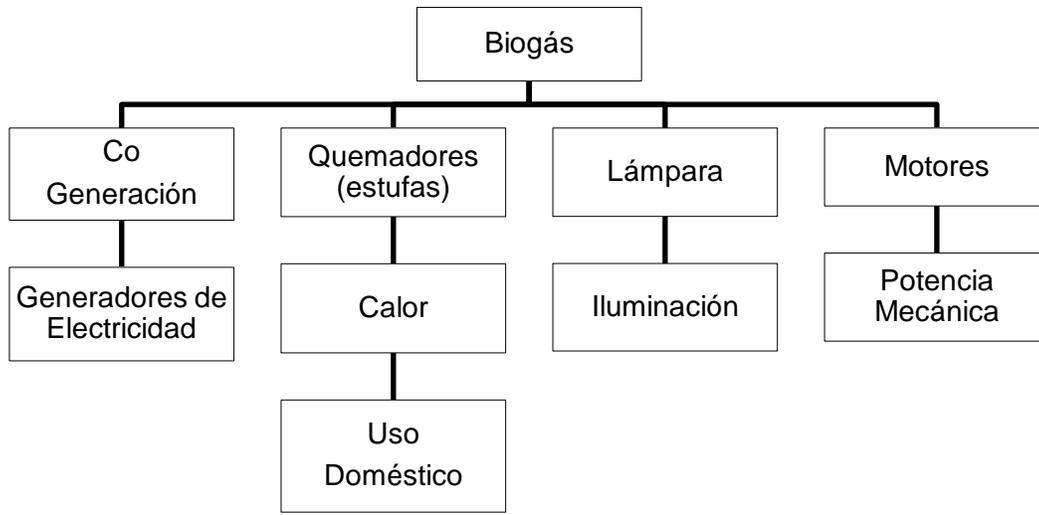
“Cada grupo microbiano involucrado en la fermentación anaeróbica tiene una región de pH específica para su crecimiento óptimo. Para los ácidogénicos el pH ideal es de 6, mientras que para los acetógenos y metanógenos es de 7” (Rosales, 2006, p. 52).

#### **1.5.5. Adaptación de estufas a biogás**

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, bajo costo y alta eficiencia.

- Los quemadores deben ser graduados al principio y a continuación deben ser fijados.
- El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento.
- Una presión de gas de 7 hasta 20 mbar o su equivalente psi para cocinar.
- Las estufas son fáciles de modificar, agrandando la manguera donde pasa el gas a los quemadores.

Figura 8. **Uso de biogás**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Rondon. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.*



## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Descripción del área**

La información de este capítulo es el resultado de la investigación que realizamos, proyectando las generalidades del municipio y los beneficiarios.

#### **2.1.1. Generalidades del municipio**

El municipio evaluado lleva por nombre San Juan Sacatepéquez, tiene una extensión territorial de 242 km cuadrados y se ubica a 1,845 metros sobre el nivel del mar, cuenta con ríos y un clima templado.

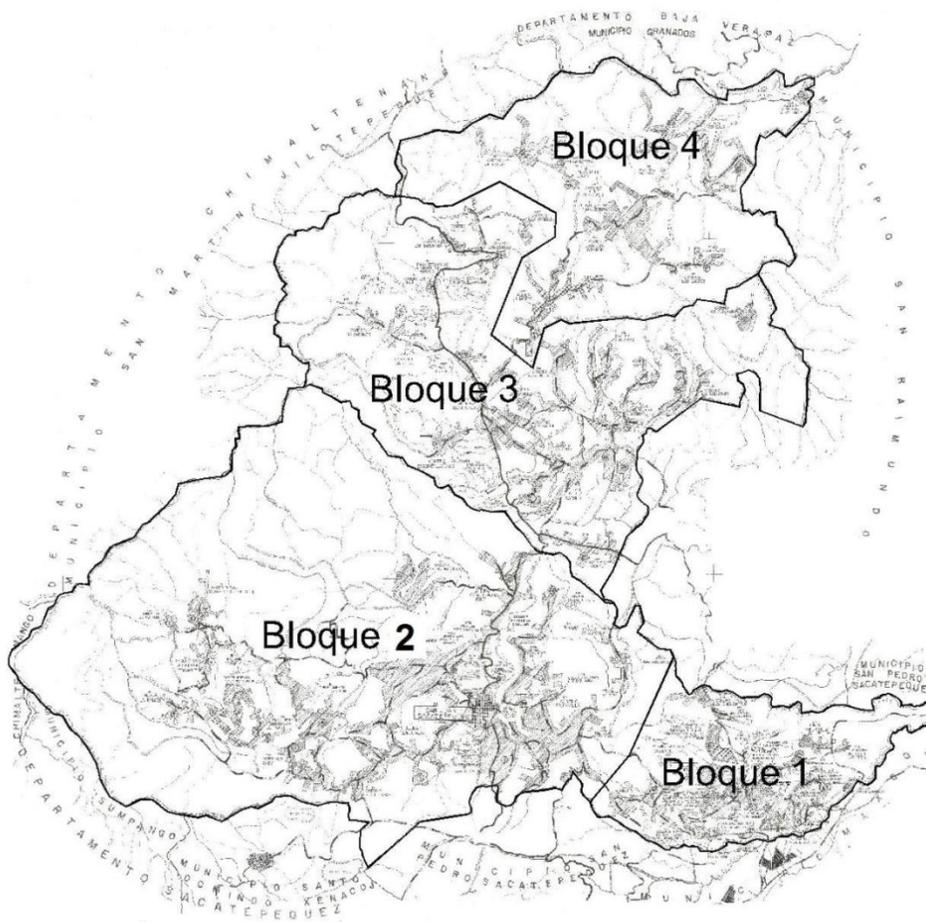
##### **2.1.1.1. Localización**

El municipio de San Juan Sacatepéquez se localiza a 32 km de la ciudad de Guatemala, se limita al norte con el municipio de Granados del departamento de Baja Verapaz; al sur limita con el municipio de San Pedro Sacatepéquez; al este con el municipio de San Raymundo y San Pedro Sacatepéquez, ambos del departamento de Guatemala; y al oeste con el municipio de San Martín Jilotepeque perteneciente al departamento de Chimaltenango y al suroeste con el municipio de Xenacoj perteneciente al departamento de Sacatepéquez.

En San Juan Sacatepéquez hay varios ríos, los cuales mejoran la actividad agrícola así como la floricultura y artesano, uno de los ríos más importantes del municipio son El San Juan, El Manzanillo, El Jocoteco, El Jordán y el Paxotya (Municipalidad de San Juan Sacatepéquez, 2020).

