



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

**CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA
MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Alejandra del Rosario Franco Tobar

Asesorado por el Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEJANDRA DEL ROSARIO FRANCO TOBAR
ASESORADO POR EL ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

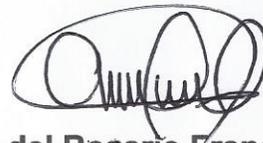
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de febrero de 2018.



Alejandra del Rosario Franco Tobar

Guatemala 09 de abril de 2019

Ingeniero

Luis Manuel Sandoval Mendoza

Jefe del Departamento de Hidráulica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Sandoval:

Por medio de la presente me permito informar que, en calidad de asesor nombrado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, he procedido a la revisión final del trabajo de graduación titulado **CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante universitaria Alejandra del Rosario Franco Tobar, Carné No. 2012-22986, determinando que el mismo cumple con los requisitos establecidos, por lo que de la manera más atenta solicito se autorice continuar con los trámites pertinentes para la aprobación final.

Atentamente,



Dennis Salvador Argueta Mayorga

INGENIERO CIVIL
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA
COLEGIADO 8297

Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Asesor

No. de Colegiado: 8297



Guatemala, 22 de Abril de 2019

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado “**CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**”, desarrollado por la estudiante de ingeniería civil Alejandra del Rosario Franco Tobar, quien contó con la asesoría del ingeniero Dennis Salvador Argueta Mayorga.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Dr C. Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica





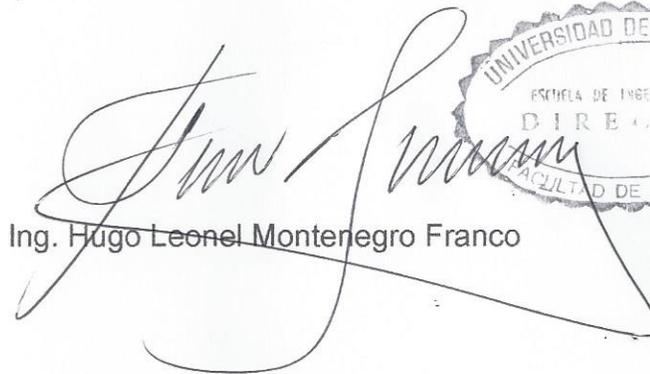
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación de la estudiante Alejandra del Rosario Franco Tobar **CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Monterenegro Franco



Guatemala, mayo 2019

/mmm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

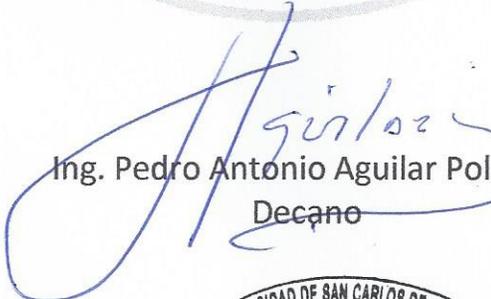


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 238.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Alejandra del Rosario Franco Tobar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme las oportunidades de probar ante sus ojos que todo lo puedo.
Mis padres	Sergio Franco y Linda de Franco, por ser el motor de mi vida, y mi guía ante el mundo. Su amor incondicional por mis locuras.
Mis tías	Katy y Mita Franco, por ser mis segundas madres y darme todo su amor.
Mis abuelos	Graciela Pinillos y Gustavo Tock (q. e. p. d), por ayudarme a ser una niña feliz y mujer de bien.
Mi familia en general	Por ser una importante influencia en mi carrera y en mi vida, mi amor incondicional.
Mi prometido	Adam Lemus, por su apoyo y amor a pesar de la distancia.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la oportunidad de formarme como profesional y ser parte de tan prestigiosa casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme las puertas a conocimientos y habilidades que permitirán desarrollarme como profesional.
Mi asesor	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga, por compartir sus conocimientos, brindar asesoría y grata amistad para realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos	Jaime Rojas, Oscar García, Fernando Manzo, Katherine Paz, Douglas Morales y Ricardo Guzmán. Por el tiempo compartido, enseñanzas y amistad.
Vecinos de aldea Vista Hermosa	Por su apoyo y cooperación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes históricos del departamento de Guatemala	1
1.2. Características geográficas del municipio San Pedro Sacatepéquez.....	2
1.2.1. Ubicación geográfica y extensión territorial	2
1.2.2. Colindancias y localización.....	3
1.2.3. Demografía.....	4
1.2.4. Vías de acceso	6
1.2.5. Dimensión ambiental	6
1.2.5.1. Clima e hidrografía	6
1.2.5.2. Recursos hídricos	8
1.2.6. Saneamiento ambiental	9
1.2.7. Problemática del país	9
1.3. Microlocalización	10
2. CONCEPTOS GENERALES.....	13
2.1. Residuos sólidos	13
2.1.1. Clasificación de residuos sólidos	14

2.1.2.	Clasificación según su origen.....	18
2.2.	Gestión integral de residuos sólidos.....	22
2.3.	Tasa de generación y recolección.....	25
2.3.1.	Producción per cápita (PPC).....	25
2.3.2.	Recolección.....	26
2.4.	Estudios realizados sobre los residuos sólidos	27
2.4.1.	Propiedades físicas	27
2.4.2.	Peso	27
2.4.3.	Volumen	27
2.4.4.	Peso específico	28
2.4.5.	Contenido energético de residuos sólidos.....	28
2.5.	Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento de los residuos sólidos.....	29
2.5.1.	Gestiones negativas	29
2.5.2.	Separación	33
2.5.3.	Almacenamiento en el origen o <i>in situ</i>	34
2.5.4.	Recipiente	35
2.5.5.	Procesamiento	39
2.5.6.	Disposición final	42
2.5.7.	Prácticas inadecuadas en la disposición final de los residuos sólidos	42
3.	MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	45
3.1.	Vertedero a cielo abierto	45
3.2.	Relleno sanitario	47
3.2.1.	Consideraciones y principios del relleno sanitario... 48	
3.2.1.1.	Principios.....	48
3.2.1.2.	Ventajas	51
3.2.1.3.	Desventajas.....	52

3.2.2.	Tipos de relleno sanitario.....	53
3.2.2.1.	Vertedero controlado	53
3.2.2.2.	Relleno sanitario manual	53
3.2.2.3.	Relleno sanitario semimecanizado	54
3.2.2.4.	Relleno sanitario mecanizado.....	55
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	57
4.1.	Campo muestral	57
4.2.	Procedimiento para recolección de muestra.....	59
4.3.	Composición de los residuos sólidos en kg	63
4.4.	Peso	63
4.5.	Volumen	65
4.6.	Densidad o peso específico.....	66
5.	ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS.....	69
5.1.	Producción de residuos sólidos	71
5.2.	Propuesta para el manejo de residuos sólidos en la aldea Vista Hermosa, cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez.....	83
5.2.1.	Charlas educativas en escuelas y salones municipales.....	83
5.2.1.1.	Reducir	83
5.2.1.2.	Reutilizar.....	84
5.2.1.3.	Reciclaje	85
5.3.	Necesidad de relleno sanitario en municipio de San Pedro Sacatepéquez.....	85
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	91

BIBLIOGRAFÍA..... 93
APÉNDICES..... 97
ANEXOS..... 103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del departamento de Guatemala	2
2.	Ubicación del municipio de San Pedro Sacatepéquez	3
3.	Climograma San Pedro Sacatepéquez, Guatemala.....	7
4.	Microlocalización de la aldea Vista Hermosa	11
5.	Residuos orgánicos.....	17
6.	Desechos inorgánicos	18
7.	Gestión integral de residuos.....	25
8.	Contaminación por lixiviados.....	33
9.	Separación de residuos domiciliarios o industriales.....	34
10.	Vertedero a cielo abierto	47
11.	Tractor agrícola adaptado para operaciones de relleno sanitario	54
12.	Remolque enganchado a un tractor agrícola	55
13.	Equipo pesado para operar en relleno sanitario.....	56
14.	Desperdicios producidos de acuerdo a encuesta realizada a vecinos de aldea Vista Hermosa	60
15.	Recipiente cilíndrico para medición de volumen	62
16.	Balanza	62
17.	Porcentaje de residuos sólidos recolectados	64
18.	Volumen suelto (m ³).....	65
19.	Volumen compactado (m ³)	66
20.	Densidad suelta (kg/m ³)	67
21.	Densidad compactada (kg/m ³)	67

22.	Residuos producidos en la realidad vs residuos producidos según encuesta (%).....	69
23.	Volumen suelto vs volumen compactado (m ³)	70
24.	Residuos sólidos papel y cartón (lb)	71
25.	Distribución normal residuos sólidos de papel y cartón	72
26.	Residuos sólidos, telas y ropa (lb)	73
27.	Distribución normal residuos sólidos de telas y ropa	73
28.	Residuos sólidos de madera (lb).....	74
29.	Distribución normal residuos sólidos de madera	75
30.	Residuos sólidos de plástico (lb).....	75
31.	Distribución normal residuos sólidos de plástico.....	76
32.	Residuos sólidos de comida (lb)	77
33.	Distribución normal residuos sólidos de comida	77
34.	Residuos sólidos de vidrio (lb)	78
35.	Distribución normal residuos sólidos de vidrio	78
36.	Residuos sólidos de metales (lb)	79
37.	Distribución normal residuos sólidos de metales	80
38.	Residuos sólidos (lb) otros.....	81
39.	Distribución normal de otros residuos sólidos.....	81
40.	Residuos totales generados (lb)	82

TABLAS

I.	Proyección del crecimiento de la población 2002-2010	5
II.	Composición física de los desechos sólidos domiciliarios	16
III.	Actividades generadoras de residuos sólidos en la región de América Latina y El Caribe	22
IV.	Contenido energético de residuos sólidos	28

V.	Composición física de los desechos sólidos domiciliarios	30
VI.	Datos de los tamaños y tipos de recipientes usados para almacenamiento de los desechos sólidos	37
VII.	Aplicaciones y limitaciones típicas de los recipientes usados para almacenamiento de residuos sólidos en el origen.....	38
VIII.	Proceso de desarrollo de métodos de disposición final en ciudades en desarrollo.	44
IX.	Colores de separación, método de reciclaje	61
X.	Peso de residuos sólidos producidos	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
E	Error permisible
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
H	Humedad
kg	Kilogramos
km²	Kilómetro cuadrado
kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día
kg/m³	Kilogramo metro cúbico
L	Litro
lb	Libra
m	Metro
m³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
N	Número total de viviendas
%	Porcentaje
PPC	Producción per cápita o por habitante

GLOSARIO

Caracterización	Determinación de atributos de un objeto o persona.
Cwb	Clasificación climática de Köppen-Geiger. Templado con invierno seco (verano suave) La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22 °C pero se superan los 10 °C durante cuatro o más meses al año.
Disposición final	Servicio final que reciben los desechos sólidos de cierto lugar. Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
<i>E-waste</i>	Varias formas de equipo eléctrico y electrónico que ha cesado de ser valioso para los usuarios o ya no satisface su propósito original. Los productos han alcanzado su límite de utilidad por medio de redundancia, reemplazo, o rompimiento; el <i>E-waste</i> es una de las fuentes de desecho que más auge está teniendo en los últimos años.

Lixiviado

Producto de la percolación de las precipitaciones con los desechos sólidos al aire libre.

PET

Tereftalato de polietileno. Es una resina plástica derivada del petróleo que pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliéster. Es un termoplástico lineal el cual fue desarrollado inicialmente para hacer fibras textiles. Debido a sus excelentes propiedades intrínsecas se empezó a utilizar para la fabricación de envases.

HDPE

Polietileno de alta densidad. Es un termoplástico de polietileno derivado del petróleo. Entre sus características están su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas, y su alta resistencia a los impactos. Los productos y agentes químicos, así como los ácidos, no le provocan daño, y también soporta temperaturas del agua por encima del centenar de grados.

RESUMEN

El enfoque principal del presente trabajo de graduación es conocer y caracterizar los residuos sólidos domiciliarios de los vecinos de la aldea Vista Hermosa, del municipio de San Pedro Sacatepéquez, para brindar datos aproximados de la problemática del país; así también que sirva como base en la elaboración de un plan de manejo de residuos, que a su vez pueda ser aplicado tanto en los hogares como en los centros educativos y realizar un análisis de la necesidad de un relleno sanitario para aliviar la contaminación ambiental actual.

Actualmente, hay 33 vertederos no controlados en el municipio, que se extiende en un área total de 814,5 km². El manejo incorrecto de los residuos sólidos es la problemática que no solamente afecta a pequeñas comunidades, sino al país completo. La falta de educación ambiental e indiferencia por parte de pobladores y entidades gubernamentales provoca el aumento de vertederos clandestinos no controlados y el uso de recursos hídricos como ríos para su disposición final, que causa alteración visual para pobladores y turistas.

Como resultado de esta investigación se obtuvieron, en forma de porcentaje, las cantidades producidas de cada residuo sólido: 43,77 % restos de comida, 19,63 % plástico, 16,21 % papel y cartón, 10,50 % madera, 4,17 % telas y ropa, 2,31 % metales, 1,58 % vidrios y otro tipo de residuo que no estuviera dentro de esa clasificación tuvo 1,84 %.

OBJETIVOS

General

Caracterizar los residuos domiciliarios en la aldea Vista Hermosa municipal de San Pedro Sacatepéquez, del departamento de Guatemala.

Específicos

1. Clasificar los residuos sólidos que generan los domicilios del lugar de estudio.
2. Cuantificar los residuos sólidos generados en el lugar de estudio, para así darle un mejor manejo.
3. Cuantificar los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos generados en el lugar de estudio.
4. Analizar la necesidad de un relleno sanitario de acuerdo con la caracterización realizada.

INTRODUCCIÓN

Las entidades encargadas de proyectos que involucran el manejo y la disposición final de los residuos sólidos necesitan de parámetros que brinden información concreta para la toma de decisiones, las cuales tendrán beneficios en las comunidades aledañas, por lo que se requiere de la caracterización de residuos domiciliarios.

El municipio de San Pedro Sacatepéquez cuenta con grandes extensiones de tierra fértil; contribuye con su economía la venta de maíz y frijol. Además, posee riqueza de recursos naturales, biodiversidad y fuentes hídricas. Lastimosamente, toda la parte natural del municipio se ve opacado por el incorrecto manejo de sus residuos sólidos, esto debido a la deficiente educación ambiental y la falta de un vertedero controlado o relleno sanitario; los ríos y las llanuras la disposición final para estos.

El presente estudio tiene como finalidad obtener datos cualitativos y cuantitativos de los residuos sólidos domiciliarios generados por los vecinos de la aldea Vista Hermosa, en el municipio de San Pedro Sacatepéquez, del departamento de Guatemala. Con los datos obtenidos se desea proporcionar evidencia para las autoridades correspondientes para la implementación de métodos de reciclaje y reutilización con el fin de minimizar su impacto ambiental.

Los capítulos contenidos en el siguiente documento son los siguientes:

El capítulo I reúne información y datos sobre el municipio de San Pedro Sacatepéquez.

En el capítulo II se exponen los conceptos generales y las características de los residuos sólidos, su composición física, las consecuencias de su manejo incorrecto y los recipientes adecuados para su almacenamiento.

El capítulo III detalla los tipos de vertederos que existen y los parámetros que las entidades a cargo del diseño deben tomar en cuenta al momento de la construcción y el posicionamiento del relleno sanitario.

En el capítulo IV se realiza el desarrollo experimental de los datos obtenidos de las encuestas y la caracterización de los residuos sólidos del lugar de estudio.

El capítulo V presenta un análisis de resultados obtenidos; también, se incluye una propuesta para el correcto manejo de los residuos sólidos domiciliarios mediante el método de reciclaje; se hace énfasis en la necesidad de un relleno sanitario.

1. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN

En el siguiente capítulo se describirán los atributos principales del municipio de San Pedro Sacatepéquez, ubicado en el departamento de Guatemala.

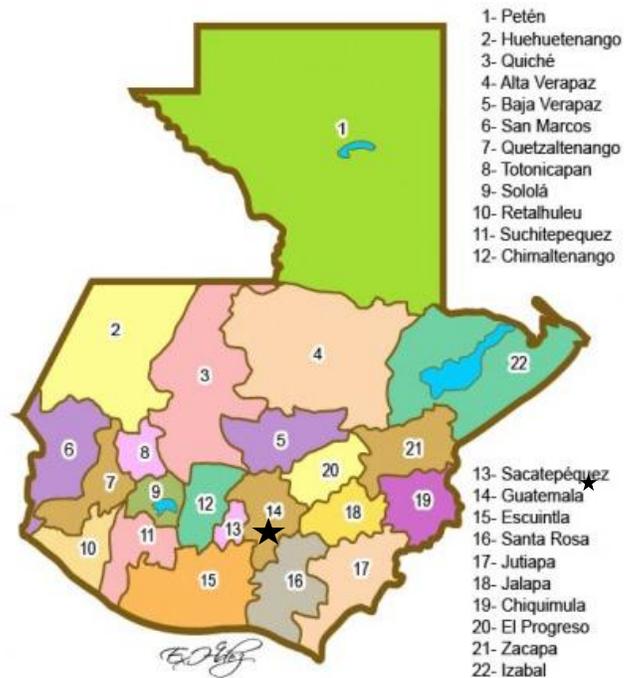
1.1. Antecedentes históricos del departamento de Guatemala

El 4 de noviembre de 1825 fue creado el departamento de Guatemala por Decreto de la Asamblea Constituyente. Se encuentra situado sobre la cordillera central en el altiplano, y presenta diferentes terrenos como cimas, llanuras y valles. Cuenta con 17 municipios, dentro de estos, San Pedro Sacatepéquez, y posee una extensión territorial de 2,253 km², los cuales colindan al norte con Baja Verapaz; al sur con Escuintla; al este con El Progreso, Jalapa y Santa Rosa; y al oeste con Sacatepéquez y Chimaltenango.

Es posible que San Pedro Sacatepéquez se fundara como municipio en diciembre de 1769, aunque como poblado ya existía desde mucho antes. Siendo Ximénez cura de Santo Domingo Xenacoj en 1717, al mencionar en su crónica a Fray Benito de Villacañas, que un español se quería quedar con este sitio para estancia o labor, el cual pertenecía a los indios de San Pedro, teniendo noticias que otro día había de venir a tomar posesión de él, instó a los indios que no hallaron otro modo de defenderlo y sacó una porción de gente del pueblo de San Pedro que acudieron con paja y materiales para hacer casas e iglesia en una noche, y a la mañana cuando vino el español, se halló con un pueblo formado en el sitio que él había apetecido, y de aquí ha crecido este pueblo.¹

¹ MORALES BARCO, Frieda. *Nueva Guatemala de la Asunción, génesis y desarrollo*. p. 9.

Figura 1. **Ubicación del departamento de Guatemala**



Fuente: Mi pueblo natal. *Ubicación departamento de Guatemala.*

<http://www.mipueblonatal.com/departamentos-de-guatemala.html>. Consulta: 19 enero de 2019.

1.2. Características geográficas del municipio San Pedro Sacatepéquez

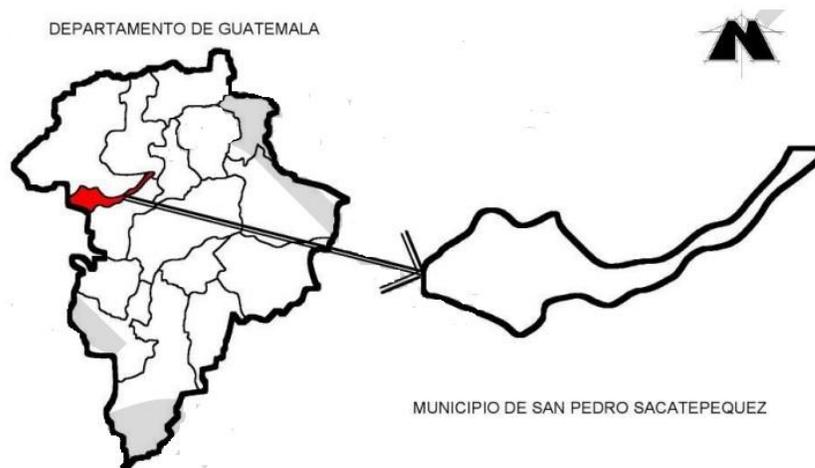
A continuación, se describen los aspectos geográficos de mayor relevancia en el municipio de San Pedro Sacatepéquez.