“Cuenta con 13 aldeas, 43 caseríos y varias colonias. Las Principales son: Cerro Alto, Comunidad Ruiz, Cruz Blanca, Las Trojes, Estancia Grande, Los Guates, Montufar, Sacsuy, Suacite, Sajcavilla, Lo de Mejía y Lo de Carranza” (Chicohay, 2014, p. 98). El clima de San Juan Sacatepéquez varía entre los 15 a 33 grados, se encuentra a 1,845 msnm Latitud 14°43'50" Longitud 90°38'34”.

Figura 9. **Municipio de San Juan Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

### **2.1.1.2. Colonia Arcadias I**

La colonia Arcadias I, se encuentra ubicada en el Bloque 1 en la aldea Lo de Carranza del municipio de San Juan Sacatepéquez. Al noreste colinda con la Colonia la Económica; al sureste colinda con la calle principal y un barranco (vertedero clandestino); al noroeste con la granja María y al suroeste con la colonia Rosa de las Arcadias; con una extensión de 29,500 metros cuadrados, se encuentra a 1,550 msnm, Latitud 14°41'19" Longitud 90°34'10". El acceso principal es la carretera hacia Ciudad Quetzal, iniciando sobre la calzada San Juan del municipio de Guatemala y Mixco, en la bifurcación del acceso a la colonia El Milagro de la zona 6 de Mixco.

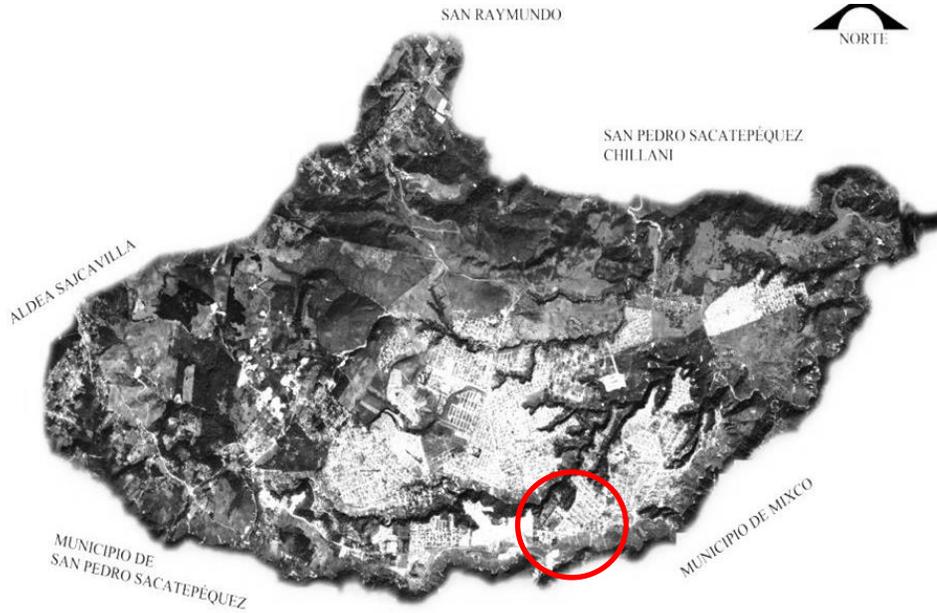
A 21 kilómetros se ubica la colonia Arcadias, la carretera se encuentra asfaltada hasta el km 19 y continúa pavimentada, hasta el área a evaluar es terracería, otro ingreso vía el centro del municipio de San Juan Sacatepéquez por la aldea Sajcavilla, llegando a la aldea lo de Mejía, llegando así al punto de destino.

Según el último censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística (2012), San Juan Sacatepéquez cuenta con una población de 219,905 habitantes de los cuales 48.8 % son hombres y 51.2 % son mujeres; el 40 % del total de la población son identificados como indígenas. La tasa de crecimiento poblacional es del 1.6 %, proyectándose una población para el año 2030 de 221,375 habitantes.

### **2.1.1.3. Beneficiario**

- Beneficiarios directos: 1,500 habitantes
- Beneficiarios indirectos: 35,000 habitantes

Figura 10. **Bloque 1**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

Figura 11. **Colonia Arcadias I**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

## **2.2. Características de los residuos sólidos domiciliarios**

Se realiza la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios y con ello definir:

### **2.2.1. Cálculo del número de muestras**

El cálculo de las muestras genera la información requerida, iniciando con un análisis de las variables de las viviendas (agua, luz, drenaje, propio) población femenina, población masculina, que proceso realizan con los residuos.

#### **2.2.1.1. Tipo de Vivienda: las viviendas de la colonia Arcadías I cuentas con características variables**

- Tipo 1: 240 metros cuadrados de terreno, muro de mampostería reforzada, piso cerámico, varían en niveles de 1 a 3, habitaciones de 1 a 3, sala comedor y cocina, servicio sanitario, área de jardín;
- Tipo 2: 240 metros cuadrados de terreno, muro de mampostería reforzada, piso de granito, 1 nivel, de 1 a 2 habitaciones, sala comedor y cocina, servicio sanitario, patio;
- Tipo 3: 240 metros cuadrados de terreno, muro de tablas, piso suelo sin tratamiento, 1 nivel, 1 habitación, sala-comedor-cocina, servicio sanitario, patio.

La colonia Arcadías I cuenta con 130 viviendas las cuales se dividen de la siguiente manera:

Tabla VI. **Tipo de viviendas**

<b>Vivienda</b>	<b>130</b>
Tipo 1	40
Tipo 2	70
Tipo 3	20

Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

Tabla VII. **Servicios**

<b>Servicio</b>	<b>130</b>
Agua	100
Drenaje	110
Electricidad	110

Fuente: elaboración propia, empleando datos de la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

- El servicio de drenaje: tubería de 8" de la candela domiciliar a la red de drenaje hasta la desembocadura la cual no tiene ningún tratamiento, llega a un riachuelo local de la comunidad.
- El servicio de agua: el vital líquido es escaso en esta comunidad, se abastece 2 veces a la semana, los martes y viernes en horario variables, durante todo el día.

Se determina el número de viviendas de la siguiente manera:

- Definición de la población caracterizada anteriormente.
- División de la población zona comercial o zona residencial.
- Estratos socioeconómicos de la colonia.
- Generación per cápita de desechos sólidos domiciliarios.

- Se considera que la población está conformada por N viviendas, que tiene Ri habitantes y producen Wi (kg) de basura en un día

$$Xi = \frac{Wi}{Ri} (kg/ha/dia)$$

- Si no hay datos iniciales de la población, se debe asumir la desviación estándar en 200 gr/hab/día.
- Se evaluará únicamente el tipo de viviendas con mayor número para generalizar la muestra (vivienda tipo 2 con un 54 %).
- El nivel de confianza más utilizado es de 90 %, 1-a=0.90; esto es un coeficiente de confianza Z1-a/2=1.90
- La desviación estándar es o=0.2 kg/ha/día, que el promedio podría ser 0.133 kg/ha/día y que el tamaño de la población es de N=130 viviendas.