1.2.1. Ubicación geográfica y extensión territorial

“San Pedro Sacatepéquez es un municipio del departamento de Guatemala, en la región metropolitana de la República de Guatemala, en una

elevación de 2 101,66 msnm, y su extensión territorial abarca aproximadamente 48 km². Sus coordenadas geográficas son: 14°41'03"N, 90°38'39"O.”²

Figura 2. **Ubicación del municipio de San Pedro Sacatepéquez**



Fuente: Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez. *Ubicación municipio de San Pedro Sacatepéquez*. p. 13.

1.2.2. **Colindancias y localización**

“En cuanto a las colindancias, y su localización, el municipio de San Pedro Sacatepéquez se encuentra situado en la parte oeste del departamento de Guatemala, en la Región Metropolitana. Limita al norte con el municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala; al sur con el municipio de Mixco, Guatemala; al este con el municipio de Chinautla, Guatemala; y al oeste con los municipios de Santo Domingo Xenacoj y Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.

² GEODATOS. *Latitud y longitud*. <https://www.geodatos.net/coordenadas/guatemala/guatemala/san-pedro-sacatepequez>. Consulta: 9 de abril de 2018.

“Posee una extensión territorial de 30 km² y se encuentra a una altura de 2 101,66 msnm, por lo que generalmente su clima es frío. Se encuentra a una distancia de 25 km de la cabecera departamental de Guatemala.”³

1.2.3. Demografía

Se describirá el estudio estadístico de la población humana de la cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez obtenido del último censo poblacional realizado en los años 2017 y 2018 en el país.

- Población

Para el año 2002 la población total se calculó en 33,054 habitantes⁴, siendo estos distribuidos por grupo etario del municipio de San Pedro Sacatepéquez; se tiene para el año 2010 una estimación poblacional de 40 058 y la proyección estimada para el año 2025 de 57 176 habitantes.

³ DE LEÓN ORANTES, Rhina María. *Estudio de prefactibilidad para la creación de un instituto tecnológico en el municipio de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. p. 4.

⁴ Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez 2010. *Plan de desarrollo San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. p.16.

Tabla I. **Proyección del crecimiento de la población 2002-2010**

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Femenino	16536	16959	17401	17873	18238	18612	19010	19445	19912
Masculino	16518	16988	17453	17921	18367	18814	19248	19691	20146
Total	33,054	33,947	34,854	35,794	36,605	37,426	38,258	39,136	40,058

Fuente: Instituto Nacional de la Estadística, INE. *Censo poblacional llevado a cabo del año 2002 a 2010*. <https://www.ine.gov.gt/sistema/uploads/2014/02/20/jZqeGe1H9WdUDngYXkWt3GIhUUQCukcg.pdf>. Consulta: 18 de febrero de 2019.

La población del municipio está distribuida en un 59,8 % en el área rural, mientras que un 40,2 % es urbana, contando con un promedio del 82,7 % indígena perteneciente al grupo Kaqchiquel y el 17,3 % ladina, siendo otro de los municipios con población indígena del departamento de Guatemala.

De igual forma es importante mencionar tiene una tasa de natalidad del 29,9 % y una tasa de fecundidad siendo 115 nacimientos vivos, por cada 1 000 mujeres comprendidas en las edades de 15 a 49 años de edad fértil, lo que indica que continuará paulatinamente en crecimiento y por lo tanto, la demanda de los servicios básicos como es el de agua potable, caminos, seguridad, educación y salud. [...] La población por grupos étnicos está concentrada únicamente en el grupo Kaqchiquel el siendo uno de los cuatro (4) municipios del departamento de Guatemala que cuentan con la mayor población indígena⁵

En otras palabras, el municipio de San Pedro Sacatepéquez, del departamento de Guatemala, se convierte en uno de los municipios con mayor porcentaje de población indígena.

⁵ Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez 2010. *Plan de desarrollo San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. p.16.

1.2.4. Vías de acceso

El municipio cuenta el acceso principal⁶, tomando la Ruta Nacional (RN-5), que parte de la ciudad de Guatemala y que conduce hacia la cabecera del municipio de San Juan Sacatepequez. Luego, a 25 km sobre la misma ruta, se conduce a la cabecera del municipio de San Pedro Sacatepéquez

1.2.5. Dimensión ambiental

Los suelos de San Pedro Sacatepéquez gran parte de ellos se han utilizado para la producción de granos básicos y de hortalizas no tecnificados, y sin prácticas de conservación de suelos, lo cual ha provocado erosión. Es de tomar en consideración que esta serie de suelos constituye que paulatinamente va disminuyendo la buena calidad de producción de hortalizas. En cuanto a la morfología, el paisaje del municipio cuenta con 24,71 % de arbustos y matorrales, y de agricultura siendo un porcentaje menor del 21,75 % restando un 31,03 % de bosque natural; ya que, el 22,49 % restante lo constituye los centros poblados. El municipio de San Pedro Sacatepéquez, al igual que San Juan Sacatepéquez hasta hace unas décadas, era privilegiado por sus recursos naturales y sus bosques, no ha escapado al deterioro ambiental por múltiples factores. Su posición geográfica, entre las subcuencas de captación pluvial del río Motagua lo han convertido en tiraderos de basura y evacuación de aguas servidas sin tratamiento.⁷

1.2.5.1. Clima e hidrografía

Generalmente su clima es frío. Se ubica a una altura de 2 101,66 metros sobre el nivel del mar. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología, Insivumeh, el promedio de temperatura anual es de 18 °C a 25 °C, con temperaturas máximas de 22 °C y una mínima de 5 °C a 10 °C. El régimen de lluvias se caracteriza por presentar precipitaciones que anualmente fluctúan entre: 2 000 a 2 500mm. El periodo de menor pluviosidad (época seca) comprende los meses de noviembre a abril. La época lluviosa empieza en el mes de mayo y finaliza en el mes de octubre. Estos datos climáticos han variado en los últimos años, lo cual ha colocado al municipio como una zona con amenaza por sequía al igual que el municipio de San Juan Sacatepéquez y San Raymundo.⁸

⁶ Segeplan. *Plan de desarrollo municipal*. <http://goo.gl/7eyLD6>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

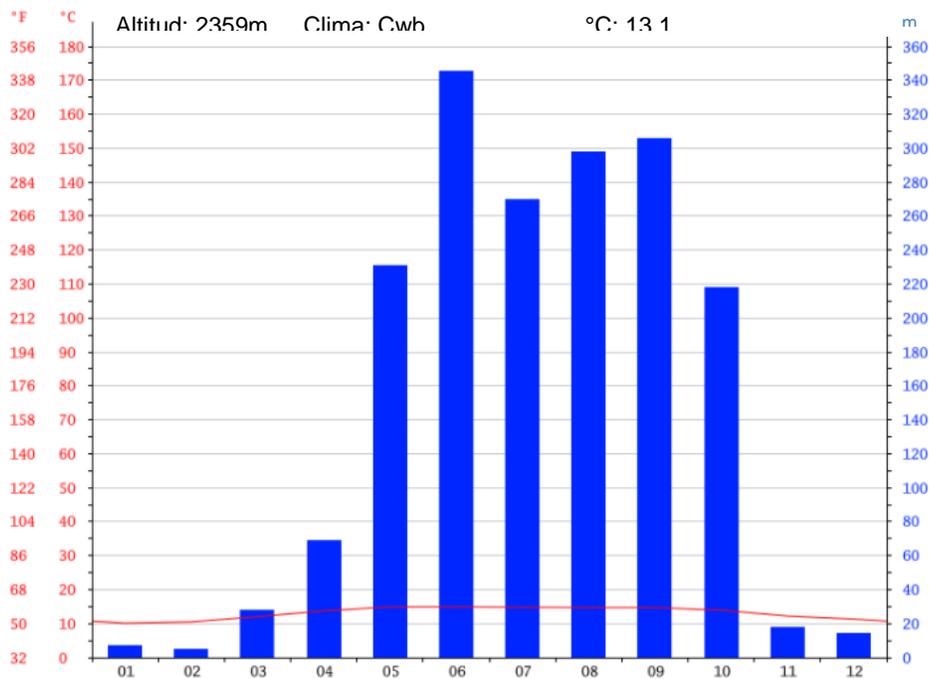
⁷ De Guate. *Recursos naturales de San Pedro Sacatepéquez - municipios de Guatemala*. <http://www.deguate.com/municipios/pages/guatemala/san-pedro-sacatepequez/recursos-naturales.php>. Consulta: 16 de abril del 2018.

⁸ Segeplan. *Plan de desarrollo municipal*. p. 38.

En febrero se cuenta con la precipitación más baja del año, con un promedio de 7 mm, mientras que la más alta la tiene junio, con 300 mm. San Pedro Sacatepéquez cuenta con una clasificación climática de Köppen-Geiger: Cwb (templado con inviernos secos).

Para su representación, se cuenta con la ayuda de un climograma, el cual es un gráfico de doble entrada en el que se representan resumidos los valores de precipitación y temperatura reunidos en una estación meteorológica. En este se muestran los datos medios de cada mes del año, tomándose en cuenta la precipitación y la temperatura media (en °F o °C) a lo largo de todos los años observados.

Figura 3. **Climograma San Pedro Sacatepéquez, Guatemala**



Fuente: Climate. *Climograma de San Pedro Sacatepéquez*. <https://es.climate-data.org/location/54086/>. Consulta: 20 de febrero de 2019.

El gráfico muestra los valores de precipitación y temperatura del municipio de San Pedro Sacatepéquez, en el departamento de Guatemala, en el lapso de un año. En el eje de las abscisas se detalla con numeración los meses del año, y en el eje de las ordenadas se encuentran 3 tipos de valores. En el lado derecho se muestra en mm la cantidad de precipitación que cada mes presentó; en el lado izquierdo se encuentran las temperaturas en dos diferentes mediciones, grados Fahrenheit y grados Celsius (°F y °C).

En la parte superior del gráfico se muestra la altitud del municipio, su clasificación de Köppen-Geiger, su temperatura y precipitación media durante el año.

1.2.5.2. Recursos hídricos

La contaminación del agua es de un 70 %, en los mantos superficiales (ríos y lagunas), la cual no las hace aptas para consumo humano y los contaminantes son generalmente consecuencia de la descarga de aguas servidas, encontrándose las aguas subterráneas en las mismas condiciones. San Pedro Sacatepéquez cuenta con 7 nacimientos de agua, pocos riachuelos y quebradas; lamentablemente en muchas de ellas la contaminación es muy alta.⁹

A raíz de la inmoderada tala de árboles se ha incrementado la erosión, incidiendo negativamente en la conservación del agua y suelo del municipio, que afecta directamente a los mantos freáticos, reduciéndolos e incluso agotándolos.

Actualmente los nacimientos de agua y los ríos, no son controlados, contando únicamente con pocas plantas de tratamiento; los actores clave comentan que estas creen que no están en funcionamiento por la falta de mantenimiento contaminan especialmente a los nacimientos de agua, siendo necesario que se tomen medidas para su preservación y poder contar con el financiamiento para darles el debido mantenimiento anual para así poder construir más a evitar desastre a futuro.¹⁰

⁹ Segeplan. *Plan de desarrollo municipal*. p. 38.

¹⁰ *Ibíd.*

1.2.6. Saneamiento ambiental

Al igual que en el municipio de San Juan Sacatepéquez, el uso de químicos es una de las grandes problemáticas con las que se cuenta, la cual proviene en su mayoría del sector de maquilas, quienes realizan la fabricación de cohetería en pequeña escala. Estas fábricas lanzan químicos a los ríos que provocan contaminación severa a los recursos hídricos de lugar.

Como consecuencia de la inapropiada disposición de los desechos y residuos sólidos, la proliferación de basureros clandestinos y rellenos sanitarios ha ido en aumento conforme a los años. En la mayoría de las comunidades del área urbana y rural no se paga el servicio de extracción de basura, debido a la educación ambiental con la que cuenta la población, se inclinan por dejar las bolsas de desechos en las calles o lanzarlas a ríos.

1.2.7. Problemática del país

De acuerdo con el perfil ambiental 2006, en el país diariamente se generan desechos sólidos por un monto de entre 6 000 a 7 000 toneladas, de las cuales, el 54 % se producen en las zonas urbanas y el restante 46 % en las zonas rurales.

La urbanización, con sus efectos sobre el medio ambiente, conlleva también hábitos de consumo y de actividades por parte de los individuos, lo que implica, impactos y consecuencias, dentro de los cuales destaca una creciente generación de residuos y desechos sólidos. Mientras que en el área rural únicamente se disponen anualmente 36 738,69 toneladas, lo que equivale al 5,2 % de lo generado, el volumen respectivo en las zonas urbanas, colectado en los botaderos municipales, se multiplica casi por 14, siendo de 500 874,49 toneladas, lo que representa casi el 60 % de lo generado en las urbes.

La generación de residuos y desechos sólidos domiciliarios en centros urbanos sitúa a los departamentos de Guatemala (47,36 %), Quetzaltenango (6,43 %) y Escuintla (4,80 %) como los más importantes. En el ámbito rural, la generación es relativamente mayor en los departamentos de Huehuetenango, Alta Verapaz, San Marcos y Guatemala, entre ellos generan más del 36 % del total producido en el área rural.

El volumen total de los desechos que no es recolectado es de aproximadamente 11 010 638 toneladas anuales, siendo tal cantidad dispuesta en botaderos

ilegales, quemada o enterrada. Esta cantidad representa el 65 % de los desechos domiciliarios generados en el país.¹¹

El acelerado crecimiento poblacional, los patrones de producción, la urbanización y el consumo de la sociedad guatemalteca, ha tenido como consecuencia un incremento en la generación de desechos y residuos sólidos, así como una particular composición de los mismos. Aunque siendo un problema urgente de resolver y que preocupa a la mayoría de los sectores (iniciativa privada, autoridades municipales, gobierno, sociedad en general, oenegés), a nivel nacional, las acciones por enfrentar la problemática de manera responsable, integral y eficiente son escasas, como lo es por ejemplo, los diez sistemas de manejo de desechos sólidos contabilizados hasta el 2009, de los cuales no todos operan en su totalidad.

La tarea de recolección de residuos se dificulta en el área rural por la dispersión de las comunidades y poblados, así como los hábitos de quemar y enterrar los mismos. Sin embargo, esta es únicamente una de las etapas, ya que no existe ninguna experiencia, a nivel municipal, de una clasificación sistematizada y eficiente de los desechos; todo esto será mientras haya porcentajes bajos en reciclaje y reutilización a nivel nacional.

1.3. Microlocalización

“Definidos los datos importantes del municipio, se procede a la localización del área de influencia, específicamente, la aldea Vista Hermosa, ubicada al sureste de la cabecera municipal. La aldea cuenta con ocho caseríos, siete de categoría rural, y uno de categoría urbana.”¹²

¹¹ Congreso de la República de Guatemala. *Informe nacional sobre desarrollo sostenible*. p. 44.

¹² Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez 2010. *Plan de Desarrollo San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. p. 40.

2. CONCEPTOS GENERALES

Los principales productores de residuos sólidos son los pobladores de ciudades grandes; gracias a esto, se cuenta con servicios de recolección de basura, y los residuos terminan en basureros controlados con algún tipo de procesamiento final para su aprovechamiento.

Si bien las grandes ciudades tienen una mayor producción, las poblaciones apartadas no cuentan con la educación de reciclaje adecuada; no saber clasificar o dar un apropiado tratamiento a los residuos producidos crea contaminación en los recursos ambientales del lugar, así como peligro a sus pobladores por sus efectos.

2.1. Residuos sólidos

Los residuos son aquellos objetos que, si bien ya no sirven para la función que fueron creados o adquiridos, (por ejemplo, envases, restos de comida, electrodomésticos averiados, ropa vieja, o todo tipo de objetos rotos, etcétera. (...)) pueden ser reutilizados mediante procedimientos de reciclaje. Es por esto que los residuos tienen un valor económico apreciable ya que pueden volver a formar parte del mundo del consumo. En cambio, se considera desechos a los materiales u objetos que quedan en desuso, pero no pueden volver a ser reutilizados. Pueden ser domésticos o subproductos provenientes de procesos industriales. Forman parte de los desechos las sustancias químicas tóxicas, como los desechos radiactivos, o cualquier otro elemento peligroso para el medio ambiente, al cual no es posible reciclar, por lo que debe ser tratado de forma especial para evitar cualquier tipo de contaminación.¹⁴

En resumen, se consideran reutilizables los materiales que no sean tóxicos para el consumidor futuro: papel, vidrio, metales, plásticos y botellas. Los desechos son aquellos otros que son o podrían ser tóxicos, que ya no

¹⁴ Ocio, ultimate magazine. *Diferencia entre desechos y residuos*. <https://www.ocio.net/estilo-de-vida/ecologismo/diferencia-entre-desecho-y-residuo/>. Consulta: 26 de abril de 2018.

pueden reutilizarse, como desechos hospitalarios, químicos de empresas textiles o simples baterías que se utilizaron y no se les da el manejo adecuado luego del fin de su vida útil.

2.1.1. Clasificación de residuos sólidos

El sobreconsumo, el crecimiento de la población y una cultura de producción que empodera lo desechable por sobre lo retornable, ha provocado que la basura sea la principal causa de problemas ambientales y de contaminación en la actualidad. Un cambio en la mirada desde el concepto de desechar, al de clasificar y reutilizar, puede abrir el camino en la minimización del problema, por lo que se expondrá sobre los diferentes tipos de desechos y residuos sólidos que existen.¹⁵

- Por su composición: se refiere al manejo que se les da a los residuos sólidos luego de desechados, su clasificación es la siguiente:
 - Papeles y cartones: estos incluyen periódicos, revistas, hojas, facturas, formularios, carpetas, folletos, guías telefónicas, envases de cartón. Antes de desecharlos es de suma importancia eliminar elementos como grapas, cintas adhesivas o plásticos. La mayoría de las veces no son reciclables los siguientes tipos de papeles: papel de fax y carbónico, papeles plastificados, celofán, envases de comida, servilletas y papel de cocina, vasos usados, papel de fotos y etiquetas.
 - Vidrios: aunque suelen ser reciclables eternamente, cuentan con estabilizantes, sílice y alcaloides como materias primas. La mayor cantidad de desechos provienen de los hogares en forma de botellas de bebidas y envases de alimentos, habiendo también cristales de ventanas. Por lo general, no son reciclables: focos,

¹⁵ Nuestra Esfera. *Cómo se clasifican los residuos*. <http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos/>. Consulta: 13 de enero de 2019.

tubos de luz, lámparas, espejos, lentes, tazas, macetas y otros objetos de cerámica.

- Chatarra y metal: se encuentran en las tuberías de los hogares, en los cables eléctricos el cobre, en las soldaduras el estaño y en ventanas junto con los utensilios el aluminio. Normalmente las latas de acero y aluminio pueden ser utilizadas para la elaboración de nuevas latas, sin perder la calidad del material.
- Pinturas y aceites: cuentan con sustancias químicas como aglutinantes y pigmentos diferentes. La mayoría de estos residuos provienen de negocios automotrices, y debido a que son muy inflamables no deben ser desechados junto con la demás basura.
- Plástico: ya que existen más de cien tipos de plásticos derivados del petróleo, los más comúnmente encontrados en el hogar son envases de productos de limpieza, bolsas de plástico, juguetes, entre otras cosas.
- Botellas de plástico PET: la mayoría de hogares que reciclan creen que todos los productos de plástico son reciclables, pero por lo general, no lo son los plásticos de envases de comida y bebida, cubiertos desechables, macetas, sillas, mesas, entre otros.
- Botellas de plástico HDPE: se encuentra principalmente en las botellas de detergentes, blanqueadores, envases de leche. En la industria textil, el algodón y lino suelen ser residuos reutilizables. No son reciclables las telas impregnadas con contaminantes como pintura, combustible, entre otros.

- Baterías y pilas: estos cuentan con materiales como cobre, aluminio y litio. Se encuentran en una gran cantidad de aparatos eléctricos, móviles y otros. Debido a la gran producción de estos, se creó el término *E-waste*, considerado la basura del siglo XXI, y abarca los componentes electrónicos como equipos de computadores, celulares, fax, impresoras y otros equipos automatizados.