Además, si se considera un error de estimación equivalente a 10 % del promedio estimado, luego E=0.0133

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

Entonces:

$$n = \frac{(1.90)^2 * 70 * (0.2)^2}{(70 - 1) * (0.1333)^2 + (1.9)^2 * (0.2)^2} =$$

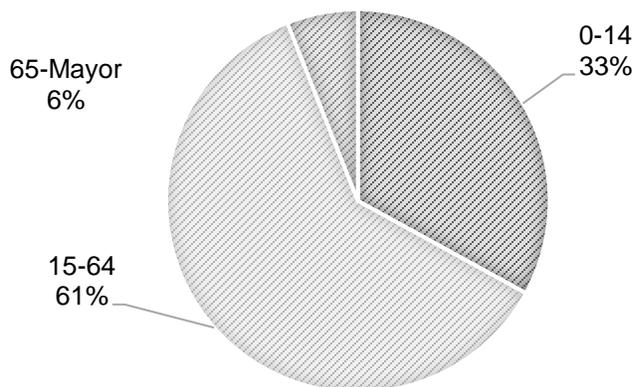
Total de muestras a recolectar = 70 muestras

### 2.2.2. Recolección de datos

En la recolección de datos procesamos la información con las variables designadas, estableciendo parámetros con los cuales obtuvimos respuestas, para evidenciar el análisis que nos permitió integrar los datos.

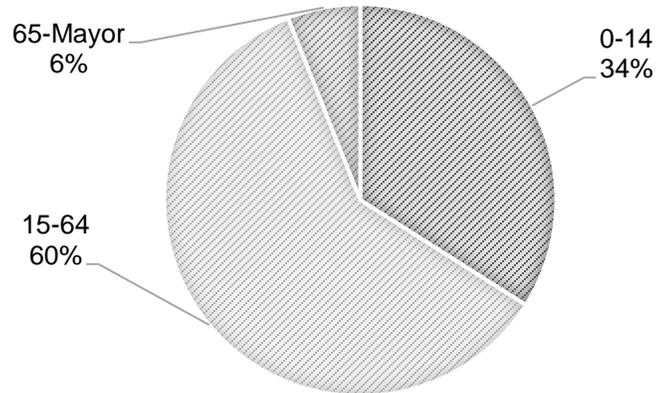
En la gráfica siguiente se evalúa a la población femenina por edades, basado en los rangos que maneja el INE (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala), la población femenina de 15 a 64 años tiene mayor número de habitantes.

Figura 12. **Población femenina**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

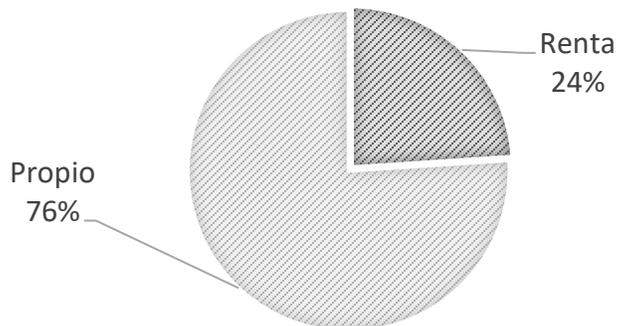
**Figura 13. Población masculina**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

En la gráfica anterior se refleja la población masculina por edades, basado en los rangos que maneja el INE (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala), la población masculina de 15 a 64 años tiene mayor número de habitantes.

**Figura 14. Estatus de vivienda**

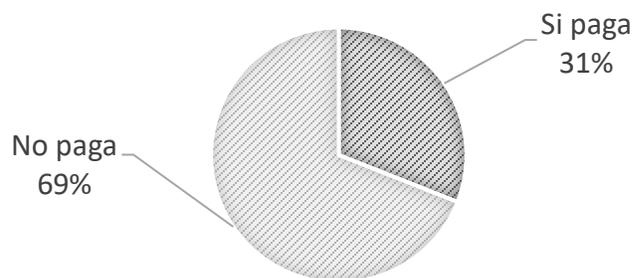


Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

El 73 % de la población tiene casa propia y el 27 % de la población paga una renta promedio de Q. 500.00 por 2 cuartos.

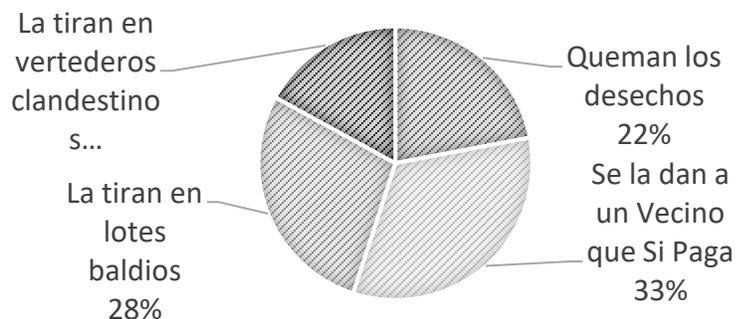
Los habitantes que utilizan el servicio de recolección de basura pagan una cuota de 40.00 quetzales mensuales, el camión de recolección ingresa en la colonia los lunes, miércoles y viernes en horario de 5:00 am y 5:30 am. Ver grafica siguiente. El servicio es interrumpido cada vez que señalan que hay extorsiones o en la ruta hay algún accidente o tráiler con reparaciones.

Figura 15. **Servicio de recolección**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

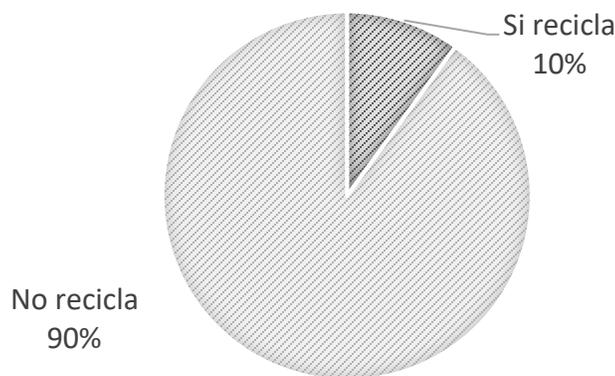
Figura 16. **Sin servicio de recolección**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

De las 95 viviendas que no pagan el servicio (Ver figura No. 16) el 22 % (21 viviendas) optan por quemar los residuos de sus viviendas, el 78 % (74 viviendas) dejando los residuos en vertederos clandestinos, terrenos baldíos, al quemar los residuos no solo se contamina visualmente, generan humo que afecta a otros vecinos del contexto,

Figura 17. **Con servicio de recolección**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de las encuestas realizadas en la colonia Arcadias I.

Descripción de 43 hogares que utilizan el servicio de recolección de basura solo el 10 % recicla sus residuos y así se entrega al camión, equivale a 4 viviendas que reciclan sus residuos; solo en 1 vivienda reutiliza los residuos sólidos orgánicos en compost y en los otros 3 hogares reutilizan el cartón y los envases de plástico para venta.