En la actualidad, con un adecuado programa de manejo de residuos, la mayoría de estos artículos podría llegar a tener una vida útil infinita, ya que gracias a los avances tecnológicos, los procesos de recuperación de componentes reutilizables que estos contienen hacen que pueda ser cien por ciento reciclable y reutilizable por los usuarios.

Tabla II. **Composición física de los desechos sólidos domiciliarios**

Componente	Tipos de Residuos
Papel y cartón	Periódico, revistas, cajas, papel usado
Trapos	Ropa vieja, mantas de cocina.
Madera y follaje	Hojas de plantas, palos, restos de madera utilizada
Restos de alimentos	Residuos de comida, vegetales, excremento de animales.
Plásticos, caucho y cuero	Botellas plásticas, zapatos, abrigos, cinchos.
Metales	Baterías, latas, marcos de hierro.
Vidrios	Recipientes de vidrio
Suelos y otros	Suelo de jardín, polvo, suciedad.

Fuente: KUNITOSHI, Sakurai. *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*.

www.bvsde.paho.org. Consulta: 9 de enero de 2019.

- Orgánicos: las frutas, verduras y restos de comidas pueden ser aprovechados por el usuario, debido a que son biodegradables, es decir,

tienen la capacidad de fermentar y ocasionan procesos de descomposición.

Los desechos orgánicos están compuestos por materias derivadas de vegetales, animales y comestibles, los cuales se descomponen con facilidad y vuelven a la tierra [...] Aunque la naturaleza los puede aprovechar como parte del ciclo natural de la vida, cuando se acumulan posibilitan la multiplicación de microbios y plagas, convirtiéndose en potenciales fuentes de contaminación de aire, agua y suelo.¹⁶

Figura 5. **Residuos orgánicos**



Fuente: elaboración propia.

- **Inorgánicos:** son aquellos desechos que debido a sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta, y aunque muchos de estos son de origen natural, no son biodegradables, por ejemplo, los envases de plástico, latas, metales y otros productos de uso cotidiano de origen industrial. Suelen tener métodos mecánicos y artificiales de reciclaje, debido a que, sin este, pueden llegar a estar en el planeta incluso por más de 500 años.

¹⁶ Nuestra Esfera. *Cómo se clasifican los residuos*. <http://nuestraesfera.cl/zoom/como-se-clasifican-los-residuos/>. Consulta: el 16 de abril del 2018.

Figura 6. **Desechos inorgánicos**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Clasificación según su origen

Para la clasificación del origen de los residuos, se constituye un parámetro interesante, ya que muchas de sus propiedades y características están determinadas por la forma y el lugar en donde se iniciaron. Teniendo en cuenta su origen, se pueden distinguir, entre otros, los siguientes grupos de residuos:

- **Residenciales**

Consisten en residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de zonas residenciales y de establecimientos comerciales. La fracción orgánica de los residuos sólidos domésticos y comerciales está formada por materiales como residuos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todos los tipos, textiles, goma, cuero, madera y residuos de jardín. La fracción inorgánica está formada por artículos como vidrio, cerámica, latas, aluminio y metales féreos.

Si los componentes de los desechos no se separan cuando se desechan, entonces la mezcla de estos residuos se conoce como residuos sólidos domésticos y comerciales no seleccionados.

En los residuos comerciales hay también producción de desechos especiales tales como electrodomésticos, productos de línea blanca, baterías y pilas eléctricas que producen la contaminación del agua subterránea por los metales

que contienen y luego forman parte del lixiviado que proviene del contacto del agua con los desechos.¹⁷

- Comerciales e industriales

Se compone de cualquier material que sea descartado de un proceso industrial o semiindustrial, este no incluye los residuos resultantes de las actividades administrativas o de la preparación alimenticia de una planta industrial.

Puede variar dependiendo de la industria que los genere como la elaboración de productos de limpieza, fundición de acero, extracción de petróleo, y de otra índole, el cual puede generar fibras dañinas y escorias para los seres humanos.

- Lugares públicos

“Las fuentes incluyen centros administrativos, escuelas, cárceles y hospitales, excluyendo a los residuos de fabricación de las industrias y los residuos sanitarios de los hospitales. En la mayoría de los hospitales, los residuos sanitarios son manipulados y procesados separadamente de otros residuos.”¹⁸

- Hospitalarios

¹⁷ DUARTE DÍAZ, Felipe Andrés. *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, departamento de El Progreso y propuesta para relleno sanitario*. p. 2.

¹⁸ *Ibíd.*

Este tipo de residuos es de carácter muy especial, debido al desarrollo de la naturaleza de las actividades en los establecimientos hospitalarios. Se cuentan los residuos de tipo infeccioso, material médico quirúrgico, elementos corto punzantes, restos de tejidos humanos, restos de fármacos, entre otros, nombrando los más relevantes, y considerando las características especiales de estos residuos, ellos reciben un tratamiento específico.

Según el Acuerdo Gubernativo 509-2001, de la República de Guatemala, por su peligrosidad los desechos hospitalarios se pueden clasificar en:

- Desechos comunes: son los desechos orgánicos del servicio alimenticio e inorgánico, generados por actividades administrativas y generales que no presentan ningún riesgo para la salud, puede catalogárseles como domésticos.
- Desechos bioinfecciosos: Desechos que han sido utilizados para la curación o atención a los pacientes, presentan diferentes niveles de peligro potencial por su exposición a patógenos, virus y bacterias, de acuerdo con el grado de exposición que hayan tenido con los agentes infecciosos como: jeringas, bisturíes, algodones, órganos y tejidos, sangre, vacunas vencidas, cadáveres o partes de animales infectados, etcétera.
- Desechos especiales: Generados durante actividades auxiliares de atención de salud y no tienen contacto con pacientes u otro elemento infeccioso. Son peligrosos debido a sus características como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, explosividad, toxicidad y radiactividad. Estos pueden ser: solventes, baterías usadas, productos de quimioterapia, limpieza, medicamentos vencidos, materiales radiactivos de equipos de rayos X y radioterapia.¹⁹
- Ganaderos, agrícolas y forestales

Los residuos ganaderos, agrícolas y forestales son todos aquellos residuos generados de las actividades propias de la ganadería, la agricultura y las actividades forestales, respectivamente.

¹⁹ EGUIZABAL LEÓN, Ana Rebeca. *Caracterización de desechos sólidos domiciliarios en colonia Los Naranjales, zona 4, municipio de Escuintla*. p. 5

Los residuos agrícolas provienen de la parte de las plantas cultivadas, las cuales se precisa separar para la obtención de las partes útiles, las que serán destinadas al consumo y que deben de recogerse para evitar obstaculizar el aprovechamiento del espacio de cultivo utilizado.

Los residuos forestales son aquellos destinados al aprovechamiento de la madera, la prevención de plagas o incendios. Estos ocurren debido a actividades forestales en pro de la naturaleza.

Los residuos de ganadería son aquellos, que, teniendo el fin de aprovechar sus productos, se agrupan especies animales que benefician al hombre.

El aprovechamiento de estos residuos va a ser distinto según sus características. Los residuos forestales y ganaderos poseen un poder calorífico elevado y un grado de humedad relativamente bajo, lo que permite su incineración con recuperación de energía, su gasificación o pirólisis. Por otro lado, los residuos ganaderos por su alta humedad requieren tratamientos bioquímicos orientados a la producción de biogás y generación de abono orgánico.²⁰

Actualmente, la disposición final de estos desechos no es responsabilidad de la mayoría de las autoridades municipales sino de los propietarios ganaderos y agrícolas, sin embargo, en muchas áreas, como lo son corrales y granjas lecheras, la disposición de estiércol animal se ha convertido en un problema crítico.

²⁰ ECOTICIAS. *Residuos y reciclaje*. <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/21179/medio-ambiente-definicion-noticias-contaminacion-cambio-climatico-calentamiento-global-ecologia-ecosistema-medioambiente-medioambiental-impacto-politica-gestion-legislacion-educacion-responsabilidad-tecnico-sostenible-obama-greenpeace-co2-naciones-unidas-ambiental-ingenieria-educacion-salud-Kioto-Copenhague>. Consulta: 16 de abril de 2018.

Tabla III. **Actividades generadoras de residuos sólidos en la región de América Latina y El Caribe**

Actividades	Componentes	% del total de RSD
Residencial y domiciliario	Desperdicios de cocina, papeles, cartón, plástico, vidrio, metales, textiles, residuos de jardín, tierra, etc.	
Comercial: almacenes, oficinas, mercados, restaurantes, hoteles y otros.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales y peligrosos.	10 a 20
Institucional: oficinas públicas, escuelas, colegios, universidades, servicios públicos y otros.	Semejantes al comercial.	5 a 15
Industria (pequeña industria y artesanía), manufactura, confección de ropa, zapatos, sastrería, carpinterías. etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Incluyendo residuos de comida, cenizas, demolición, construcción.	5 a 30
Barrido de vías y áreas públicas	Residuos que arrojan los peatones, tierra, hojas, excrementos de animales, etc.	10 a 20

Fuente: Washington DC, OPS/OMS. *Diagnóstico de la situación de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. p. 59.

2.2. Gestión integral de residuos sólidos

Se puede definir como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos, los cuales armonicen con los principios de la salud pública, economía, conservación y otros aspectos ambientales, pero que a la vez respondan con las expectativas públicas. Dentro de este ámbito se incluyen también las funciones administrativas, financieras, legales y de planificación con las se trabaja en la ingeniería, involucrándolas en la búsqueda de soluciones para los problemas de los residuos sólidos.

La gestión de residuos sólidos tiene una gran incidencia en la protección del ambiente y en la salud pública. Actualmente, este proceso se ha limitado a la prestación de un servicio de aseo centrado en la recolección de los residuos y su transporte a un sitio de disposición final sin ningún manejo técnico, de manera incontrolada, al aire libre o en cuerpos de agua. Todo esto, claro está, ha causado y causa graves problemas ambientales que afectan la salud, especialmente de los niños y niñas, vulnerando su derecho a vivir en un ambiente sano.

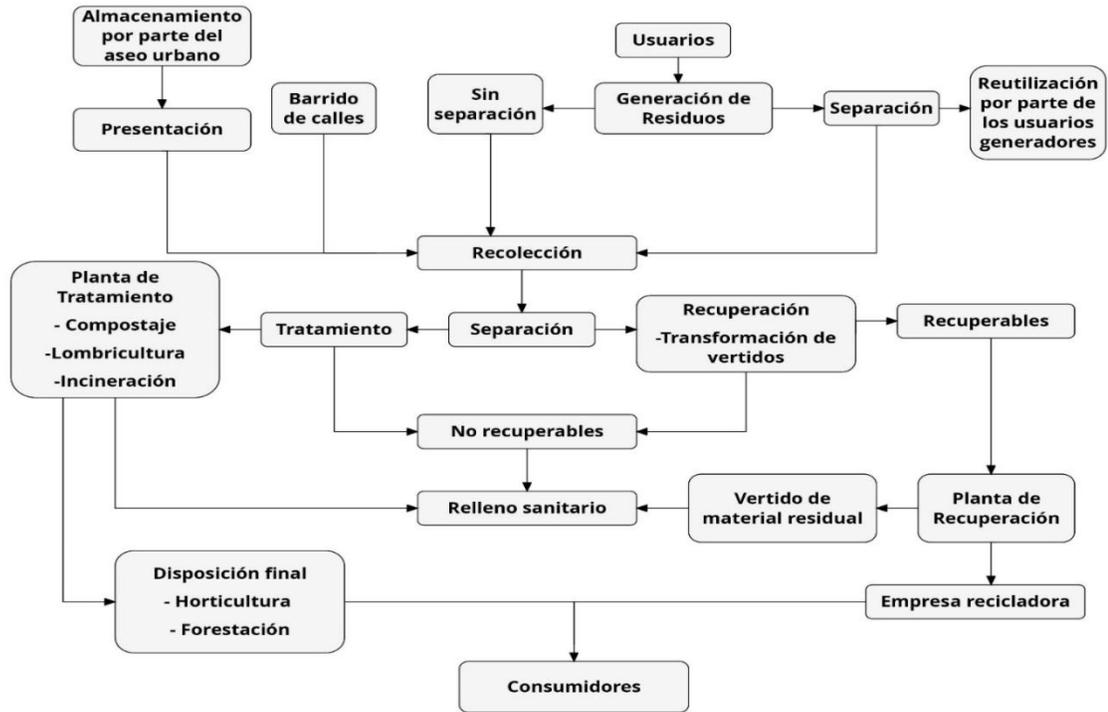
En los municipios menores urbanos y periurbanos y zonas rurales, la situación de los residuos está relacionada con el aumento en la generación de residuos, pérdida de las oportunidades de utilización de los residuos aprovechables, limitaciones técnicas para una disposición final adecuada, dificultades en el pago de tarifas, escaso desarrollo institucional en la gestión, poca participación ciudadana en el servicio y en el control de la calidad del mismo. En general, la mayoría de los municipios presentan debilidades en cuanto a la gestión de los residuos sólidos.

Se puede utilizar una jerarquía para la clasificación de la gestión de residuos sólidos, y se forma por los siguientes elementos:

- Reducción de origen: implica la reducción de cantidad y toxicidad de los residuos sólidos actualmente generados. Se puede lograr a través del diseño, fabricación y envasado de los productos con el mínimo de material tóxico, material primario o una vida útil más prolongada. Esto también puede lograrse dentro del hogar y en la instalación comercial o industrial, a través de compra de productos y materiales reutilizables.

- Reciclaje: dentro de esta categoría se incluye: 1) separación y recolección de materiales residuales, 2) la preparación de los materiales para su reutilización, reprocesamiento y transformación en nuevos productos. El reciclaje es el factor clave para la reducción de la demanda de nuevos materiales y la cantidad de residuos que requieren la evacuación mediante vertido.
- Transformación de vertidos: en esta categoría se implica la alteración física, química o biológica de los residuos. Las transformaciones previamente mencionadas (física, química y biológica) típicamente son utilizadas para: 1) mejorar la eficiencia de sistemas y operaciones de la gestión de residuos, 2) la recuperación de materiales que pueden ser reutilizados o reciclados, y 3) la recuperación de productos de conversión (compost), así como la energía en forma de calor y biogás combustible.
- Vertido: esta última comprende los residuos que no pueden ser reciclados ni reutilizados, así como la materia residual que queda luego de la separación en una instalación de recuperación de materiales y la que queda luego de la recuperación de productos de conversión o de energía.

Figura 7. **Gestión integral de residuos**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Tasa de generación y recolección

Se puede llegar a conocer el consumo que una población posee durante un periodo de tiempo por medio de mediciones que se basan en su tamaño y de sus características socioeconómicas. También, se expondrán las variaciones en porcentajes comparando la cantidad de residuos desechados y recolectados.

2.3.1. Producción per cápita (PPC)

La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de

animales por día. La producción de residuos sólidos domiciliarios en la región varía de 0,3 a 1 kg/hab/día. Cuando a este tipo de residuos se agregan otros como los producidos por el comercio, las diversas instituciones, la pequeña industria, el barrido y otros, esta cantidad se incrementa entre 25 % y 50 %, o sea, que la producción diaria es de 0,5 a 1,2 kg/hab/día. En los países industrializados, en cambio, se tienen indicadores de producción por habitante mayores de un kilogramo por día.²¹

Es decir, matemáticamente, son los kilogramos diarios de producción de residuos sólidos por habitante que se generan en determinada región, los cuales varían según la localidad, población y ámbito social, y se puede expresar en las siguientes unidades:

$$\text{PPC} = \text{kg/hab/día}$$

2.3.2. Recolección

Dentro de la recolección de residuos se incluyen los no seleccionados, encontrados en comunidades sin programa de reciclaje, y en origen (seleccionado y no seleccionado) los cuales provienen de comunidades que cuentan con programas de reciclaje. La diferencia entre la cantidad de residuos sólidos domiciliarios y los recolectados para su procesamiento y/o vertido puede variar desde el 4 % al 15 %. Esta diferencia se puede justificar por la cantidad de material: 1) fermentado, 2) quemado en chimeneas domésticas, 3) donado a caridad, 4) arrojado en alcantarillas, 5) entregado en estaciones de recolección selectiva y centros de reciclaje, 6) vertido cerca de locales o puestos de venta o 7) reciclado directamente.

“En general la diferencia porcentual entre la cantidad generada y la recolectada será más pequeña (del 4 al 6 %) para piso que para casas

²¹ DUARTE DÍAZ, Felipe Andrés, *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, departamento de El Progreso y propuesta para relleno sanitario*. p. 31.

individuales con espacio adecuado para el compostaje doméstico en el jardín (del 8 % al 15 %).²²

2.4. Estudios realizados sobre los residuos sólidos

Para su correcta clasificación y estudio, los residuos sólidos presentan una serie de propiedades que deben ser consideradas en la gestión ambiental de residuos sólidos, las cuales se verán a continuación.

2.4.1. Propiedades físicas

Se define como una propiedad física toda aquella que es medible, los cambios en las propiedades físicas de un sistema describen sus transformaciones y evoluciones durante un periodo de tiempo.

2.4.2. Peso

Según el SI, se mide en kilogramos (kg) y este representa la masa de los residuos sólidos. Se hace referencia a peso húmedo o seco, este dependiendo de la condición en que se generen los residuos.

Peso = masa de los residuos sólidos (kg)

2.4.3. Volumen

Representa el espacio ocupado por la masa de los residuos sólidos; de acuerdo al SI, se mide en metros cúbicos (m^3).

²² CERRATO LICONA, Edilfredo, *Gestión integral de desechos sólidos*. p. 23.

$$Volumen = (m^3)$$

2.4.4. Peso específico

Se refiere a la cantidad de agua contenida en la masa de los residuos sólidos, y suele utilizarse mayormente en los residuos orgánicos, ya que estos por su composición física mantienen un contenido de agua elevado.

$$Humedad (\%H) = \frac{\text{peso húmedo (kg)} - \text{peso seco (kg)}}{\text{peso seco (kg)}}$$

2.4.5. Contenido energético de residuos sólidos

El carbono, hidrógeno y oxígeno en los residuos sólidos hacen que estos tengan un contenido energético, el cual les permite en algunos casos reemplazar el combustible. Se define como la cantidad de calor generada por la combustión de un kilogramo de residuos sólidos.

$$\text{Contenido energético} = \frac{\text{Kcal}}{\text{masa de los residuos sólidos (kg)}}$$

Tabla IV. Contenido energético de residuos sólidos

Componentes	Contenido energético
Plásticos, caucho y cuero	9 000 kcal/kg
Papel y cartón	4 000 kcal/kg
Madera y follaje	4 000 kcal/kg
Restos de alimentos	4 000 kcal/kg
Trapos	4 000 kcal/kg
Metales	0 kcal/kg
Vidrios	0 kcal/kg
Suelos y otros	0 kcal/kg

Fuente: KUNITOSHI, Sakurai. *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*.

www.bvsde.paho.org. Consulta: 09 de julio de 2018.

2.5. Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento de los residuos sólidos

Las consecuencias de un incorrecto manejo y procesamiento dan lugar a que la población que está siendo expuesta a los residuos producidos puedan contraer enfermedades que afecten su desempeño diario, e incluso la muerte. A continuación, se describen los efectos que el manejo incorrecto de los residuos sólidos sin tratar puede traer a la sociedad.

2.5.1. Gestiones negativas

Son aquellos que provienen de un inadecuado manejo de disposición final de los residuos y desechos sólidos, los cuales afectan negativamente, tanto a la población como a los recursos naturales a su alrededor.

Actualmente, existen sistemas de tratamiento para los residuos sólidos, y de los cuales solamente algunos funcionan adecuadamente: la planta del IRTRA en Retalhuleu y el relleno sanitario del kilómetro 22.5 en Villa Nueva.

- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios

Los vectores son organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas, o de animales a personas. Los mosquitos son los vectores de enfermedades mejor conocidos. Garrapatas, moscas, flebótomos, pulgas, triatómicos y algunos caracoles de agua dulce también son vectores de enfermedades.

En su conjunto, las enfermedades transmitidas por vectores representan aproximadamente un 17 % de las enfermedades infecciosas. La mayor carga de estas enfermedades, que afectan de forma desproporcionada a las poblaciones más pobres, corresponde a las zonas tropicales y subtropicales. Desde 2014, grandes brotes de dengue, paludismo, fiebre chikungunya, fiebre amarilla y enfermedad por el virus de Zika han azotado a diferentes poblaciones, cobrándose vidas y abrumando los sistemas de salud en muchos países.²³

Tabla V. **Composición física de los desechos sólidos domiciliarios**

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
Rata	Mordisco, orina y heces Pulgas	Peste bubónica Tifus marino Leptospirosis
Mosca	Vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amibiasis Disenteria Giardiasis
Mosquito	Picadura de mosquito hembra	Malaria Leishmaniasis Fiebre amarilla Dengue Filariasis
Cucaracha	Vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea Cólera Heces Giardiasis
Cerdo	Ingestión de carne contaminada	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis
Ave	Heces	Ave

Fuente: elaboración propia.

²³ Organización Mundial de la Salud. *Enfermedades transmitidas por vectores*. <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>. Consulta: 26 de junio de 2018.

- Contaminación atmosférica

En el proceso de descomposición de los residuos sólidos, estos generan gases y olores, como el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales aportan al incremento del efecto invernadero que sufre el planeta, como consecuencia de esto se sufren aumentos de temperatura y deshielo en los polos.

Para la protección de la atmósfera y el aire de la república de Guatemala, se cuenta con el cumplimiento de normas las cuales su vigilancia y control dependen de entidades gubernamentales como: el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el Ministerio de Energía y Minas, el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) y el Consejo Nacional de Cambio Climático.

Guatemala ha ratificado los convenios relativos a cambio climático y protección de la capa de ozono, siendo estos el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático suscrito por Guatemala el 10 de julio de 1998, según Decreto número 23-99 del Congreso de la República de Guatemala, de fecha 5 de diciembre de 1998 y publicado en el diario oficial el 16 de junio de 1999; Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, aprobado el 22 de marzo de 1985 según Decreto número 39-87 del Congreso de la República de Guatemala, de fecha 8 de julio del mismo año y publicado en el diario oficial el 28 de julio 1987; y Protocolo de Montreal Relativo a las Substancias Agotadoras de la Capa de Ozono, suscrito el 16 de septiembre de 1987, según Decreto número 34-89 del Congreso de la República de Guatemala, de fecha 14 de junio de 1989 y publicado en el diario oficial el 5 de julio 1989, pero aún no se ha desarrollado suficiente legislación para la contaminación atmosférica, así como los parámetros máximos y mínimos permitidos, la legislación vigente es muy general.²⁴

- Contaminación de aguas

La disposición no apropiada de los residuos sólidos puede llegar a provocar la contaminación de los ríos y lagos superficiales, debido a que se

²⁴ MOTA BERREONDO, Brenda de Jesús. *La legislación ambiental en Guatemala*. p. 15.

utilizan como vertederos, así como abastecimientos subterráneos, debido a la percolación de las precipitaciones de los residuos sólidos, además de contaminar la población de fauna y flora que en estos habitan.

La demanda que sobre las cuencas hidrográficas ejercieron la creciente población urbana y la cambiante economía, conllevó a la disminución de la cantidad de agua que suplía a las fuentes y acueductos de la ciudad, así como también redujo el volumen de agua que transportaba los desechos desde las calles hacia los ríos. En consecuencia, la apariencia de los ríos y la calidad de sus aguas empezaron a deteriorarse, y la salud de los ciudadanos empeoró.²⁵

- **Contaminación del suelo**

Es el recurso que se ve afectado de forma directa por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, ya que por años el ser humano ha dispuesto de este para los residuos que ha generado. La contaminación de los suelos se da a través de diferentes elementos, uno de ellos son los lixiviados (líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido) que se filtran a través del suelo, afectando su productividad, dentro de esta se incluye la eliminación de la microfauna que habita en él (lombrices, bacterias, hongos y musgos, entre otros), y el incremento de desertificación. Mientras mayor sea el tiempo de permanencia de los residuos en el lugar, mayor número de plagas habitará en él y menor será el tiempo de recuperación para la flora.²⁶

²⁵ Environment & society portal. *Residuos y contaminación*. <http://www.environmentandsociety.org/exhibitions/agua-en-la-bogota/los-residuos-y-la-contaminacion-del-agua>. Consulta: 26 de junio de 2018.

²⁶ Ministerio del ambiente, Perú. *Residuos sólidos, proyecto sexto primaria*. http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Curso/cursos-virtual/Modulos/modulo2/2Primaria/m2_primaria_sesion_aprendizaje/Sesion_5_Primaria_Grado_6_RESIDUOS_SOLIDOS_ANEXO4.pdf. Consulta: 29 de junio de 2018.

Figura 8. **Contaminación por lixiviados**



Fuente: Revista Tendencias. <https://tendencias.com/eco/contaminacion-que-son-los-lixiviados/>.

Consulta: 2 de febrero de 2019.

- **Contaminación visual**

Aunque no sea uno de los más mencionados, el recurso paisajístico es el que mayor consecuencia tiene con la incorrecta disposición de los residuos sólidos, ya que su constante presencia deteriora el paisaje, afectando también la salud humana, generando en este estrés, problemas psicológicos, mal humor entre otros.

2.5.2. Separación

Al momento de tener los residuos se debe realizar la correcta separación de sus componentes, entre estos se incluyen papel, cartón, latas de aluminio,

vidrio y envases de plástico. Este paso puede realizarse de una forma mucho más efectiva y eficiente cuando se están generando los residuos, para lograr la recuperación y reutilización temprana.

A continuación, se muestra la forma correcta de separar los residuos sólidos generados, ya sean domiciliarios o industriales.

Figura 9. **Separación de residuos domiciliarios o industriales**



Fuente: *Crónica ambiental*. <https://www.cronicaambiental.com.mx/la-nueva-separacion-de-residuos/>. Consulta: 2 de febrero de 2019.

2.5.3. Almacenamiento en el origen o *in situ*

Los factores que se deben considerar en el almacenamiento en el origen de desechos sólidos incluyen: 1) el tipo de recipiente a ser usado, 2) la ubicación del recipiente, 3) la salud pública y la estética, y 4) los métodos de recolección a ser usados. Los dos primeros factores se describen en la siguiente discusión.

2.5.4. Recipiente

Los tipos y capacidades de los recipientes usados dependen, en gran parte, de las características de los residuos sólidos a ser recolectados, la frecuencia de recolección, el espacio disponible para colocar los recipientes. En la tabla VI se resumen los tipos de los recipientes y sus capacidades, comúnmente usados para almacenamiento de residuos sólidos en el origen. En la tabla VII se reportan las aplicaciones y limitaciones típicas de los recipientes.

Los recipientes deben ser suficientemente livianos para que sean manejados fácilmente por un recolector cuando estén llenos. El manejo de recipientes muy pesados ha resultado en lesiones para los recolectores; en general, el límite superior de peso debe estar entre 40 y 65 lb (18 y 30 kg). El recipiente de metal galvanizado o plástico de 30 galones (113,6 L) ha demostrado ser el medio menos costoso para almacenamiento en edificaciones de poca altura.

La selección de los materiales del recipiente depende de las preferencias del propietario de la vivienda. Los recipientes de metal galvanizado tienden a ser ruidosos cuando se vacían y, con el tiempo, se pueden dañar de manera que no es posible taponarlos con un sello adecuado.

Algunos recipientes contruidos de materiales plásticos, aunque menos ruidosos en el manejo, tienden a rajarse a la exposición a los rayos ultravioleta del sol y a temperaturas de congelación, pero los recipientes plásticos más costosos aparentemente no presentan estos problemas.

Los recipientes temporales y desechables se usan comúnmente cuando hay servicio de recolección en la acera y el propietario es responsable de

colocar los desechos acumulados sobre la acera para la recolección. Las bolsas de papel, cajas de cartón, recipientes y bolsas plásticas y las cajas de madera se usan rutinariamente como recipientes temporales y desechables. En condiciones normales, los recipientes temporales se remueven junto con los desechos. El problema principal en el uso de recipientes temporales es la dificultad en cargarlos; los recipientes de papel y cartón tienden a desintegrarse debido a la filtración de líquidos.

En áreas extremadamente cálidas donde se usan bolsas plásticas desechables para recortes de jardines, los recipientes plásticos frecuentemente se estiran o rompen en las uniones cuando el recolector levanta la bolsa llena; tal ruptura es potencialmente peligrosa y puede producir lesiones al recolector debido a la presencia de vidrio y objetos agudos o peligrosos en los desechos.

Con disponibilidad abundante de productos de papel y plásticos, ahora es común el uso de forros en los recipientes; todos los tipos de espesores y grados de materiales son disponibles. Nuevamente, en la mayoría de las áreas, se ha dejado al proletario decidir qué tipo de forro a usar, si lo hace. Una desventaja del uso de forros es la de si se van a recuperar desechos, metales o vidrio, o si van a ser incinerados, es necesario romper las bolsas en una etapa de procesado; así, aunque su uso puede ser una conveniencia para el propietario de la casa, los forros pueden no ser ideales desde el punto de vista de recuperación y recirculación.

Tabla VI. **Datos de los tamaños y tipos de recipientes usados para almacenamiento de los desechos sólidos**

	Capacidad			Dimensiones	
	Unidad	Rango	Típico	Unidad	Típico
Pequeño					
Recipiente plástico o metal galvanizado	gal.	20-40	30	plg.	20D x 26H (30 gal)
Barril, plástico, aluminio o fibra	gal.	20-65	30	plg.	20D x 26H (30 gal)
Bolsas desechables de papel estándar	gal.	20-55	30	plg.	15W x 12d x 43H (30 gal)
Resistente a escapes	gal.	20-55	30	plg.	como el anterior
A prueba de escapes	gal.	20-55	30	plg.	como el anterior
Bolsas plásticas desechables					18W x 15d x 40H (30 gal)
Recipiente mediano	yd ³	1-10	4	plg.	72W x 42d x 65H (4 yd ³)
Recipiente grande					
Abierto arriba con rodamientos (llamados también cajas de escombros)	yd ³	12-50	±	pie	8W x 6H x 20L (35 yd ³)
Usado con compactador estacionario	yd ³	20-40	±	pie	8W x 6H x 18L (30 yd ³)
Equipado con mecanismo de compactación incluido	yd ³	20-40	±	pie	8W x 8H x 22L (30 yd ³)
Recipiente montado en trailer	yd ³				
Abierto arriba	yd ³	20-50	±	pie	8W x 12H x 20L (35 yd ³)
Cerrado, equipado con mecanismo de compactación	yd ³	20-40	±	pie	8W x 12H x 24L (35 yd ³)
* D = Diámetro, H = Altura, W = ancho, d = profundidad +, * El tamaño varía con las características de los desechos y las condiciones locales del sitio. NOTA: gal x 0.003785 = m ³ ; plg x 2.54 = cm; yd x 0.7646 = m ³ ; pie x 0.3048 = m					

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George; THEISSEN, Hilary; ELIASSEN, Rolf. *Desechos sólidos, principios de ingeniería y administración*. p. 91.

Tabla VII. **Aplicaciones y limitaciones típicas de los recipientes usados para almacenamiento de residuos sólidos en el origen**

Tipo de recipiente	Aplicaciones típicas	Limitaciones
Pequeño		
Recipiente, plástico o metal galvanizado	Fuentes de desecho de muy poco volumen, como casas, sendas en parques, pequeños estanques y pequeños establecimientos comerciales aislados; áreas residenciales de poca altura con servicio de recolección asignado.	Los recipientes se dañan con el tiempo y se degradan en apariencia y capacidad; los recipientes aumentan el peso que se debe levantar durante las operaciones de recolección; los recipientes no son suficientemente grandes para contener desechos voluminosos
Bolsas de papel desechables	Casas individuales con servicio de recolección; se pueden usar solas o como forro interior de un recipiente doméstico; áreas residenciales de altura baja y media.	El almacenamiento en las bolsas es más costoso; si las bolsas se colocan sobre las aceras, los perros y otros animales las rompen y esparcen su contenido, las bolsas mismas aumentan los desechos
Bolsas de plástico desechables	Casas individuales con servicio de recolección, se pueden usar solas o como forro interior de un recipiente; para climas fríos, las bolsas son útiles para guardar basura húmeda dentro de recipientes domésticos lo mismo que en recipientes comerciales; áreas comerciales e industriales.	El almacenamiento en las bolsas es más costoso; las bolsas se desgarran fácilmente produciendo dispersión y condiciones desagradables, las bolsas se vuelven quebradizas en climas muy fríos, se producen roturas, el poco peso y la durabilidad del plástico crea problemas posteriores de disposición.
Recipientes medianos	Fuentes de desechos de volumen medio que también pudieran tener desechos voluminosos; la ubicación se debe seleccionar para la recolección, proceso directo de camiones, áreas residenciales de alta densidad, áreas comerciales e industriales.	La nieve dentro de los recipientes forma hielo y disminuye la capacidad mientras aumenta el peso; es difícil alcanzar a los recipientes después de nevadas fuertes.
Recipientes grandes de tapa abierta	Áreas comerciales de gran volumen, desechos voluminosos en áreas industriales: la ubicación debe estar en un área cubierta con acceso directo de camiones.	El costo inicial es alto, la nieve dentro de los recipientes reduce su capacidad.
Recipiente usado con compactador estacionario	Áreas comerciales con volúmenes muy altos de desechos, la ubicación debe ser fuera de las edificaciones con acceso directo de los camiones de recolección.	El costo inicial es alto, si se compacta demasiado el recipiente es difícil descargarlo en el lugar de disposición.

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George; THEISSEN, Hilary; ELIASSEN, Rolf. *Desechos sólidos, principios de ingeniería y administración*. p. 91.

Los recipientes usados en viviendas separadas, de poca altura, generalmente se colocan entre recolecciones. 1) A los lados o detrás de la casa, 2) en caminos cuando la recolección se hace en los caminos, 3) en el garaje o donde se disponga alguna ubicación común destinada específicamente para ese propósito.

Cuando dos o más viviendas están cerca una de otra, se puede construir una placa de concreto en algún lugar conveniente entre ambas. La losa puede estar abierta o encerrada por un corral de madera, se pueden desarrollar condiciones antihigiénicas en las placas con corral a menos que se supervisen cuidadosamente.

La ubicación de los recipientes en instalaciones comerciales e industriales existentes depende tanto de la ubicación del espacio disponible como de las condiciones de acceso del servicio. En muchos de los últimos diseños se han incluido áreas específicas para este propósito. Con frecuencia, debido a que los recipientes no son propiedad de la actividad comercial o industrial, las ubicaciones y tipos de recipientes a ser usados para el almacenamiento en el origen debe ser escogido, de común acuerdo, entre el propietario de la construcción y la agencia pública o privada de recolección.²⁷

2.5.5. Procesamiento

Se refiere a las acciones a tomar en cuanto a los residuos sólidos que se encuentran en las viviendas y comunidades aisladas, y que no cuentan con un servicio de recolección de basura regular o total. Las operaciones de procesamiento *in situ* de más comunes utilizadas incluyen:

- Trituración de residuos de comida

Es un tratamiento que se aplica con el fin de reducir el volumen de los residuos sólidos, ya sea para eliminarlo por la alcantarilla, facilitar su transporte hacia el relleno sanitario más cercano o prepararlo para la incineración. Este proceso se realiza por medio de trituradores domésticos, comerciales o municipales.

²⁷ THEISSEN, Hilary. *Desechos sólidos, principios de ingeniería y administración*. p. 95.

- Reutilización de recursos

Un claro ejemplo de reutilización es el reúso de envases como botellas, frascos de plástico y metal o cajas de cartón como maceteros, dándole un uso extra a su vida útil.

“Utilizar eficientemente los objetos y producto de consumo, de tal forma que se considere el ciclo de vida de los mismos, tal es así, que se tome en consideración el potencial valor agregado de otros usos a los residuos.”²⁸

- Incineración

La incineración de los RSM permite la reducción de su volumen al dejar un material inerte (escorias y cenizas) cercano a 10 % de la inicial. Tal reducción es obtenida con hornos especiales en los que se puede garantizar suficiente aire de combustión turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una combustión incompleta, como es el caso de las quemas a cielo abierto, generará humos, cenizas y olores indeseables.

Para su uso se deben considerar los siguientes aspectos:

- Se requiere un elevado capital inicial.
- Implica altos costos operativos, la mayoría de las veces fuera del alcance de nuestras poblaciones.
- Se necesita técnicos bien calificados, que son escasos en nuestro medio.
- Su operación y mantenimiento son complejos y presentan muchos problemas.
- No es flexible cuando se requiere incinerar grandes cantidades adicionales.
- Se requiere combustible auxiliar a causa del alto contenido de humedad, lo que se traduce en un bajo poder calorífico para los RSM de la región; esto aumenta considerablemente los costos de tratamiento.

²⁸ YAULI, Laura Ana. *Manual para el manejo de desechos sólidos en la unidad educativa Darío Guevara, parroquia Cunchibamba, cantón Ambato, provincia Tungurahua*. p. 10.

- Se requieren equipos de control para evitar la contaminación del aire, ya que ningún incinerador deja de emitir contaminantes.

En consecuencia, la incineración como sistema de tratamiento de los RSM está descartada para las pequeñas poblaciones e incluso para muchas de las ciudades de América Latina, por lo que solo es recomendada si se quiere desnaturalizar los residuos hospitalarios u otros que resulten peligrosos.²⁹

- **Lumbricultura**

El cultivo de una lombriz especial —la *Eisenia foétida*— con ciertos residuos orgánicos como sustrato o alimento (sobre todo, estiércol de ganado y residuos de cosechas) permite la conversión de este recurso en humus (mejorador de suelos) y proteína (como alimento de animales e incluso para el consumo humano), soluciona en parte el problema de la disposición de RSM y puede producir beneficios económicos.

Es necesario tener cuidado especial con estas prácticas, pues solo deben ser consideradas como alternativas complementarias en la gestión integral de los RSM y de ninguna manera como la solución al problema.³⁰

- **Compost**

El compostaje es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost. El compost es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos, pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial. Sin embargo, este valor suele ser menor que el costo de producción, por lo que este sistema debe ser subsidiado por el municipio.

²⁹ JARAMILLO, Jorge. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*, CEPIS/OPS. p. 27.

³⁰ *Ibíd.*

2.5.6. Disposición final

Esta es la última etapa operacional del proceso de los residuos sólidos, el cual depende del aseo urbano y de las autoridades competentes del lugar. Dentro de esto se debe tener en cuenta las actividades que no son las adecuadas como, por ejemplo, aquellas que dañen el ecosistema de forma permanente y pongan en riesgo la salud de los ciudadanos que habiten cerca del lugar.

2.5.7. Prácticas inadecuadas en la disposición final de los residuos sólidos

Desde el punto ambientalista, este es uno de los mayores problemas que se tiene en una comunidad, y se debe principalmente a factores varios que se discutirán en esta sección. Así, además, las causas de estos se pueden derivar de varias problemáticas, entre estas, de un personal no calificado para realizar las tareas, incluyéndose el personal administrativo encargado de los fondos monetarios que se requieren para la disposición final.

- Al momento de seleccionar los entes territoriales y ubicación de los sitios de disposición final, no se cuenta con criterios adecuados, ya que frecuentemente el criterio más importante tiene que ver con seleccionar uno o varios lotes de propiedad del municipio o disponer de los recursos de la municipalidad o alcaldía para la compra de un lote a bajo costo.
- No se realizan las obras mínimas requeridas, esto sucede frecuentemente durante la construcción inicial, que tienen que ver con los sistemas de recolección de gases y lixiviados, impermeabilización de los suelos, sistemas de recolección de agua de lluvia, entre otros.

- Se realiza de forma inadecuada la operación de los rellenos sanitarios y no existe supervisión al momento de la construcción de celdas, compactación y cubrimiento de residuos y construcción de chimeneas dentro de la planta encargada, entre otros.
- No existe personal calificado en las empresas o alcaldías que presten el servicio domiciliario de la fase de disposición final, por lo que las consideraciones técnicas son desconocidas, no son tomadas en cuenta o simplemente ignoradas por el personal.
- “No recibir una auditoría necesaria por parte de la administración municipal sobre los contratos y concesiones para la prestación de servicio de aseo beneficia a que los procedimientos y exigencias para la fase de disposición final no sean específicos.”³¹
- Las posibles fuentes de financiación no han sido identificadas por parte de las administraciones municipales, esto para el establecimiento de sistemas adecuados de disposición final, ya que muchas veces que se disponen los recursos necesarios, estos son invertidos principalmente en la fase de recolección y transporte, dejando en un segundo plano las inversiones para el mejoramiento o implementación de sistemas de disposición final.