**Figura 18. Vertedero 1 clandestino**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

**Figura 19. Vertedero 2 clandestino**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

Figura 20. **Vertedero 3 clandestino**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### **2.2.3. Procedimiento para la recolección de datos y muestreo**

Se evalúa el proceso que se llevara a cabo para la recopilación de los datos, tomando en cuenta el número de habitantes, tipo de desechos.

#### **2.2.3.1. Solicitud de apoyo de parte de las familias**

Teniendo definido el número de muestras se procede a realizar las visitas a las viviendas seleccionadas de forma aleatoria dentro del tipo de vivienda 2, para solicitar el apoyo con la toma de muestras. Informar a los habitantes sobre el beneficio y la importancia de que sea parte de este aprovechamiento de los desechos.

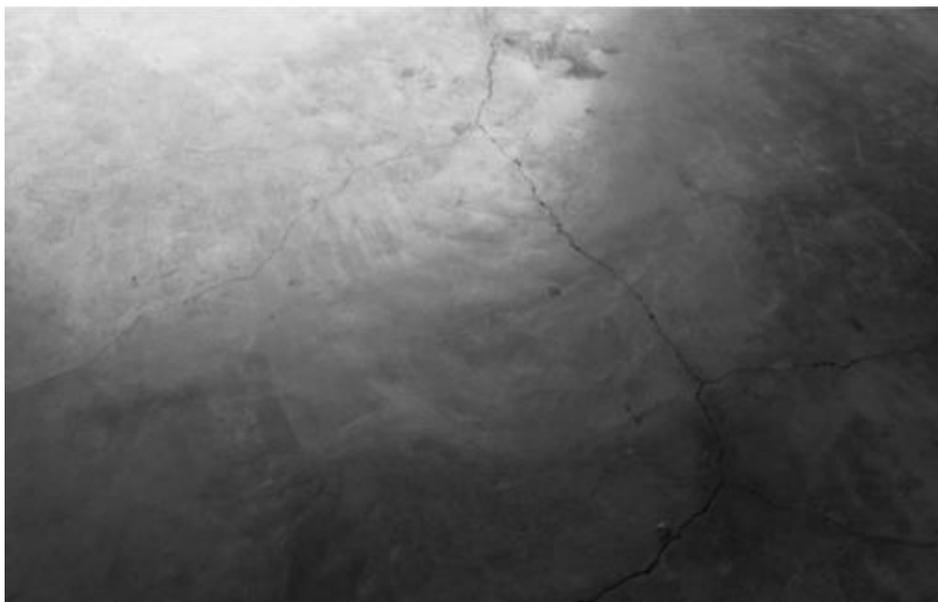
Se hace entrega del material para tomar la muestra (bolsas de nylon transparente y negra), no se identifica el nombre de la persona, se define la dirección y número de habitantes por cada vivienda.

En la bolsa transparente se depositan los desechos inorgánicos; en la bolsa negra se depositan los desechos orgánicos.

### **2.2.3.2. Manejo y transporte**

Se procede a la recolección de las muestras diariamente en un vehículo tipo pick up. Se trasladan las bolsas con los desechos al área definida, donde se realiza la caracterización de los desechos. Se colocan los desechos en una superficie plana ya definida.

**Figura 21. Superficie para clasificación de residuos**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 22. **Primer recolección**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

Figura 23. **Balanza**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### 2.2.3.3. Separación de los desechos sólidos domiciliarios

Se caracteriza la muestra en: materia orgánica utilizable, materia orgánica inutilizable, papel y cartón, residuos de baño, plástico, metal, vidrio, trapos, madera, escoria y otros.

Realizando un pesado general de la parte orgánica de cada vivienda, se anota el dato (ver la Tabla), se evaluó cuánta materia orgánica produce cada habitante. Se retira la parte orgánica que no se desea como los cítricos, semillas, huesos.

Se realiza el pesado de los demás desechos ya clasificados y por diferencia se determina el peso de cada uno de los componentes.

Se calcula el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día ( $W_t$ ) y el peso de cada componente ( $P_i$ ): (Chicohay, 2014).

$$\% = \frac{(P_i) * 100}{W_t}$$

Donde:

$P_i$  = peso de cada componente en los residuos

$W_t$  = peso total de los residuos recolectados en el día.

Cálculo de densidad de los desechos según Chicohay, (2014)

La densidad permite conocer el volumen que ocupa cierta cantidad de residuos sólidos y se calcula según el siguiente procedimiento:

- Se pesa el recipiente vacío ( $W_1$ ) y se determina su volumen ( $V$ ).
- Se deposita los desechos dentro del recipiente y se acomodan de tal manera que se llenen los espacios vacíos en dicho recipiente; preferiblemente llenar el recipiente.
- Se pesa nuevamente el recipiente lleno ( $W_2$ ) y por diferencia se obtiene el peso de la basura ( $W$ ).
- Finalmente se divide el peso de la basura ( $W$ ) entre el volumen del recipiente ( $V$ ) para obtener la densidad suelta y compactada de la basura.

Diámetro = 0.29 metros, Altura = 0.30 metros

$$Vol = \frac{\pi(d^2) * h}{4}$$

$$Vol = \frac{\pi(0.29^2) * 0.30}{4}$$

$$Vol = 0.165 \text{ m}^3 = 16.5 \text{ cm}^3$$



### 3. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios

Se realizó la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) de las 70 muestras, en forma de recolección diaria durante 1 semana, en las 10 viviendas se determina que genera 27.97 kilogramos de residuos.