La tabla VIII muestra la evolución típica de los métodos de disposición final de ciudades en desarrollo, desde los residuos en la vía pública hasta contar con rellenos sanitarios.

³¹ MEDINA BERMÚDEZ, Clara Inés. *Manejo de residuos sólidos*. p. 137.

Tabla VIII. **Proceso de desarrollo de métodos de disposición final en ciudades en desarrollo.**

Alternativa / situación	Descripción
Disposición en la vía pública	Esto es común en zonas que no cuentan con un servicio de recolección. El generador de RSM los dispone en algún lugar o botadero público.
Disposición local sin control en pequeños botaderos	Existe un servicio de recolección primaria y un transporte incipiente hacia un sitio cercano (por lo general, dentro de la ciudad) donde se colocan los residuos sin control alguno.
Botadero o vertedero municipal sin control	Existe recolección primaria y secundaria. Los RSM se transportan y disponen sin control alguno en un sitio alejado de la ciudad o bien fuera de ella.
Relleno controlado	Existe recolección primaria y secundaria. Los RSM se transportan y disponen con un control moderado en un sitio deliberadamente diseñado para tal fin y ubicado fuera de la ciudad. Los RSM se entierran con una frecuencia regular.
Relleno sanitario	El relleno sanitario es diseñado, construido y operado con criterios de ingeniería sanitaria y ambiental. El sitio cuenta con los permisos y requisitos de ley, y existe un programa de monitoreo ambiental. Los impactos ambientales son marginales y la población no se opone al proyecto.

Fuente: COTTON, Andrew; MANSOOR, Ali; WESTLAKE, Ken. *A framework for the disposal of municipal solid waste in developing, countries.* p. 93.

3. MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Como consecuencia del acelerado crecimiento poblacional y el alto consumo de productos difícilmente biodegradables, Guatemala se convierte en una víctima más de la contaminación ambiental que enfrenta cualquier ciudad.

En la actualidad, el manejo adecuado de los residuos sólidos a nivel comunitario, depende en gran medida de la voluntad e iniciativa de los pobladores, pues no existen estructuras nacionales y/o municipales que regulen este servicio y presten el apoyo que requiere sobre todo el sector rural. Generalmente, los municipios no cuentan con estructuras orgánicas funcionales, que aborden de manera adecuada e integral el tema de los residuos sólidos y su manejo a nivel urbano y rural.

Los residuos sólidos presentan un problema continuo de salud pública y focos infecciosos para la proliferación de vectores y enfermedades, esto en caso de un manejo inadecuado por parte de los ciudadanos, en caso de no contar con servicio de recolección de basura, y así también por el personal encargado de la total manipulación de estos residuos, incluyendo la disposición final que estos tendrán.

3.1. Vertedero a cielo abierto

En las diversas prácticas de disposición final que el hombre ha realizado a lo largo de la historia, se incluye una de las más antiguas para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce a lo largo del día. Se le llama botadero o vertedero al sitio donde se abandonan sin separación o tratamiento

alguno a los residuos sólidos. Suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un drenaje natural, cuerpo de agua, etcétera, ya que no se cuenta con ningún tipo de control sanitario ni hay impedimento para la contaminación ambiental, los recursos naturales tales como el agua, aire y suelo son deteriorados fácilmente por la formación de gases y lixiviados, entre otros.

Los vertederos a cielo abierto son el origen y hábitat de focos infecciosos transmisores de múltiples enfermedades. Dentro de ellos se puede encontrar varias especies animales, así como pobladores de la zona, algunas sobreviven en condiciones infrahumanas sobre las montañas de basura o sus alrededores.

En la actualidad, el hecho de que los ciudadanos aún dispongan de este método, se considera una práctica irresponsable por parte de las autoridades del lugar ya que en ellos está la responsabilidad de contar con un programa eficiente para el manejo de los residuos sólidos generados dentro de su territorio, para minimizar daños en el presente y prevenir riesgos a futuro.

“La cifra ofrecida por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) indica que el 45 % de la basura que se genera en América Latina tiene un destino adecuado y en su mayoría acaba en un vertedero de cielo abierto.”³²

“Estos se refieren a los residuos recolectados por los camiones de los ayuntamientos municipales. En Latinoamérica aún no se sabe cuántos

³² ORTEGA, Javier. *Hacia el fin de los vertederos*. https://elpais.com/elpais/2018/06/19/planeta_futuro/1529413174_595997.html. Consulta: 19 de enero de 2019.

vertederos existen, ya que el único registro con el que se cuenta es el que publica la Asociación Waste Atlas, que enumera y perfila cada uno.”³³

Dentro de este listado continua es el basurero de la zona 3 de la ciudad de Guatemala, que ejemplifica lo que es tener un problema humanitario con un vertedero a cielo abierto sin un adecuado control. Tanto así, que en el año 2012 el alud de basura sepultó a más de cien personas, y que, a pesar de eso, las autoridades competentes no han hecho nada para cambiar esta situación, donde miles de recicladores, conocidos como guajeros, siguen trabajando allí en condiciones inhumanas buscando material para vender y sobrevivir.³⁴

Figura 10. **Vertedero a cielo abierto**



Fuente: Paho. *Vertedero a cielo abierto*. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad3.html.

Consulta: 22 de julio de 2018.

3.2. Relleno sanitario

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos que, a comparación del vertedero a cielo abierto, no representa ningún

³³ *The Worlds 50 Biggest Dumpsites - Official launching of the 2nd Waste Atlas Report*. <https://d-waste.com/d-waste-news/item/263-the-world-s-50-biggest-dumpsites-official-launching-of-the-2nd-waste-atlas-report.html>. Consulta: 20 de enero de 2019.

³⁴ ALVAREZ, Carlos; VÁSQUEZ, Byron. *Cuatro recolectores mueren por derrumbe en relleno sanitario*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/camiones-quedan-soterrados-en-relleno-sanitario-de-la-zona-3/>. Consulta: 20 de enero de 2019.

peligro para la salud o seguridad pública de la población; tampoco, perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el proceso. Se basa en el confinamiento de la basura en área lo más estrecha posible, la cual se cubre diariamente con capas de tierra y se compacta para la reducción de su volumen. Con esto, se previenen los problemas que pudieran causar los líquidos y gases producidos por la descomposición natural de la materia orgánica.

El éxito de un relleno sanitario radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño, y en la óptima operación del personal encargado, todo esto para el beneficio de las comunidades a su alrededor y del país en cuestión.

3.2.1. Consideraciones y principios del relleno sanitario

Previo a la construcción de un relleno sanitario, se debe tomar en cuenta diversos factores para que este mismo pueda cumplir eficientemente con los requisitos que las entidades gubernamentales exigen, tanto en el área de saneamiento, capacidad de almacenamiento y control de vectores de enfermedades para las poblaciones que se beneficiarán.

3.2.1.1. Principios

“Se considera de suma importancia resaltar las siguientes prácticas para la localización, operación y mantenimiento de un relleno sanitario, para que este mismo tenga resultados eficientes sin afectar a la población.”³⁵

³⁵ CANTANHEDE, Álvaro; SANDOVAL, Leandro. *Rellenos sanitarios manuales*. http://www.bvsde.paho.org/eswww/tecapropiada/desinfec/rellenos_sanitarios.htm. Consulta: 20 de enero de 2019.

- Localización: la ubicación del terreno juega un papel importante en la eficiencia del sistema, por la distancia y el tiempo que se toma hacia el centro urbano principal repercute en el coste de transporte de los desperdicios recolectados. Se recomienda que el viaje de ida y vuelta sea alrededor de treinta a cuarenta y cinco minutos, ya que esto permite tener mayor vigilancia y supervisión permanente por parte del equipo encargado.
 - Vías de acceso: el terreno debe de contar con una entrada principal, ya que esta será la que definirá el costo de transporte y dará paso a la construcción de las vías internas para la movilización del equipo agrícola.

- Condiciones hidrogeológicas: se debe realizar un estudio en busca de nacimientos de agua en el terreno previsto, así también dentro de este; evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas, ya que es necesario mantener una distancia de uno o dos metros entre estas y los desperdicios. También, es de suma importancia identificar las características del suelo, como su permeabilidad y capacidad de absorción.

- Material de cobertura y vida útil del terreno: para su utilización a largo plazo (más de cinco años) la capacidad del sitio debe ser suficientemente grande, que cumpla con los costos de y las obras de infraestructura. También debe tener abundante material de cobertura, el cual debe ser de fácil extracción, con buen contenido de arcilla (por su baja permeabilidad y alta capacidad de absorción). En dado caso este material es escaso, se debe de contar con su adquisición permanente y suficiente de lugares vecinos, teniendo en cuenta los costos de

transporte. De no ser así, el lugar debe ser rechazado, ya que se corre riesgo de convertirlo en un vertedero a cielo abierto.

- Condiciones climatológicas: la dirección del viento predominante del lugar es de suma importancia, puede causar molestias cuando se esté operando, transportando polvo, papeles y malos olores a las áreas vecinas. Esto se puede contrarrestar con la plantación de árboles y vegetación espesa en el alrededor del terreno, el cual no solamente cumple con la función de oxigenar la zona, también de reducir el impacto visual.
- Red de desviación de escorrentía: las aguas de escorrentía superficial no deben ingresar en el área de vertido de desperdicios, ya que aumenta la producción de lixiviados; por ello, deben de ser desviados por medio de la construcción de canales abiertos situados en las zonas más elevadas del terreno y a la vez, rodeando la zona de vertido. Si en caso estas llegan a ingresar, se realiza una canalización por parte de la subterránea del área de relleno, volviendo a salir al cauce normal.
- Sistema de recogida y tratamiento de lixiviados y gases (biogás): el movimiento de gases es de suma importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema. Cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna causa agrietamiento y fisuras de la cubierta, lo que permite el ingreso de escorrentía superficial, esto contribuye a hundimientos y asentamientos diferenciales. Sobre la superficie preparada para el vertido, antes de depositar los residuos, se debe disponer de una capa de drenaje que recoja los lixiviados y los canalice, mediante una red de tuberías, a un depósito de almacenamiento para su posterior tratamiento.

3.2.1.2. Ventajas

Para la sociedad, el relleno sanitario trae consigo una serie de cambios positivos, incluyendo la limpieza de sus calles y la conservación de recursos naturales; también, una oportunidad a futuro para el aprovechamiento de la educación que se recibe y la aplicación de esta en el hogar. A continuación, se describen las ventajas que un relleno sanitario puede llegar a tener.

- En comparación con las plantas de incineración o de compost, la inversión inicial de capital necesaria para la instauración de un relleno sanitario es mucho menor.
- Menores costos de operación y mantenimiento que los otros tipos de tratamiento.
- Debido a su capacidad de recibir todo tipo de residuos sólidos, el relleno sanitario es un método completo y efectivo para su tratamiento.
- Para los países en desarrollo, genera empleo para mano de obra poco calificada, y una no tan extensa capacitación para los encargados de mantenimiento y control en el lugar.
- Recuperación de gas metano en el lugar y su posterior tratamiento, para una fuente alternativa de energía para poblados cercanos que la necesiten o incluso para la misma planta de tratamiento.
- Permite la recuperación de terrenos que se consideraban improductivos, luego del término de su vida útil, se fomenta la construcción de áreas recreativas y verdes.

3.2.1.3. Desventajas

Dentro de los aspectos negativos, la mayor barrera es la oposición a la construcción del relleno sanitario en las cercanías de la población, debido a la falta de conocimiento sobre su funcionamiento y las medidas que se toman para que este no afecte el aspecto visual del lugar.

- En algunas ocasiones, se obliga a ubicar el relleno sanitario lejos de la población debido a la acelerada urbanización, haciendo que los terrenos disponibles aumenten su costo de venta.
- Debido a la falta de voluntad de inversión económica por parte las administraciones municipales se ven comprometidos el correcto funcionamiento y mantenimiento del relleno sanitario, este aumenta las posibilidades de convertirse en un vertedero a cielo abierto. Incluso, luego de clausurado, se necesita de monitoreo para el control ambiental, así también para evitar el uso indebido que la población cercana pueda darle, sin autorización de la administración.
- Se restringe la construcción de infraestructura pesada, viviendas y escuelas sobre el relleno sanitario clausurado, debido al riesgo de hundimientos y asentamientos que este pueda sufrir.
- Los terrenos o viviendas en los alrededores del relleno sanitario pueden llegar a devaluarse.

3.2.2. Tipos de relleno sanitario

En relación con la disposición final de los residuos sólidos, se podría proponer tres tipos de relleno sanitario.

3.2.2.1. Vertedero controlado

En comparación con el vertedero a cielo abierto, este tipo de vertedero puede ser usado de forma temporal en caso de una emergencia, pero debido a que no cuenta con la infraestructura necesaria no puede llegar a considerarse como un relleno sanitario. Los residuos que son depositados en este lugar deben ser periódicamente compactados con capas de tierra, ser confinados para reducir su volumen y que no se encuentren a cielo abierto.

3.2.2.2. Relleno sanitario manual

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

“El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.”³⁶

³⁶ JARAMILLO, Jorge. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*, CEPIS/OPS. p. 45.

3.2.2.3. Relleno sanitario semimecanizado

Se utilizará este tipo de relleno sanitario cuando la población genere o tenga que disponer entre dieciséis y cuarenta toneladas diarias de residuos sólidos, como apoyo al trabajo manual es conveniente utilizar maquinaria pesada, con el fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilización de los terraplenes y brindar mayor vida útil a los residuos sólidos. La maquinaria utilizada en estos casos suele ser tractores agrícolas, adaptados con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación, como se muestra en la figura 10.

Para prestar apoyo en el servicio de recolección de basura a este mismo tractor agrícola se le engancha un remolque con volteo hidráulico (ver figura 11) de aproximadamente seis a ocho metros cúbicos y capacidad o bien ya sea una caja compactadora, todo esto dependiendo de las necesidades y recursos de la localidad.

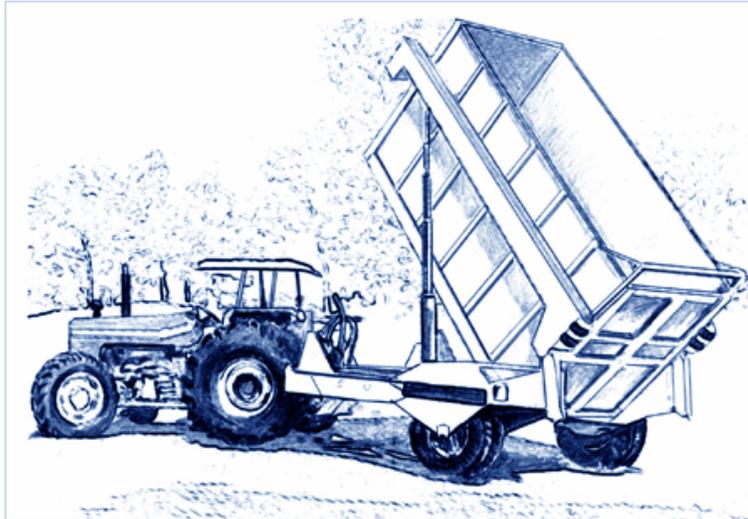
Figura 11. **Tractor agrícola adaptado para operaciones de relleno sanitario**



Fuente: Paho. *Tractor agrícola*. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad3.html.

Consulta: 22 de julio de 2018.

Figura 12. **Remolque enganchado a un tractor agrícola**



Fuente: Paho. *Remolque enganchado*. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad3.html.
Consulta: 22 de julio de 2018.

3.2.2.4. Relleno sanitario mecanizado

Este tipo de relleno sanitario está diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generen más de cuarenta toneladas diarias. Por su complejidad y exigencias, es más que solo operar maquinaria pesada para el servicio de la comunidad; esto se debe a la relación de cantidad y el tipo de residuos generados, planificación, la selección del sitio, extensión del terreno, diseño y ejecución, infraestructura requerida, desde la recepción de los residuos, el control de las operaciones, el costo, manejo de las inversiones y gastos de operación y mantenimiento del relleno sanitario.

Para la operación efectiva de este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador, así como equipo especializado en movimiento de tierra (tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.)

Figura 13. **Equipo pesado para operar en relleno sanitario**



Fuente: Paho. *Equipo pesado para operar en relleno sanitario.*

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 de julio de 2018.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Una vez definida el área de estudio, se inicia con el trabajo de recolección de información de campo. A continuación, se definirán los parámetros de investigación en la aldea Vista Hermosa.

4.1. Campo muestral

En la región de América Latina y el Caribe se aplica una metodología estadística para los estudios de caracterización desarrollada en 1982 por el Dr. Kunitoshi Sakurai, quien es experto en desechos sólidos y asesor regional en residuos sólidos CEPIS/OPS.³⁷

$$n = \frac{Z^2 * (pq) * N}{(N * E^2) + (Z^2 * (pq))}$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra
- N = Número total de la muestra
- pq = variabilidad de la población
- Z^2 = grado de confiabilidad
- E = error permisible en la estimación de la producción *per cápita*

³⁷ AMSA. *Estudio reforma de la estructura del manejo de residuos sólidos en la cuenca sur del lago de Amatitlán*. p. 29.

“El muestreo estratificado proporcional es el más comúnmente utilizado en la obtención de muestras, ya que este mismo representa una misma probabilidad de selección de la muestra; para este método se deben tener en cuenta los siguientes criterios.”³⁸

- Determinación de las variables y notación científica.
- Se debe de considerar un nivel de confiabilidad, error de estimación y un valor de variación para el cálculo de la determinación de la muestra.
- Se deberá asumir una desviación estándar (en este caso pq) mínimo de 200 gr/habitantes/día cuando no se cuente con datos iniciales de la población. Esto dependerá del tamaño de la muestra total, si esta es grande, el coeficiente será pequeño, y viceversa.
- El nivel de confiabilidad comúnmente utilizado es de 95 %, por lo que el coeficiente es de 1,95.

De la información anteriormente recolectada y los criterios utilizados en la obtención de muestras, según la metodología, se obtienen los siguientes datos:

- $N = 265$ casas
- $pq = 0,045$ gr / hab / día
- $Z^2 = 1,95$, con un grado de confianza del 95 %
- $E = 5$ %

³⁸ CANTANHEDE, Alvaro; MONGE, Gladys; ALVARADO, Leandro; CHUMPITAZ, Carlos. *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos*. p. 4.

$$n = \frac{1.95^2 * (0,04) * 265}{(265 * (0,05)^2) + (1,96^2 * (0,04))} = \frac{40,721}{0,816} = 49,89 = 50 \text{ casas}$$

La muestra para el estudio de caracterización de residuos sólidos es de 50 casas, lo cual se considera un rango aceptable mínimo para obtener mejores resultados.

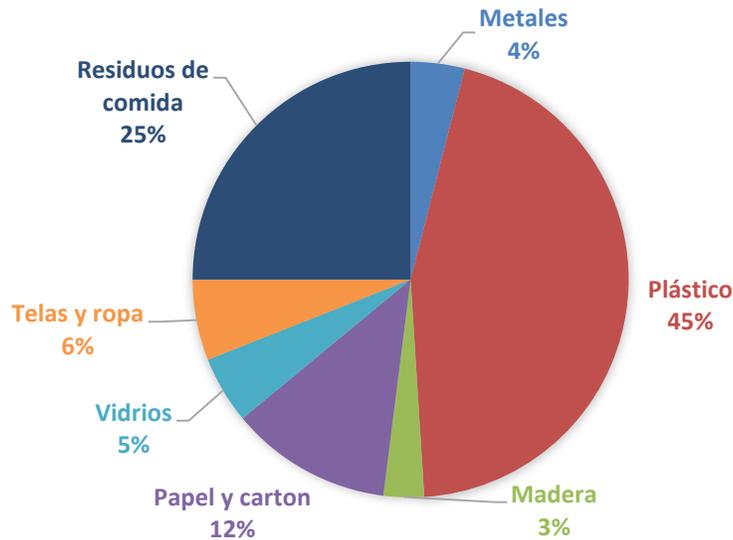
4.2. Procedimiento para recolección de muestra

Teniendo identificado el campo muestral, se procede a la toma de datos, la cual inicia con una encuesta para los pobladores, en esta se conocerá la cantidad de habitantes por vivienda y sus hábitos de reciclaje.

Según la encuesta realizada a los vecinos de la aldea Vista Hermosa, la generación de desperdicios está liderada en su mayoría por el plástico, residuos sólidos orgánicos, papel y cartón, siendo estos representados en porcentaje para su visualización.

Aunque la producción de plásticos es la más elevada, los vecinos cuentan con algunas recicladoras dentro del municipio, pero la mayoría prefiere viajar a la capital para vender los desperdicios recolectados, ya que el pago, aunque en pequeña cantidad, aumenta su valor de reventa.

Figura 14. **Desperdicios producidos de acuerdo a encuesta realizada a vecinos de aldea Vista Hermosa**



Fuente: elaboración propia.

Luego de obtener la información previa a la recolección de muestra, se debe verificar contar con equipo adecuado para el pesaje y registro; así también, equipo personal para evitar contacto directo con los desperdicios, ya que se podría encontrar material dañino expuesto, como agujas, vidrios y cuchillas.

Para la recolección de los residuos sólidos se utilizó el método de distribución de bolsas plásticas debidamente identificadas con colores de reciclaje, y el cual se cree tiene dos funciones. Primero, que las familias separen los residuos sólidos domiciliarios y los recolectaran dos veces por semana, para su separación y pesaje posterior. Segundo, establecer un patrón de información para los vecinos que aún no contaban con el conocimiento de reciclaje.

Tabla IX. **Colores de separación, método de reciclaje**

Color	Desperdicio	Día 1	Día 2
	Papel y cartón		
	Vidrio		
	Residuos de comida		
	Metales		
	Plástico		
	Telas y ropa		
	Madera		
	Otros		

Fuente: elaboración propia.

- Para la toma de pesaje se hará por método de cuarteo, lo cual se basa en separar la muestra en cuatro partes iguales, hasta formar una muestra homogénea de 45 kg o menos.
- Se toman datos en dos formas: primero se toma el peso total de la muestra homogenizada y se realiza la separación de residuos de la siguiente manera:
 - Residuos de comida
 - Madera
 - Papel y cartón
 - Residuos sanitarios
 - Plásticos
 - Metales
 - Vidrios
 - Telas y ropa

Luego, se realiza el pesaje individual para realizar cálculos de porcentaje para cada clasificación.

Los instrumentos utilizados para el pesaje fueron una balanza con precisión de $\pm 0,0625$ lb y un recipiente cilíndrico de $0,034$ m³.

Figura 15. **Recipiente cilíndrico para medición de volumen**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Balanza**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Composición de los residuos sólidos en kg

A continuación, se muestra la tabla resultante del pesaje realizado por fecha a las viviendas seleccionadas. Se realizó durante cinco días, para obtener muestras representativas.

4.4. Peso

A través de la toma de muestras, se recolectó el peso total producido por los habitantes de la aldea Vista Hermosa, siendo este un total de 546,09 kg (ver apéndice 2), al cual se distribuye de la siguiente manera:

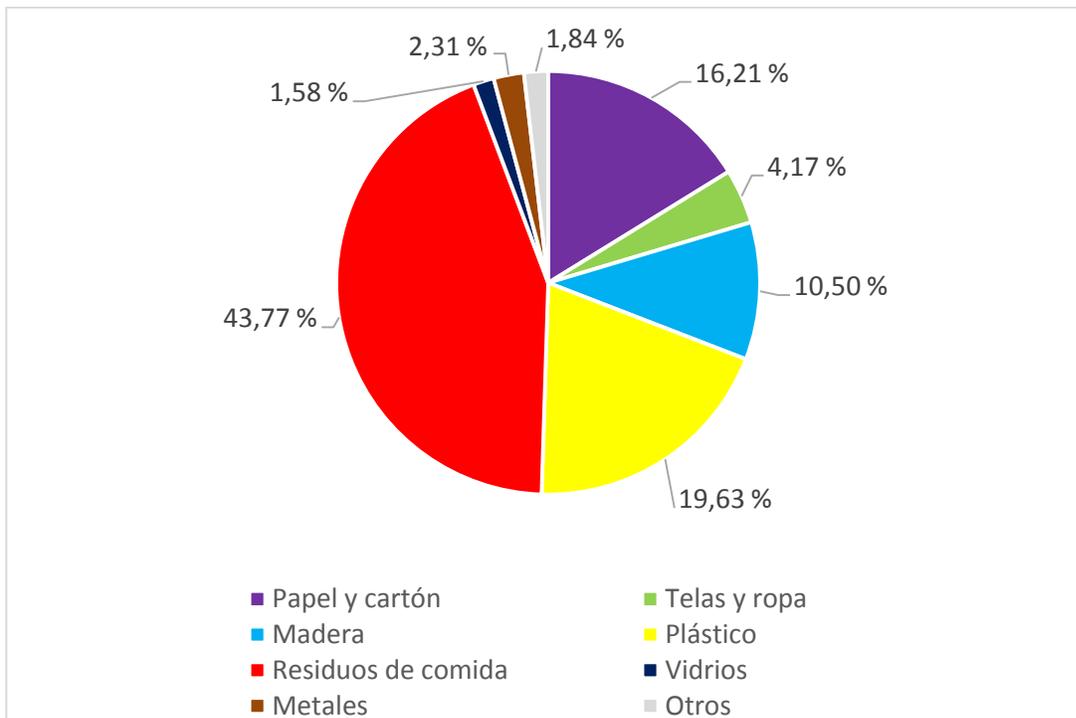
Tabla X. **Peso de residuos sólidos producidos**

Residuo producido	Peso (kg)
Papel y cartón	88,50
Telas y ropa	22,77
Madera	57,32
Plástico	107,18
Residuos de comida	239,00
Vidrios	8,64
Metales	12,64
Otros	10,05

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores, se observó una gran cantidad de residuos de comida que son diariamente desechados: 239 kg en total. Lastimosamente estos residuos en vez de ser aprovechados para compostaje, el cual tiene muchas ventajas en el hogar, terminan en el basurero causando gases tóxicos para el ambiente.

Figura 17. **Porcentaje de residuos sólidos recolectados**



Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los sólidos se refieren a residuos orgánicos, siendo estos depositados en la basura sin recibir ningún tipo de tratamiento posterior mencionado. En segundo lugar, se encuentra el plástico que, aunque se produce en gran cantidad, la mayoría es vendido por los vecinos a recicladoras que aprovechan el final de su vida útil. Lo mismo puede ser observado por parte del vidrio y metales, aunque no con tanta frecuencia, debido a su bajo porcentaje de producción.

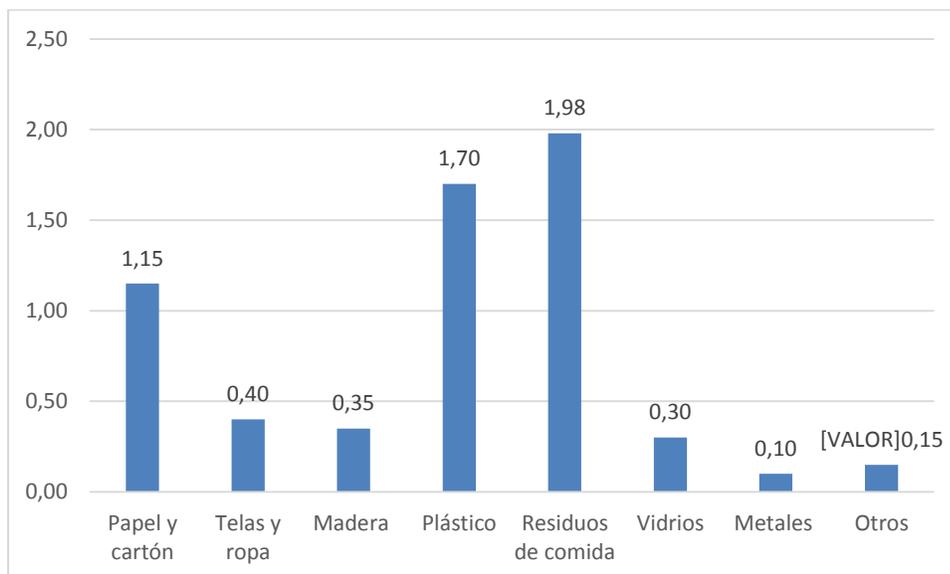
4.5. Volumen

Para el siguiente cálculo, es importante mencionar que se realizó de dos maneras, siendo de forma suelta y forma compactada (ver apéndice 3).

El volumen suelto se calculó colocando los residuos sólidos en el recipiente cilíndrico antes mencionado, y sin ejercer ningún tipo de presión, se procura llenar todos los espacios dentro del mismo, dejando una mínima cantidad de espacios vacíos. El resultado de este procedimiento fue de 6,13 m³.

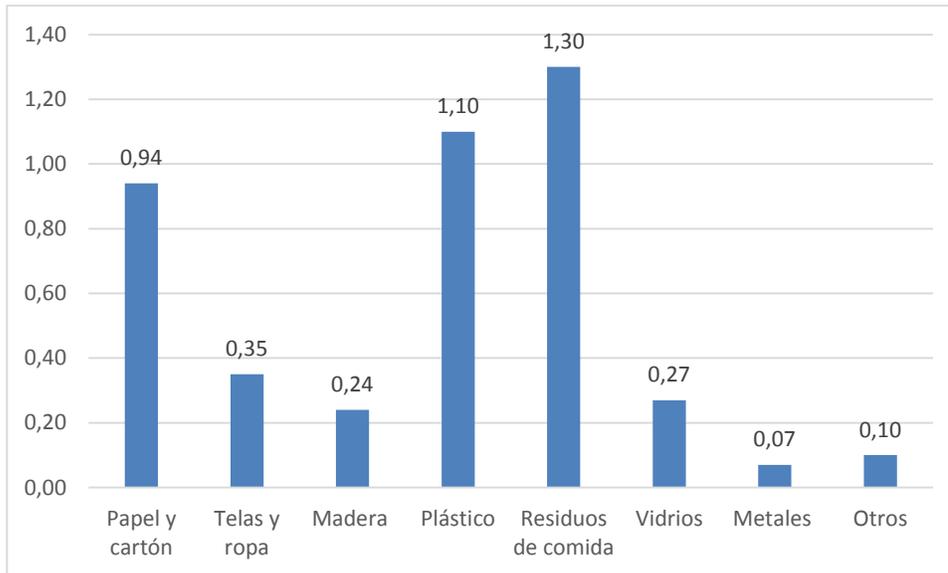
Para la compactación se realizó trabajo manual, en el cual se ejerce presión sobre los sólidos para extraer todo el aire contenido en el recipiente, y luego se realiza el pesaje. El volumen compactado total fue de 4,37 m³.

Figura 18. Volumen suelto (m³)



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Volumen compactado (m³)**



Fuente: elaboración propia.

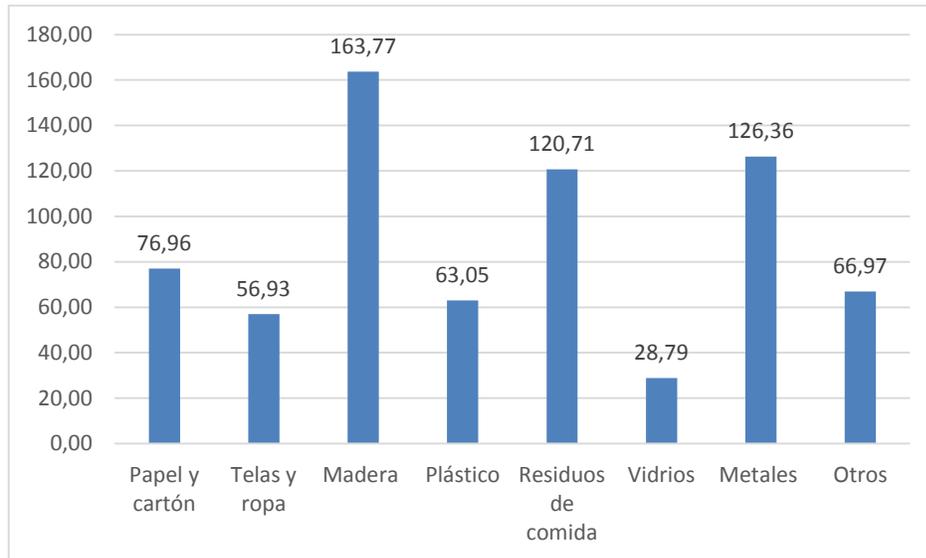
4.6. **Densidad o peso específico**

Con los resultados obtenidos en el cálculo de volúmenes, se procede a utilizar la siguiente ecuación para la densidad suelta y densidad compactada de los residuos sólidos.

$$\text{Densidad de residuo sólido} = \frac{\text{masa del residuo sólido (kg)}}{\text{volumen del residuo sólido (m}^3\text{)}}$$

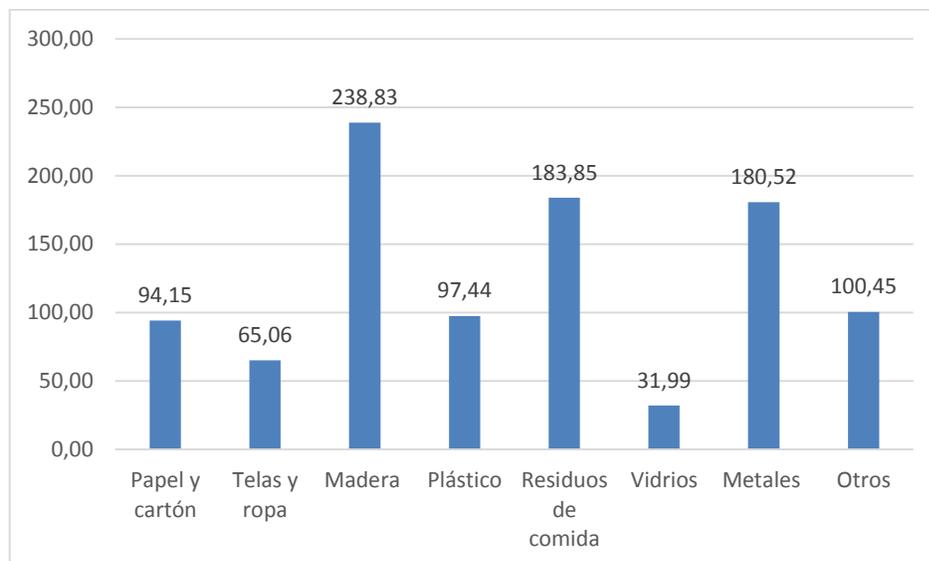
En donde se obtienen dos diferentes gráficos:

Figura 20. **Densidad suelta (kg/m³)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Densidad compactada (kg/m³)**

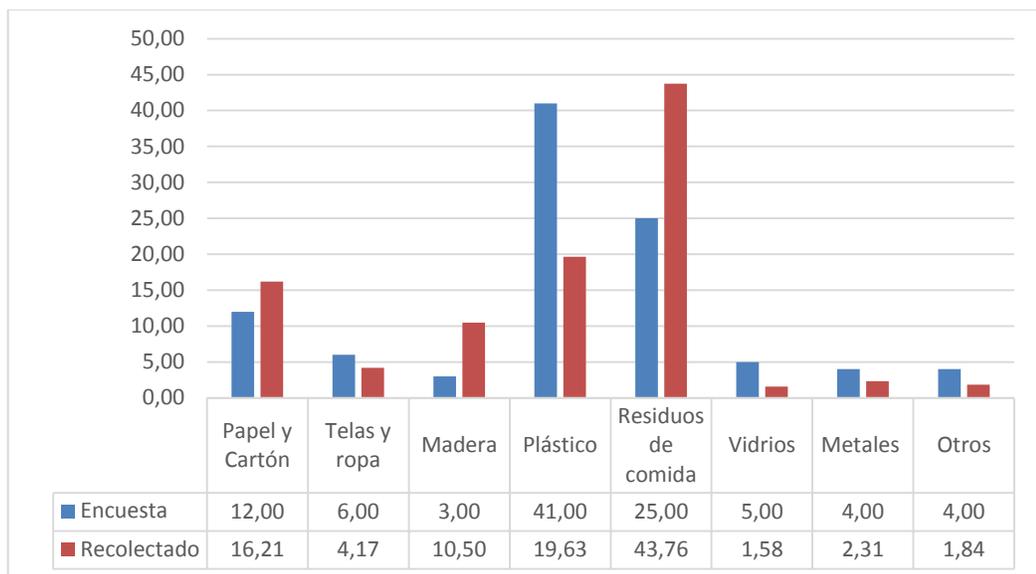


Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Luego de la obtención de datos en la recolección de residuos sólidos de los vecinos de la aldea Vista Hermosa se puede sacar a relucir la comparación de varios modelos representativos, los cuales pueden ayudar a la concientización ambiental de la población.

Figura 22. **Residuos producidos en la realidad vs residuos producidos según encuesta (%)**



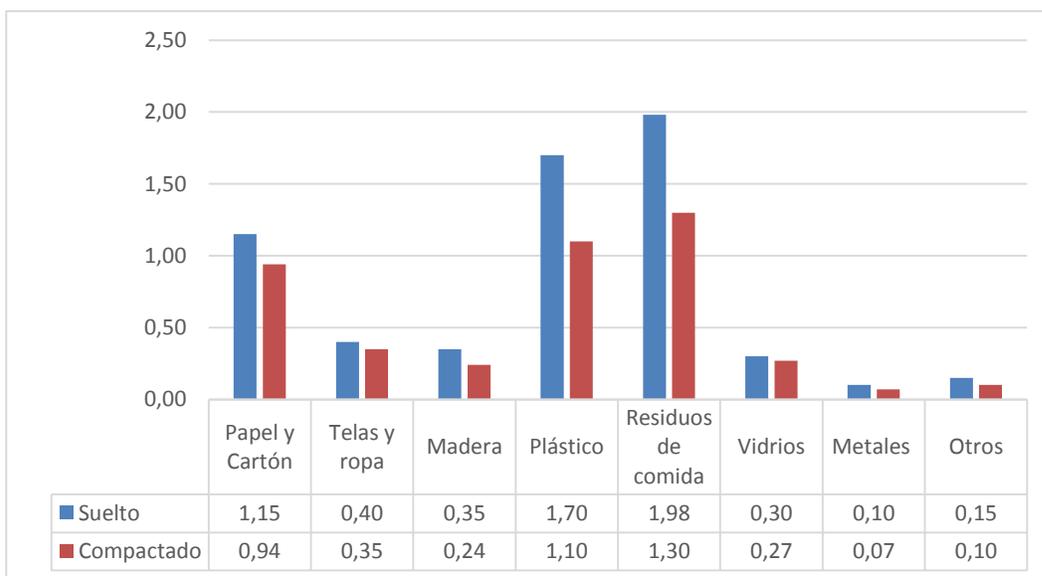
Fuente: elaboración propia.

La figura 22 hace la comparación entre los residuos producidos en la realidad por los vecinos de la aldea Vista Hermosa en comparación con las respuestas obtenidas en la encuesta que se les realizó previo a la recolección.

Se observa el cambio significativo en dos de los materiales desechados: el plástico y los residuos de comida. La respuesta ante el consumo del plástico fue bastante alta, ya la mayoría de vecinos indicó que en sus hogares la compra de materiales fabricados con base en el plástico era uno de los gastos principales.

Caso contrario fue el consumo de alimentos, ya que la respuesta en la encuesta se reflejaron los bajos desperdicios de materia orgánica que los vecinos producían, pero al momento de la recolección, pesaje y lectura de datos, estos mostraban un aumento considerable, queriendo mostrar el alto índice de residuos de comida que terminaban en los depósitos de basura.

Figura 23. **Volumen suelto vs volumen compactado (m³)**



Fuente: elaboración propia.