Tabla VIII. **Residuos per cápita**

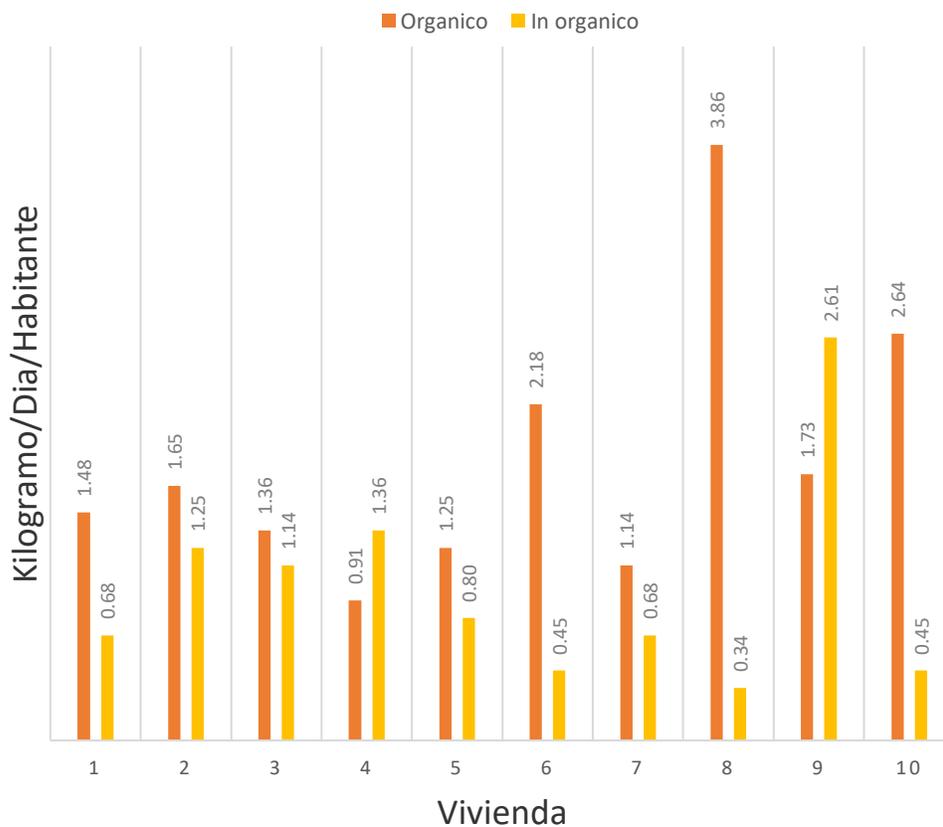
No. Lote 10/07/2019	No. Habitantes		Orgánico Útil kg.	Inorgánico kg.	Orgánico por Habitante	0.19
	Adultos	Niños				kg/hab/dia Inorgánico
12	3	1		1.48	0.68	0.37
25	3	2		1.65	1.25	0.33
33	2	3		1.36	1.14	0.27
46	2	1		0.91	1.36	0.30
54	2	1		1.25	0.80	0.42
65	4	1		2.18	0.45	0.44
73	2	4		1.14	0.68	0.19
78	6	4		3.86	0.34	0.39
107	4	2		1.73	2.61	0.29
123	5	1		2.64	0.45	0.44
10	33 hab	20 hab		18.20 kg	9.77 kg	0.34 kg/hab/dia Orgánico

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se puede observar la generación de residuos en cada vivienda con las variantes de habitantes y kilogramo, teniendo como promedio 0.53 kg/hab/día equivalente a 0.34 kg/hab/día de materia orgánica y 0.19 kg/hab/día de materia inorgánica.

Si la población de la colonia Arcadias I, es de 1,500 habitantes basado en la encuesta realizada en las 138 viviendas en el rango evaluado del proyecto, equivale a habitantes \* 0.34 kg/hab/día = 514.60 kg/día (0.51 ton/día) de materia orgánica y 285 kg/día de materia inorgánica.

Figura 24. **Generación por vivienda**



Fuente: elaboración propia.

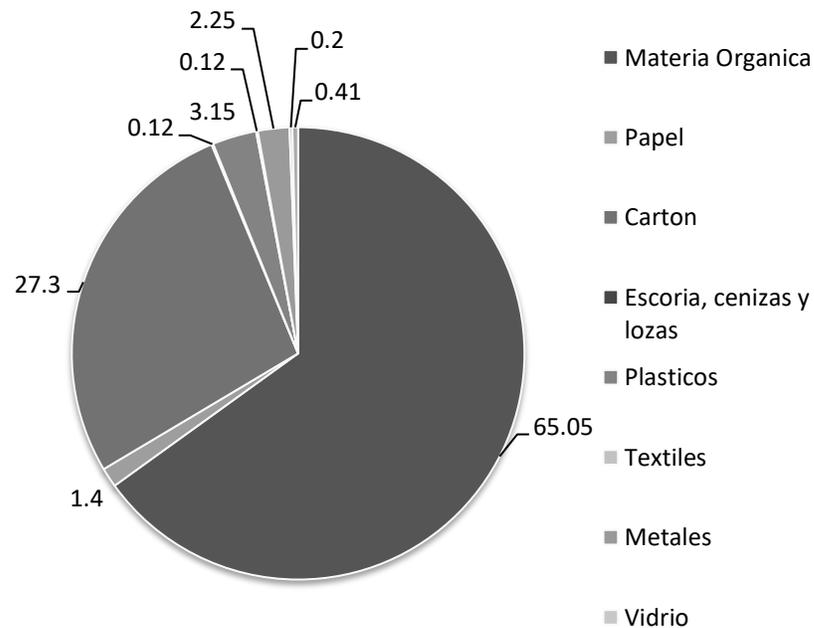
Los residuos sólidos domiciliarios después de ser clasificados representan en su mayoría cartón seguido de materia orgánica y plástico referenciado en la tabla IX.

Tabla IX. Poder calorífico

Tipo	Porcentaje
Materia Orgánica	49.8 %
Papel	4.9 %
Cartón	15.8 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Caracterización de residuos



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Residuo, peso y porcentaje**

<b>Residuos</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
Materia Orgánica	18.20 kg.	65.05 %
Papel	0.38 kg.	1.40 %
Cartón	7.64 kg.	27.30 %
Escoria, Ceniza	0.03 kg.	0.12 %
Plástico	0.88 kg.	3.15 %
Textiles	0.03 kg.	0.12 %
Metales	0.63 kg.	2.25 %
Vidrio	0.05 kg.	0.20 %
Otros	0.14 kg.	0.41 %

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Beneficio de clasificar los residuos

Con la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios se obtuvo biogás con la fabricación de un biodigestor casero y benefició económico al vender los residuos inorgánicos.

Tabla XI. **Beneficio por residuo inorgánico (1mes)**

<b>Residuos</b>	<b>Kilogramos</b>	<b>Venta * kg</b>	<b>Monto</b>
Cartón	30.56 kg.	Q. 0.99	Q. 30.25
Plástico	3.52 kg.	Q. 0.50	Q. 1.76
Metales	2.52 kg.	Q. 0.88	Q. 2.22
Vidrio	0.20 kg.	Q. 0.45	Q. 0.10

Beneficio Económico Q. 34.33

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Desarrollo de biodigestor y producción de biogás

Considerando que los residuos orgánicos en su mayoría son vegetales, se agregó agua, por cada kilogramo de materia orgánica 1.5 litros de agua, con esto se generó una buena mezcla ya que los residuos están crudos, el biogás obtenido del biodigestor contiene un 50 % a un 70 % de metano aproximadamente.

Así también se dejó el espacio necesario para el área del biogás,  $\frac{1}{4}$  del volumen del tanque, dejando lleno  $\frac{3}{4}$  del mismo. Teniendo una temperatura en la colonia Arcadias de 16 °C teniendo que esperar por 50 días, para la producción de biogás, bajo las condiciones óptimas deseadas.