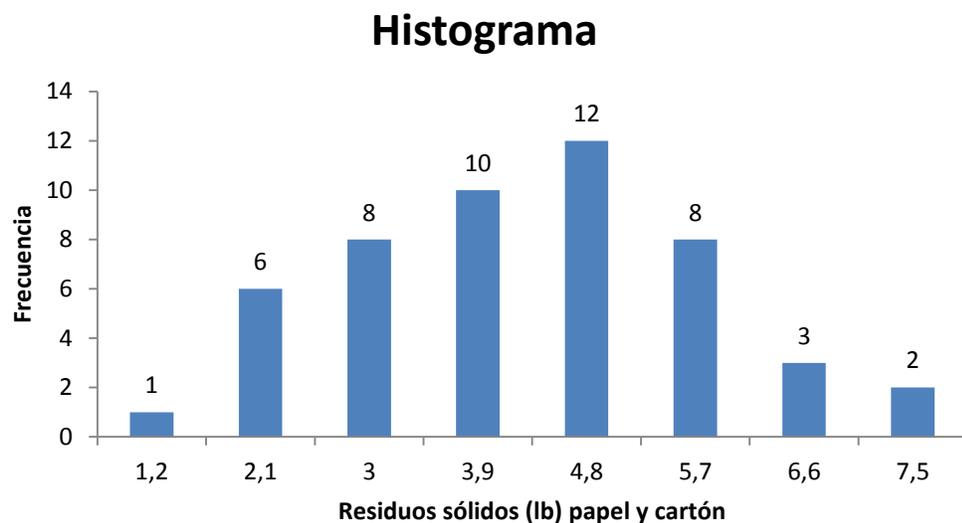
Otra comparación realizada fue en los volúmenes de cada material producido. A modo de tener la facilidad para charlas educacionales, tanto para los vecinos como entidades municipales, sobre la ventaja que traería un relleno

sanitario en el municipio. En la figura 23 se observa el espacio utilizado por cada uno de los materiales, compactados y sueltos. La finalidad del gráfico es el de aprovechar el espacio dado en el relleno sanitario para los residuos de comida, siendo la compactación la mejor manera de liberar espacios de aire entre estos, lo cual evita la formación de grandes cantidades de gases peligrosos (lixiviados).

5.1. Producción de residuos sólidos

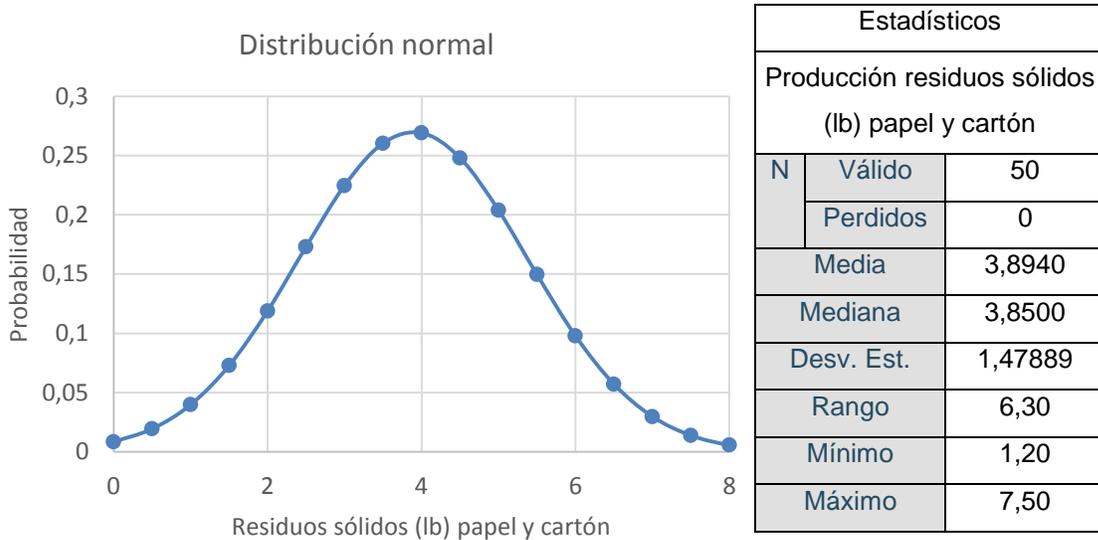
Con los datos obtenidos, se procedió a realizar gráficos que pudieran representar la producción de residuos en el lugar de estudio, siendo este en forma de histogramas simples. Cada uno muestra la generación de residuos en su más alta etapa, así también, la media de los mismos.

Figura 24. Residuos sólidos papel y cartón (lb)



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Distribución normal residuos sólidos de papel y cartón**



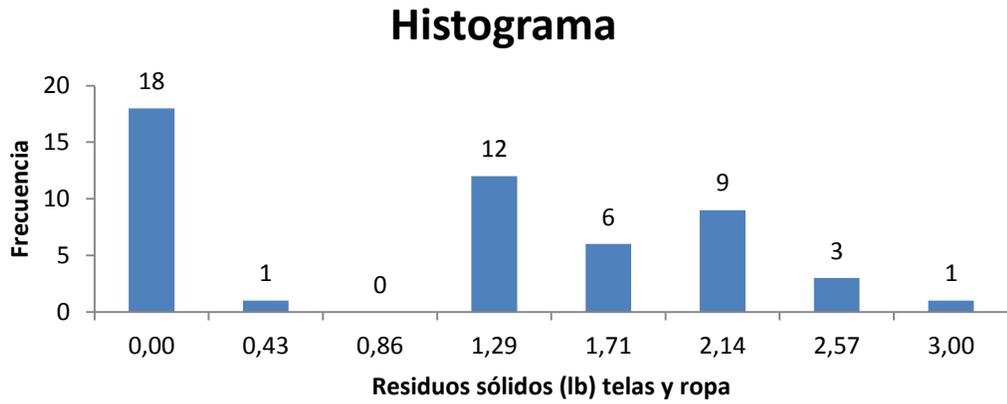
Fuente: elaboración propia.

En la figura 24 se muestra la generación más alta de papel y cartón del lugar de estudio: 7,50 lb; aunque siendo generada en un mínimo de dos hogares. También, se observó que la generación media de estos residuos se sitúa en 3,89 lb.

En la figura 25 se observa que la probabilidad es alta cuando se refiere a las 4 libras, teniendo el mayor conteo en los hogares.

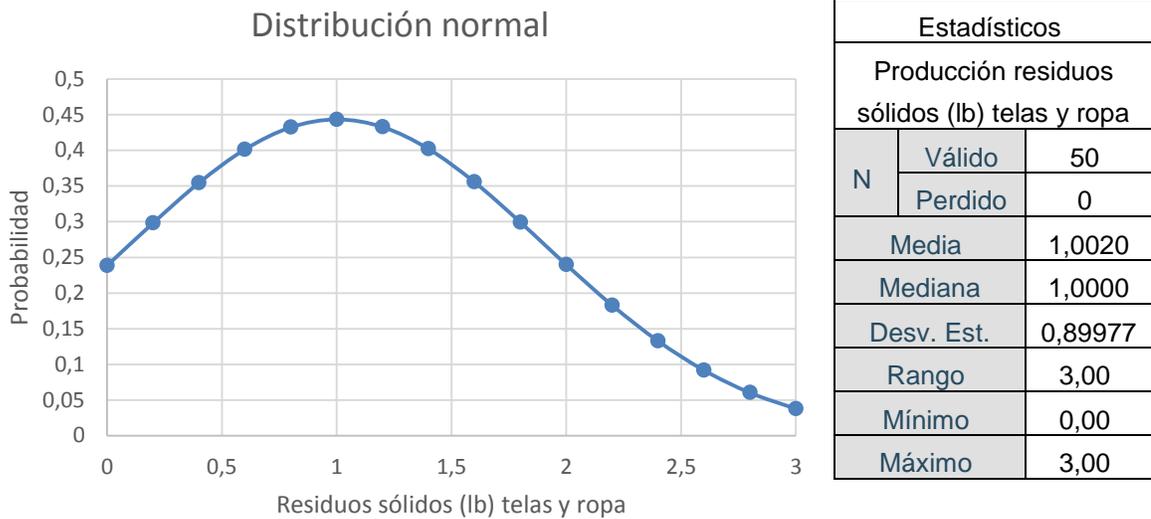
Debido a que la distribución normal únicamente muestra la probabilidad en la que se encuentra el sujeto de encontrar el número de repeticiones con la que la muestra se repite, requiere que se analice en conjunto con el histograma simple.

Figura 26. Residuos sólidos, telas y ropa (lb)



Fuente: elaboración propia.

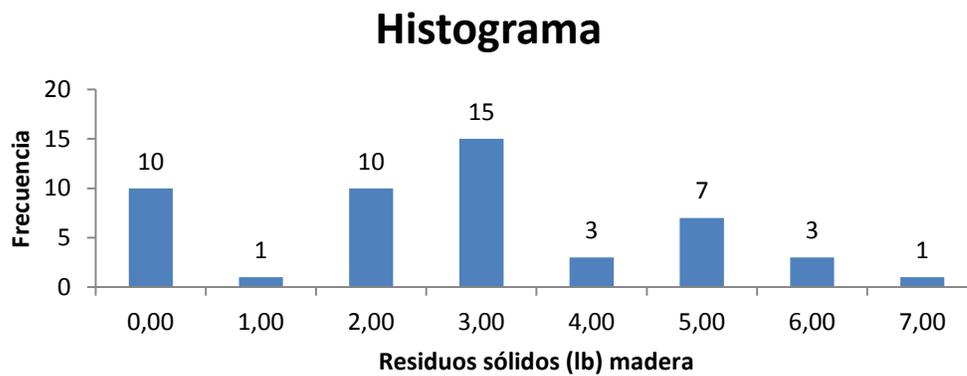
Figura 27. Distribución normal residuos sólidos de telas y ropa



Fuente: elaboración propia.

En la figura 26 se observó la baja cantidad de telas y ropa que los pobladores desechan, siendo esta solamente de 3 lb como máximo, y 1 lb lo desechado regularmente. Ya que el municipio cuenta con empresas dedicadas al mercado textil, la mayoría de estas utilizan el servicio de recolección de basura municipal.

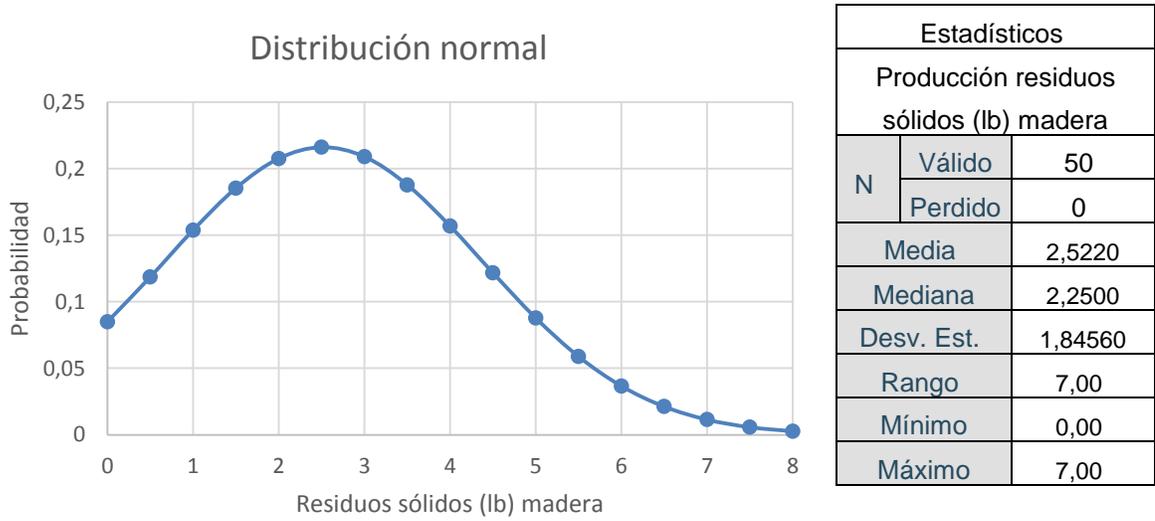
Figura 28. **Residuos sólidos de madera (lb)**



Fuente: elaboración propia.

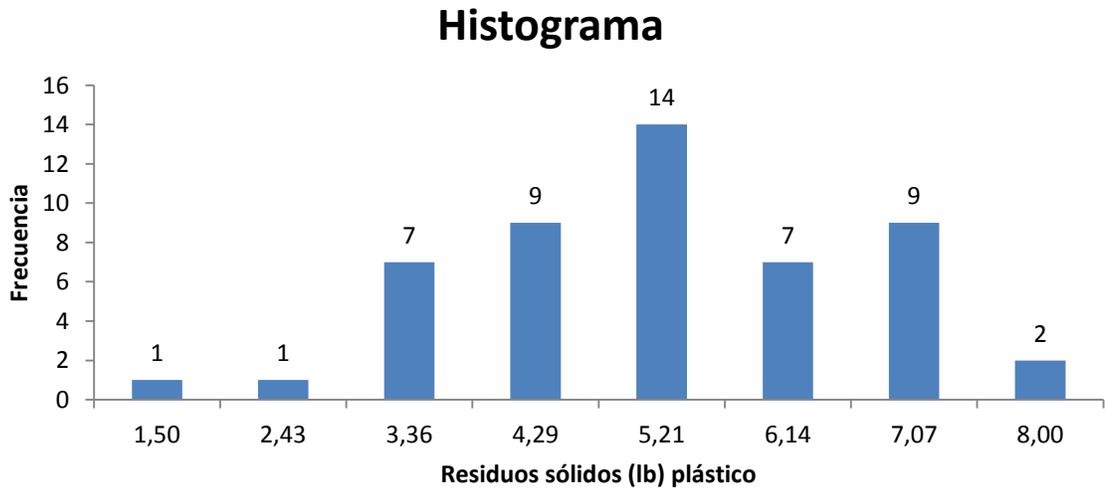
En lo que respecta a los residuos de madera, la media encontrada para estos se encuentra alrededor de las 2,5 lb, un valor bastante bajo dado que el lugar de estudio se utiliza como leña para cocinar. El máximo se encontró en las 7 lb: puede representar la madera que no es apta para consumo en el hogar o restos de muebles u objetos que cumplieron su tiempo de vida y fueron desechados.

Figura 29. **Distribución normal residuos sólidos de madera**



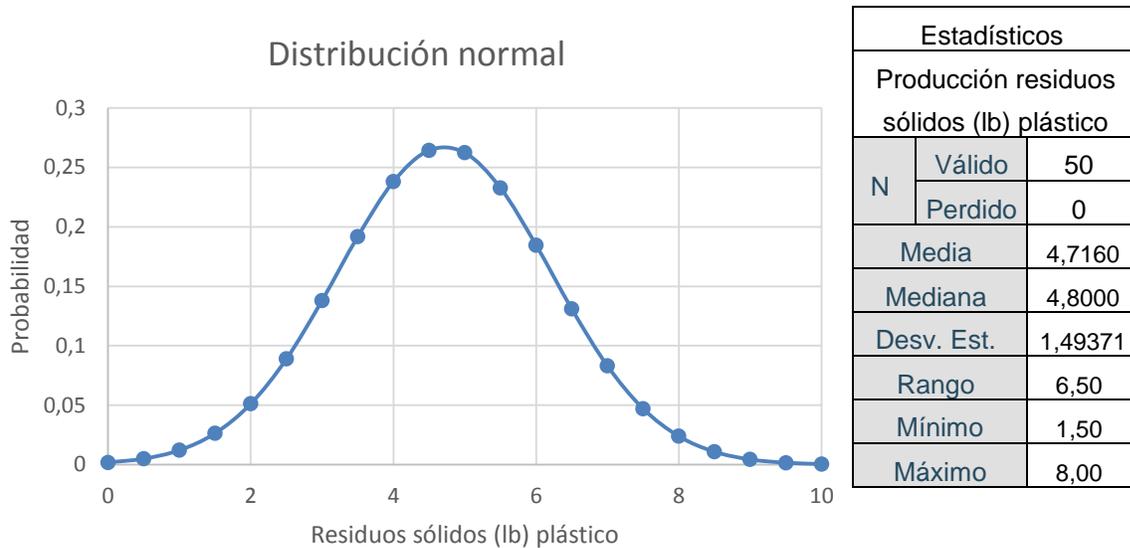
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Residuos sólidos de plástico (lb)**



Fuente: elaboración propia.

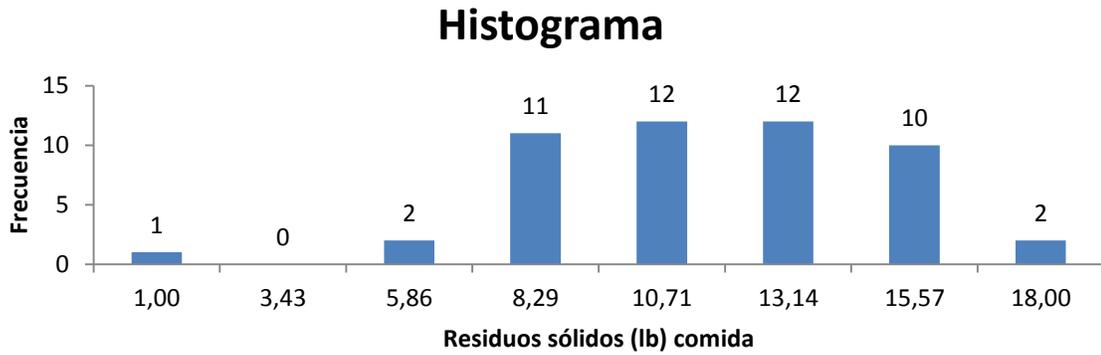
Figura 31. **Distribución normal residuos sólidos de plástico.**



Fuente: elaboración propia.

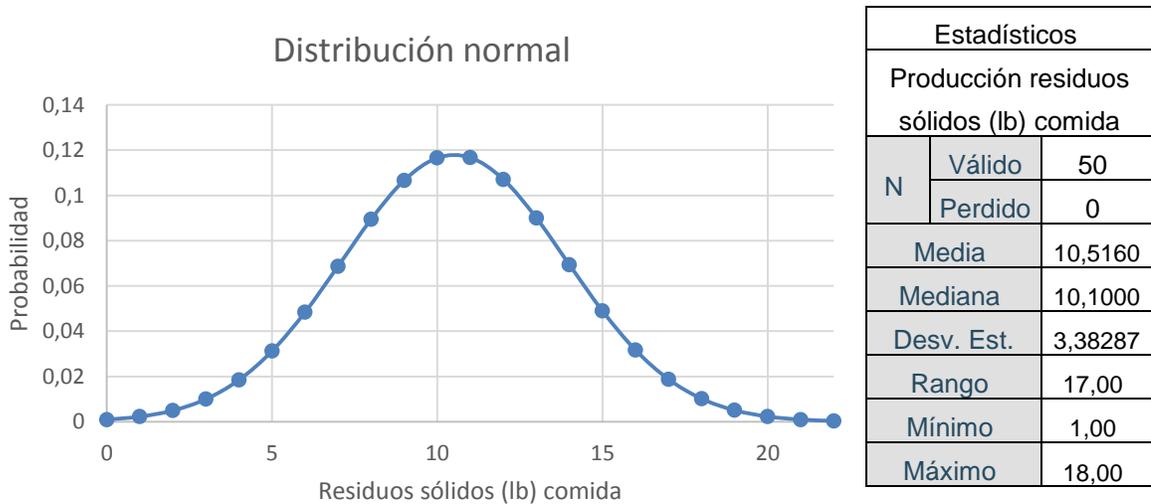
La cantidad media y máxima de desperdicios creados en base al plástico se muestra en la figura 30, teniéndose como máximo 8 lb desechadas, y con un valor medio de 4,8 lb. Estos fueron los valores más elevados de residuos inorgánicos que se encontraron en el lugar de estudio, aunque la minoría indicó que no le presta importancia al hábito de reutilizar, y como resultado, no tienen conocimiento que este tipo de material puede llegar a tener remuneración económica si se llega a vender en centros de reciclaje.