Figura 26. **Biodigestor casero**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo]. (Colonia Arcadias. 2019). Colección particular.  
Guatemala

Tabla XII. **Biogás equivalente por kg de materia orgánica**

<b>Residuos</b>	<b>Kilogramos</b>	<b>Biogás</b>
Materia orgánica	1.70 kg.	0.12 m <sup>3</sup> / kg
1.70 kg. * 0.12 m <sup>3</sup> /kg = 0.13 m <sup>3</sup> de biogás		

Fuente: elaboración propia.

Una vivienda de 5 personas genera 1.70 kg/día el cual fue procesado, equivalente a 1.70 kg + 2.55 litros de agua (1.5 lts. c/kg) = 4.25 lts/día de mezcla,  $Vt$  (volumen de trabajo) = Mezcla (materia o. + agua) \* t (tiempo de retención)  $Vt = 4.25$  litros \* 25 días = 106 litros depósito equivalente a 120 litros.

Teniendo resultado hasta los 50 días de la fermentación 0.20 m<sup>3</sup> de biogás. La proyección del biogás no se cumplió, el biodigestor se ejecutó en los meses de noviembre a diciembre, los cuales tuvieron un clima por debajo de los 15 °C, pasando a una fermentación entre Psycrophilica producción optima a los 100 días y Mesofílicas (mayor producción de metano) producción mínima a los 60 días.

### **3.3.1. Uso de biogás**

El biogás es un combustible, que al adaptarlo se puede utilizar en lugar de cualquier otro ya sea gaseoso o liquido entiéndase, gasolina, diésel, madera; se puede usar en cocinas, calefacción, estufas, generadores, heladeras a gas.

Tabla XIII. **Uso de biogás en una vivienda**

	<b>Equipo</b>	<b>Uso</b>	<b>Consumo Biogás</b>	<b>M3 / día</b>
1	Estufa	5 horas	0.30 m <sup>3</sup>	1.50
2	Bombilla	3 horas	0.15 m <sup>3</sup>	0.90
Total de metros cúbicos necesarios para una vivienda = 2.40 m <sup>3</sup> / día				

Fuente: elaboración propia.

### **3.4. Beneficio ambiental**

Cuando usamos los residuos sólidos domiciliarios para ayudarnos a producir biogás, esto genera una mitigación con los problemas ambientales que tenemos a nivel mundial.

Este tipo de proyectos tiene sus dificultades todas a nivel económico por tener un costo no tan accesible.

Cuando se procesa la materia orgánica para la producción de biogás también generamos biofertilizante que, comparado con los fertilizantes comerciales, ya que el biofertilizante está integrado tanto por nutrientes como materia prima.

Así como el biogás genera menos emisiones de Gases de Efecto Invernadero, obtención de energía a bajo costo, sumado a que no se necesitan grandes plantas para generarlo y el equipo-mantenimiento es más fácil y económico.

### 3.5. Equivalente de generación efecto invernadero (GEI)

El aumento del CO2 es el responsable de un 60 % del GEI, 1 tonelada de metano es equivalente a 25 toneladas de CO2, los comparativos de emisiones de las energías fósiles equivalentes.

1 tonelada de residuo clasificado equivale a 2.94 toneladas métricas de CO2 retirado del ambiente.

- Gas propano

P = Potencia del equipo en kv (2 kw estufa biogás)

PCS = Poder calorífico (13.97 kwh/kg)

T = Tiempo de función diaria del equipo h/día (4.5 horas)

Q = Cantidad de Gas

d = densidad 0.0025 ton / m<sup>3</sup>

1 kilogramo equivale 0.001 Toneladas 0.001 ton / kg

Equivalente de CO2 para gas propano 2.94 kg / m<sup>3</sup>

$$Q = P/PCS = 0.14 \text{ kg/h}$$

$$\text{Consumo} = Q * T = 0.63 \text{ kg de Gas}$$

$$\text{Ton} = \text{Consumo} * \text{kg/ton} = 0.00063 \text{ ton}$$

$$\text{m}^3 = t/d = 0.25 \text{ m}^3$$

Equivalente a CO2 = m<sup>3</sup> \* Eq = 0.74 kg de CO2

0.74 kg \* 365 días = 270.00 kg /anual se pueden retirar si se utiliza biogás.

Tabla XIV. **CO2 equivalente a combustibles fósiles**

<b>Tipo de Energía</b>	<b>Unidad</b>	<b>Equivalente a CO2</b>
Eléctrica	kw/hora	$7.09 * 10^{-4}$ t.m. de CO2 / kwh
Gasolina	Galón	$8.887 * 10^{-3}$ t.m. de CO2 / galón
Diésel	Galón	$10.180 * 10^{-3}$ t.m. de CO2 / galón
Vehículo	1 año	4.60 t.m. de CO2 / veh / año
Gas propano	Libra	0.024 t.m. de CO2 / cilindro
Carbón	mmbtu	181.29 t.m. de CO2 / vagón
<b>CO2 retirados al ser reciclados en lugar de eliminarlos en vertedero</b>		
Camión de residuos	Unidad	20.58 t.m. de CO2 / camión
Bolsa de residuos	Unidad	$2.35 * 10^{-2}$ t.m. de CO2 / bolsa
Eólica	mw	4,807.00 t.m. de CO2 / año / turbina

Fuente: elaboración propia.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La colonia Arcadías no tiene ningún área para disposición final de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) y son depositados en las calles, barrancos o terrenos baldíos, la municipalidad es la delegada para prestar el servicio de disposición final para los RSD, basado en el Artículo 102 del código de salud, decreto 90-97. Generando la implementación de un sistema de clasificación de residuos sólidos domiciliarios.

Al realizar las fases del estudio se definen los pasos que se utilizaron para recabar los datos necesarios para poder aprovechar la clasificación de los RSD.

Se realizaron las visitas a los vecinos para dar las charlas informativas y que tuvieran el conocimiento de cómo se clasifican los residuos orgánico e inorgánico, el equivalente a cada uno, como disminuir el volumen de los residuos y el aprovechamiento que le pueden dar a cada uno.

En la visita a los vecinos se ejecutó las encuestas base con las que se obtuvieron los datos de partida (número de habitantes clasificado en hombre, mujeres, niño, niña, adulto mayor, recolección de basura, disposición final de los residuos, estatus de vivienda, nivel económico).

Se hizo entrega de las bolsas una de color negro y una transparente biodegradables, hoja impresa con las imágenes de los posibles desechos que pudieran generar durante la investigación y que tuvieran la referencia de la parte orgánica e inorgánica.

Se definió la ruta de recolección de las viviendas seleccionadas, para que el recurso vehículo fuera aprovechado y generar menos emisiones de CO<sub>2</sub>, además al recibir los residuos sólidos domiciliarios y estar clasificados fue más fácil colocarlos y llevarlos en diferentes lugares del vehículo, separados en cartón, el plástico, el metal y el vidrio.

Se trasladaron los residuos sólidos domiciliarios para el espacio ya definido y realizar la caracterización de la parte que no venía ya clasificada para ser específicos los residuos orgánica.

Se inicia con la clasificación de la parte orgánica teniendo muy presente los residuos como los restos vegetales (cáscaras y restos de frutas y verduras), basura doméstica (restos de café, restos de comida, azúcares, pan, pasta, lácteos, restos de comida), se debe evitar huesos, bolsas, latas, cartón, papeles, plásticos, tierra, vidrio, metal, cerámica, residuos de antibióticos, residuos químicos y que no cumplen con los requeridos para colocar en el biodigestor y evitar acidificación u otros problemas en el proceso de fermentación.

Se procesaron los residuos sólidos domiciliarios y se obtienen varios resultados, materia orgánica por cada habitante, de la colonia Arcadias se obtiene como resultado 18.20 kg. de materia orgánica de las 10 viviendas evaluadas el cual es equivalente a 0.34 kg/hab/día, y de la parte inorgánica se generó 9.77 kg equivalente a 0.19 kg/hab/día.

Los vecinos crearon un punto de partida, desde que pueden obtener si clasifican sus residuos, tanto ambientalmente como el beneficio económico en algún punto si venden los residuos clasificados y producen biogás, bioabono.

Los residuos clasificados reflejan que el 65.05 % equivale a materia orgánica, 27.3 % equivalente a cartón, 3.15 % equivalente a plástico, 2.25 % equivalente metal y 2.25 % equivalente a otros residuos. Se propone a los vecinos que de los residuos inorgánicos como el cartón, papel, plástico y vidrio sean vendidos a los puntos de reciclaje para obtener un beneficio económico.

El 65.05 % de la materia orgánica es propuesto para ser procesada en un biodigestor casero, obteniendo después del proceso de fermentación, biogás, bioabono y con ello reducir la compra de gas propano. El gas denominado biogás es utilizado como energía de segunda generación en otros países.

En la fabricación del biodigestor las condiciones climáticas no fueron las óptimas, basados en la referencia de producción de biogás, creando un conflicto en la producción de este al no generar los organismos vivos que desintegran los sólidos, con una temperatura debajo de los 15° grados, teniendo como resultado la producción de 0.21 m<sup>3</sup> de biogás en 50 días.

Se trata de que los vecinos implementen los biodigestores caseros en sus viviendas para crear beneficios ambientales y ahorro económico en la venta de los residuos inorgánicos. Dado que al recolocar, separar y clasificar los residuos se obtiene un resultado positivo tanto en ganancia económica de Q. 34.33 al mes en una fase inicial, así también como activista ambiental,

Dentro de los beneficios ambiental podemos encontrar el bioabono generando grandes ventajas para fertilizar los suelos de sus jardines, venta de abono natural sin químico, con grandes cargas de nutrientes y organismos vivos o la aplicación de este para las personas que tienen áreas de cultivo.

Energía de segunda generación como lo es el biogás con menos emisiones de Gas de Efecto Invernadero en comparación a los combustibles fósiles de primera generación, aplicado en lugares lejanos como combustible resulta más económico.

Los biodigestores no requieren mucho espacio, transporte, mantenimiento mayor, ni centrales de distribución o implementar otro combustible para ser generado. Biogás utilizado para la calefacción, cocción, generador de energía.

## CONCLUSIONES

1. Los vecinos de la colonia arcadias I, del municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala. La producción per cápita generan 27.97 kilogramos de residuos, siendo el 65.05 % orgánico y 34.95 % inorgánico. Cada habitante genera 0.34 kg/hab/día de materia orgánica, 0.19 kg/hab/día de materia inorgánica.
2. Los residuos generados en la clasificación de la colonia Arcadias I se identificaron de la siguiente manera, materia orgánica 65.05 %, cartón 27.30 %, plástico 3.15 %, metales 2.25 %, papel 1.40 %, vidrio 0.20 %, escoria y ceniza 0.12 %, y 0.53% de otros residuos.
3. La materia orgánica obtenida de los residuos sólidos domiciliarios de cada vivienda equivale a 1.70 kg. será utilizada en el biodigestor creando el compromiso con los vecinos. La materia inorgánica obtenida de los residuos sólidos domiciliarios de cada vivienda equivale a 0.95 kg. los cuáles serán aprovechados en la venta de estos obteniendo una remuneración de Q. 34.33 al mes y que pueda aumentar con el tiempo.
4. El prototipo de biodigestor casero, alcanzo sus objetivos primordiales de producir 0.20 m<sup>3</sup> de biogás, no siendo lo calculado y en 50 días mucho más tiempo de lo proyectado. El clima fue uno de los principales problema, estando en menos 15 °C, hubo fugas en las conexiones.

5. Dependier de los combustibles fósiles de primera generación ya no es factible, por eso se generan alternativas de combustión de segunda generación y renovables de modo que el medio ambiente se mantenga, el biogás es uno de los combustibles de segunda generación que está tomando presencia a nivel mundial, la fabricación de los biodigestores caseros para los vecinos de la colonia Arcadias I, genera posibilidades para aprovechar la materia orgánica y obtener biogás para generar energía y diferentes procesos productivos, bioabono ya sea para venta o consumo, evitando seguir consumiendo madera, también se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, la reducción de la contaminación en general, eliminación de vectores, contaminar el mando acuífero por los lixiviados.

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar la caracterización de los residuos, por medio de recipientes de colores, tomando en cuenta que el porcentaje de materia orgánica es elevado, en la colonia Arcadias del municipio de San Juan Sacatepéquez se consume mucho producto orgánico por ser un municipio agrícola y florar.
2. Los diferentes tipos de residuos generados a nivel domiciliar tiene una densidad amplio, para mejorar la clasificación se puede realizar una compactación, previo a que sea recolectada o sea trasladada al área de reciclaje.
3. Para mejorar la clasificación de los residuos, informar a los vecinos de las clases que existen, la manera de como reutilizarlos, como procesarlos para darles un segundo uso, creando un plan de gestión integral para el manejo de los desechos sólidos.
4. Elaborar biodigestor caseros con ayuda de la municipalidad, entidades promotoras, Cocodes, cooperativas para que se pueda generas biogás, y genere beneficio ambiental y económico para los núcleos familiares.
5. Seguir creando conciencia a los vecinos para que la calidad de vida mejore día a día y preservar el ambiente, con el manejo de los residuos y aprovechamiento de estos.



## REFERENCIAS

1. Aulaga. (10 de enero 2022). *Aulaga, Educacion Ambiental y Ecologia social*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://aulagaasociacion.wordpress.com/>
2. Bocho. (17 de enero de 2009). *Sistema de Tratamientos de Residuos Sólidos, Programa modulo III, Sub modulo III*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://bocho-trat-residuos-solidos.blogspot.com/>
3. Carranza, E. (2011). *Propuesta de un sistema de gestión integral de Residuos Sólidos Domiciliarios mediante un modelo de mejora continua en el distrito de Quiruvilca* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
4. Chicohay, H. (2014). *Caracterizacion de los desechos solidos domiciliarios de la colonia la trinidad, ciudad quetzal, San Juan Sacatepequez, Guatemala* (Tesis grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Guatemala.
5. Coruña, G. (2001). *Los residuos urbanos en A Coruña, Munual del profesor, Programa de educacion ambiental*. España: Terranova. Recuperado de <https://www.coruna.gal/download/1369099084397/Manual-residuos-profesor.pdf>
6. DIGELAG, A. (2017). *Programa estatal para la prevencion y gestion integral de residuos del estado de Jalisco*. Jalisco México: Autor.

7. Ecoinventos. (23 de febrero de 2014). *Como hacer un biodigestor casero*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ecoinventos.com/biodigestor-casero/>
8. Gil, J. (mayo 2001). *Gestion y Tratamiento de los Residuos Urbanos I, II*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina7.htm>
9. Guerra, G. (2013). *Plan de manejo de Residuos Sólidos para la cabecera cantonal de Santiago de Píllaro*. Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
9. Habitat (2005). *Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energetica y biofertilizantes*. Colombia: Autor. Recuperado de [http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores\\_Una\\_alternativa\\_a\\_la\\_autosuficiencia\\_energ%C3%A9tica\\_y\\_de\\_biofertilizante](http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores_Una_alternativa_a_la_autosuficiencia_energ%C3%A9tica_y_de_biofertilizante)
10. Jarimillo, G. (14 de mayo de 2008). *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia*. Colombia: Universidad de Antioquia.
11. Londres. (14 de mayo de 2018). *Biodigestor Alternativa Energetica*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de [https://nanopdf.com/download/biodigestor-alternativa-energetica\\_pdf](https://nanopdf.com/download/biodigestor-alternativa-energetica_pdf)
12. Maccarini, L. (6 de febrero de 2011). *El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiaels de construccion y a los edificios*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://mx.123dok.com/document/nzwr801y-el-concepto-de-reciclabilidad-aplicado-a-los-materiales-de-construccion-y-a-los-edificios-propuesta-de-indices-para-evaluar-la-reciclabilidad-de-los-sistemas-constructivos.html>

13. Macias, L. P. (s.f.). *La Gestion Integral de Residuos Solidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios*. Mexico: Centro de Investigacion en Ciencias de Informacion Geoespacial .
14. MARN. (s.f.). *Ministerio de Ambiente Recursos Naturales*. Guatemala: Autor.
15. Ministerio de Ambiente. (junio 2017). *Reciclaje y disposicion final segura de residuos solidos*. Perú: Autor.
16. Molina, J. (2018). *Manejo de residuos y desechos sólidos generados en comunidad "La Reina"* . Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuintla: CUSIGAL.
17. Monterrey, I. T. (mayo 2017). *Formando formadores*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.tecvirtual.tec.mx/>
18. MSPAS. (s.f.). *Estatutos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social*. Guatemala: Autor.
19. Municipalidad de San Juan Sacatepequez, (s.f.). *Memoria de labores*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://munisanjuansac.org/>
20. Nuestraesfera. (28 de mayo de 2013). *¿Cómo se clasifican los residuos?*. Nuevaesfera. Recuperado de <http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos>
21. Perez, M. (2006). *Produccion de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: FIUSAC.

22. Rondon, E. S. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Chile: Ministerio de Ambiente.
23. Rosales, M. F. (2006). *Producción de energía eléctrica a partir de biogás*. Guatemala: INDE.
24. Ruiz, G. A. (2010). *Manejo municipal y caracterización de los desechos sólidos domiciliarios*. Chiquimula: CUNORI.
25. Salle, E. d. (2008). *Aprovechamiento de los desechos Orgánicos para la producción de biogás y bioabono a través de un biodigestor*. Acarigua, Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politecnica de la Fuerza Armada.
26. Urtubia, E. (2017). *Centro de Clasificación de residuos domiciliarios de pequeño y gran volumen*. Chile: Universidad de Chile.
27. Yamil, R. (28 de junio de 2014). *Producción de energía con los residuos domiciliarios*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de [https://www.rionegro.com.ar/energia/biogas-con-los-residuos-domiciliarios-DWRN\\_2931766](https://www.rionegro.com.ar/energia/biogas-con-los-residuos-domiciliarios-DWRN_2931766)

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Clasificación de residuos sólidos domiciliarios y desechos sólidos



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 2. Plásticos



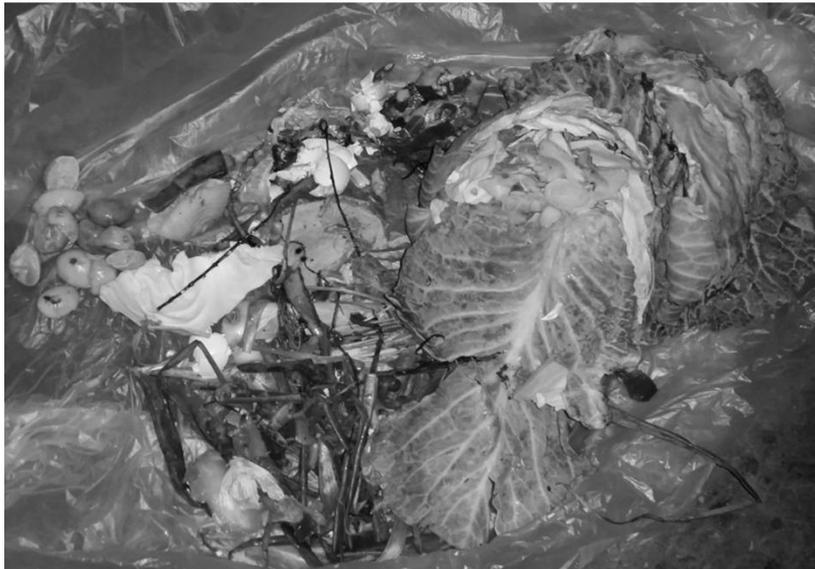
Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 3. **Cartón**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 4. **Materia orgánica 1**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 5. **Materia orgánica 2**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 6. **Pesado de papel**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 7. **Pesado de material orgánico**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala

## Apéndice 8. **Proceso de biodigestor casero con bariil de plástico**



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala

## Apéndice 9. Accesorios



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

## Apéndice 10. Corte de tubos



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 11. Unión de manómetro



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 12. Corte para accesos



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 13. Acceso de residuos



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 14. Tapadera + acceso



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 15. Perforación abono



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 16. Colocación accesorios



Fuente: [Fotografía de Mileidy Santizo].  
(Colonia Arcadias. 2019). Colección particular. Guatemala