Figura 32. **Residuos sólidos de comida (lb)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Distribución normal residuos sólidos de comida**

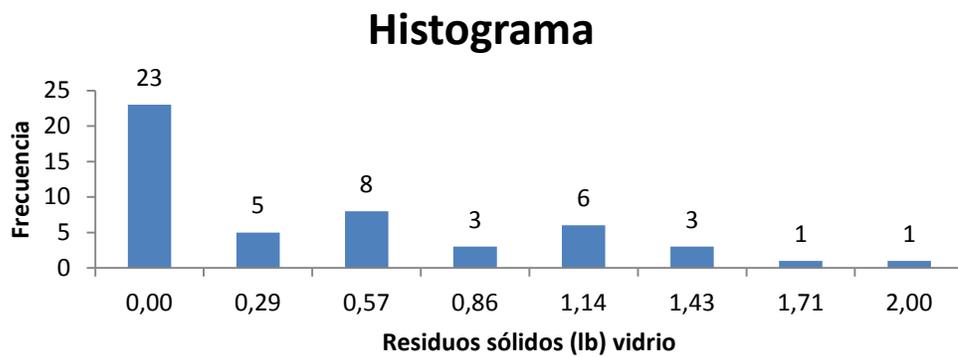


Fuente: elaboración propia.

Los valores de residuos orgánicos fueron elevados en la figura 33, con un máximo encontrado de 18 lb, con desperdicio medio de 10,52 lb; este resultado

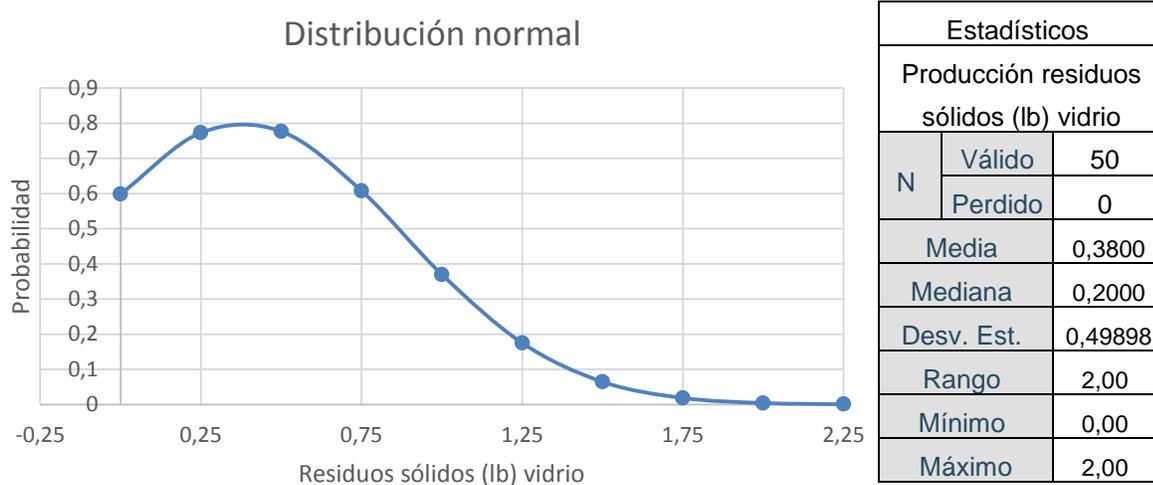
es un gran modo de enfatizar la necesidad de un relleno sanitario en la cabecera municipal, ya que, debido a las grandes cantidades producidas, se sabe de los altos riesgos de producir lixiviados en el lugar de disposición final.

Figura 34. **Residuos sólidos de vidrio (lb)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Distribución normal residuos sólidos de vidrio**

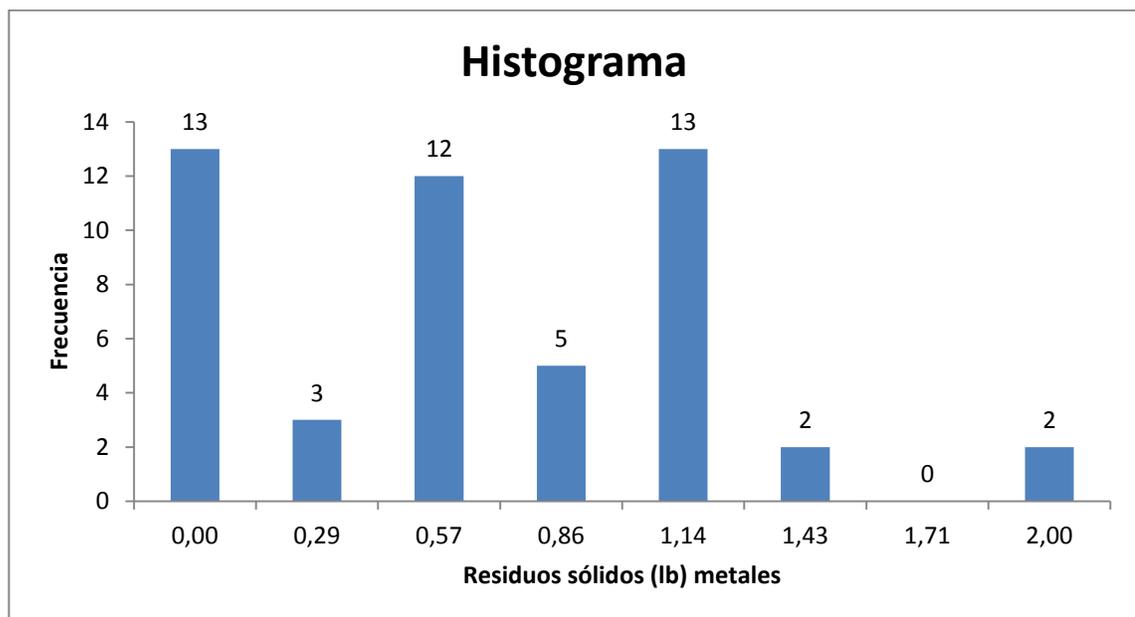


Fuente: elaboración propia.

En la figura 34 se observan las cantidades producidas de vidrio en libras; se tiene un máximo de 2 lb y una media de 0,38 lb. Debido a que este material no es utilizado para alta comercialización como la tela en el lugar estudiado; este resultado refleja más que todo los objetos del hogar que han sido destruidos y, por lo consiguiente, desechados del lugar.

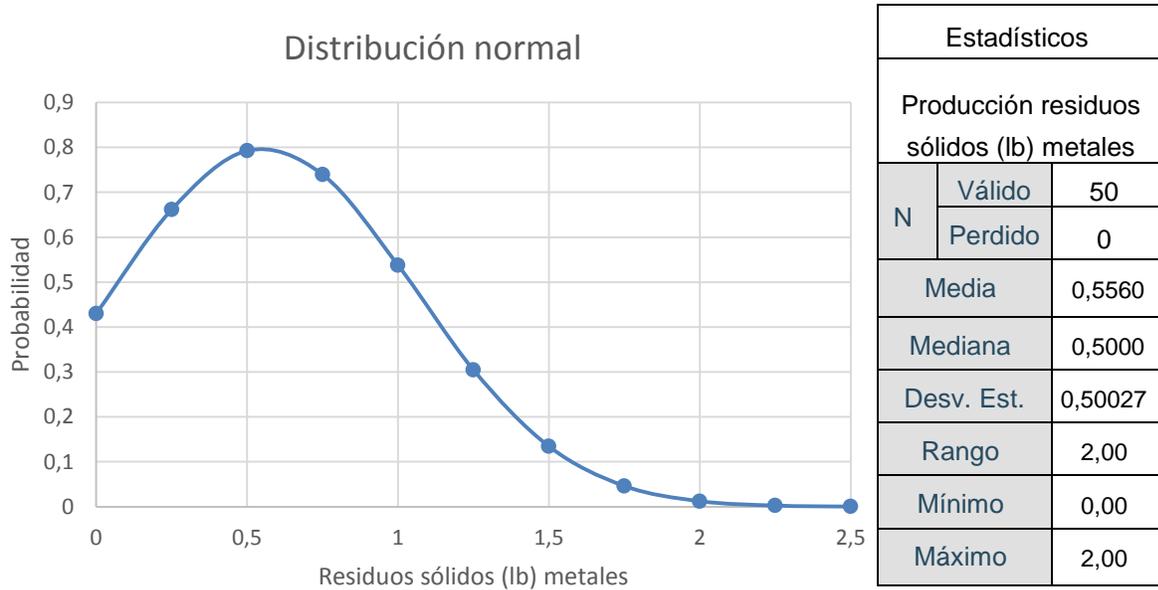
Este material es otro que no es aprovechado por los pobladores para su reciclaje, debido a su alto riesgo de causar heridas y accidentes a los recolectores en el lugar de disposición final.

Figura 36. **Residuos sólidos de metales (lb)**



Fuente: elaboración propia.

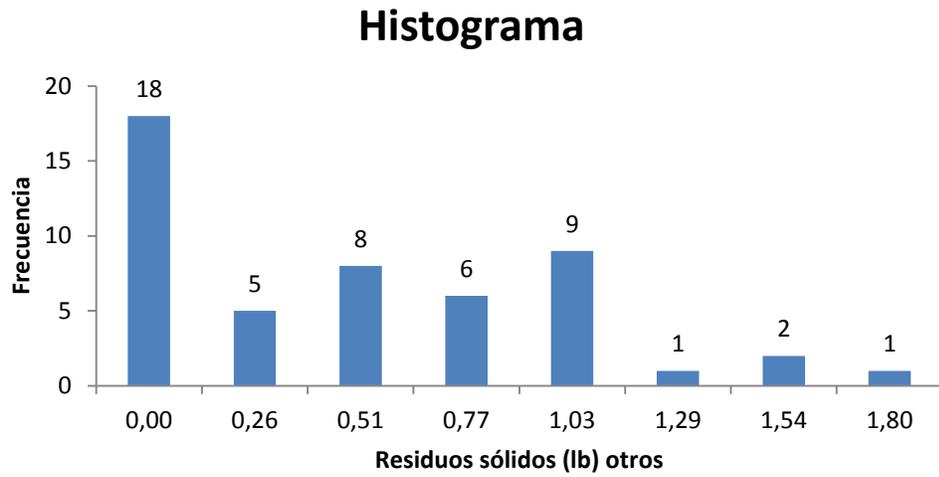
Figura 37. **Distribución normal residuos sólidos de metales**



Fuente: elaboración propia.

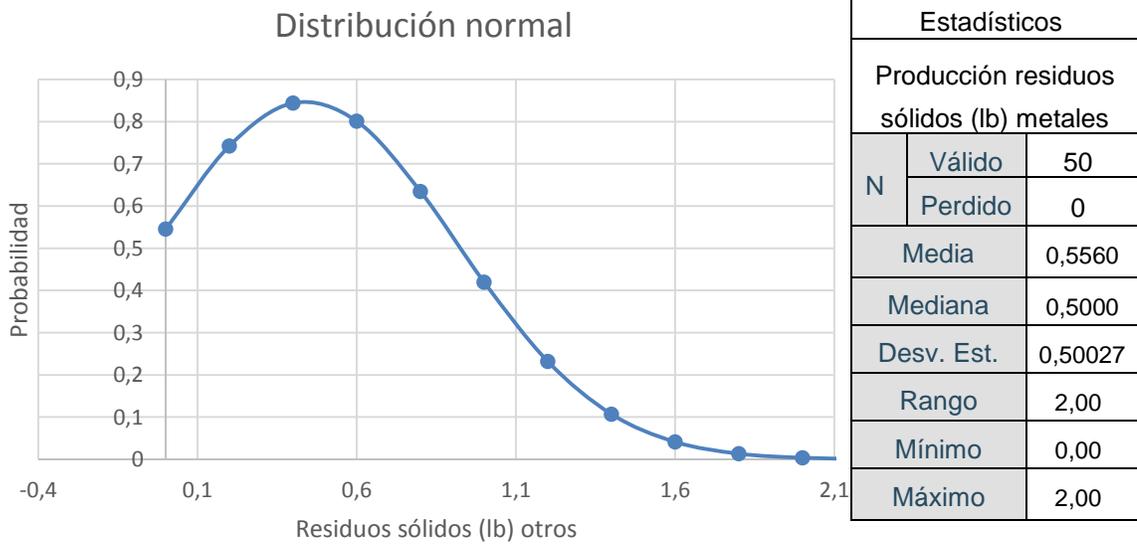
El metal es otro de los materiales que no es desechado en gran mayoría, ya que especialmente se encuentra en fábricas y no en domicilios. Como lo muestra la figura 36; el máximo producido fue de 2 lb, desechándose 0,57 lb; regularmente; lo coloca al final de la lista con la menor cantidad utilizada por los vecinos del lugar.

Figura 38. Residuos sólidos (lb) otros



Fuente: elaboración propia.

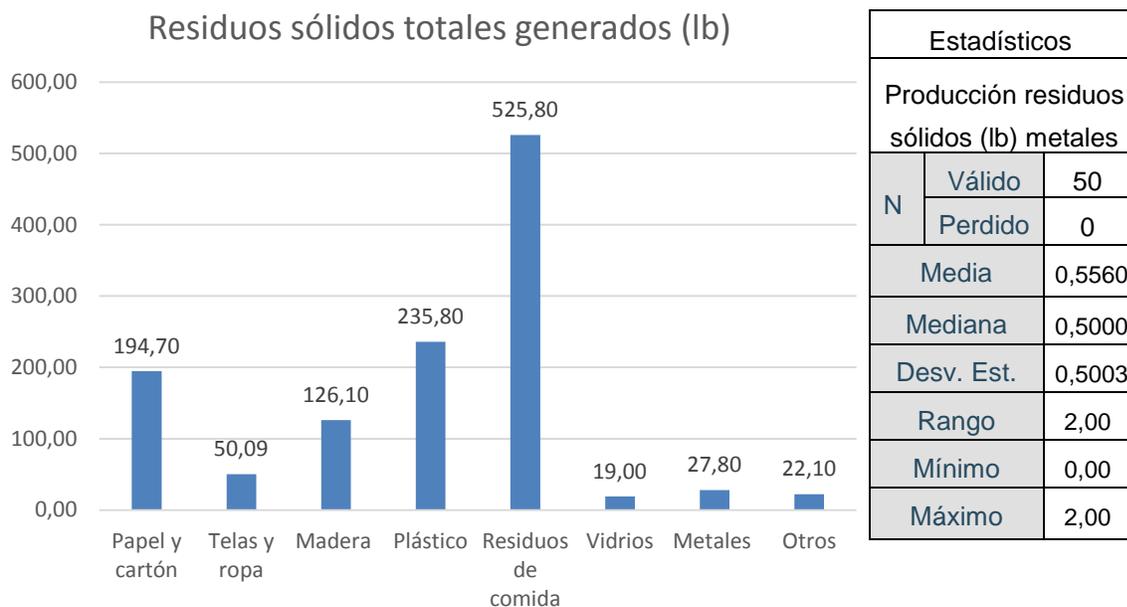
Figura 39. Distribución normal de otros residuos sólidos



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se mostrará la estadística para los residuos totales de la muestra en libras, es decir, el total de residuos desechados por domicilio, incluye el máximo y su media.

Figura 40. **Residuos totales generados (lb)**



Estadísticos		
Producción residuos sólidos (lb) metales		
N	Válido	50
	Perdido	0
Media		0,5560
Mediana		0,5000
Desv. Est.		0,5003
Rango		2,00
Mínimo		0,00
Máximo		2,00

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvieron los residuos totales producidos por cada domicilio incluido en la muestra; se tiene como máximo producido 35,30 lb, una media de 24,03 lb y un mínimo de 13,90 lb.

La educación ambiental en el país es un tema al cual no se le brinda la suficiente importancia; y su falta, crea hábitos negativos que afectan cada vez más, no solo a los habitantes del lugar estudiado, sino a los alrededores que se contaminan con el desmesurado aumento de los residuos. Para comenzar la reducción de residuos, se propone brindar charlas educativas en escuelas y

salones municipales, que muestren opciones de reducción, reutilización y reciclaje.

5.2. Propuesta para el manejo de residuos sólidos en la aldea Vista Hermosa, cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez

Para el correcto manejo de los residuos sólidos, se necesita tener fiabilidad en los estudios realizados, ya que de estos se pueden plantear soluciones para controlar hábitos perjudiciales en la conservación del ambiente, y su aplicación final en la población a beneficiar será de gran ayuda en un futuro.

5.2.1. Charlas educativas en escuelas y salones municipales

Como primer paso para un ambiente más limpio, se debe empezar por la educación en los más jóvenes, también así en los adultos que deseen hacer un cambio en sus hogares y beneficiar a su comunidad.

En los centros educativos, se necesita concientizar a los estudiantes sobre el daño que provoca la incorrecta disposición de los residuos sólidos, a dónde van una vez que se utilizan y cómo debe ser el proceso para que los mismos no dañen los recursos naturales y el entorno de la población en cuestión. También, se incluye dentro de los temas, el uso de la herramienta de las 3R, la cual incluye: reducir, reutilizar y reciclar.³⁹

5.2.1.1. Reducir

Una de las partes más evidentes de la herramienta se basa en la reducción de consumo, esto incluye tanto el energético como de bienes materiales. La finalidad es disminuir el aporte de residuos y dióxido de carbono al entorno.

³⁹ BORRÁS, Carla. *Las 3R de la ecología: reducir, reutilizar y reciclar.* <https://www.ecologiaverde.com/las-3r-de-la-ecologia-reducir-reutilizar-y-reciclar-315.html>
Consulta: 10 de enero de 2019.

Debido a que esta misma es una herramienta fácil de aplicar, los consejos más prácticos para empezar en la escuela u hogar se pueden enumerar de acuerdo con las necesidades de la población:

- Sustituir las bolsas de plástico en mercado y supermercado al momento de realizar las compras con bolsas de tela o biodegradables, ya que las mismas se pueden utilizar repetidas veces y son más fáciles de reciclar debido al tipo de material con el que producen.
- Elegir productos hechos a base de otros, por ejemplo, productos de plástico que han sido reciclados anteriormente. Lo más recomendable en todos los casos es el de no adquirir productos de plástico en su totalidad, ya que estos tienen una corta vida útil, así como es el producto que más tiempo tarde en biodegradarse.

5.2.1.2. Reutilizar

“En este proceso se anima a la población a tratar de alargar la vida útil de un producto, quiere decir que antes de arrojarlo a la basura, se le encuentra una función dentro del establecimiento, siendo que este necesite reparación o no.”⁴⁰

En la sociedad actual existen muchas ideas de cómo se puede aprovechar cada producto, pero las más frecuentes terminan siendo las formas más sencillas de aplicación:

⁴⁰ BORRÁS, Carla. *Las 3R de la ecología: reducir, reutilizar y reciclar*. <https://www.ecologiaverde.com/las-3r-de-la-ecologia-reducir-reutilizar-y-reciclar-315.html>
Consulta: 10 de enero de 2019.

- Mejorar la apariencia y funcionalidad de un objeto que estaba destinado a ser desechado, para aumentar su valor y utilidad. De esta misma forma, obtener beneficio económico al momento de su reventa.
- Donación de objetos que ya no tengan valor útil para el dueño. La persona beneficiada tendrá la oportunidad de recibir productos con expectativas de uso prolongadas.

5.2.1.3. Reciclaje

Se basa en la obtención de nuevos productos por medio de otros productos desechados. La preservación de materiales potencialmente útiles evita que el ecosistema reciba directamente el daño potencial que estos causan al desembocar en ríos y bosques. La ventaja de esta última herramienta es el alcance individual que tiene, ya que no necesita de una gran cantidad de personas para lograr resultados, ni de maquinaria pesada. Simplemente basta con disponer de contenedores separados por medio de colores que representen los diferentes materiales.

5.3. Necesidad de relleno sanitario en municipio de San Pedro Sacatepéquez

La disposición final de los desechos producidos por los habitantes de la aldea Vista Hermosa se encuentra mayormente concentrada en diferentes basureros clandestinos, ya que la gran parte de pobladores opta por no pagar el servicio de recolección de basura a pesar de contar con un plan de aseo semanal a un costo accesible, siendo transportado, junto con los desechos de otros 14 municipios del departamento de Guatemala, al relleno sanitario de la zona 3 capitalina.⁴¹

⁴¹ GARCÍA, Jody. *La increíble respuesta de la Muni con el basurero*. <https://nomada.gt/pais/la-increible-respuesta-de-la-muni-con-el-basurero/>. Consulta: 2 de febrero de 2019.

San Pedro Sacatepéquez cuenta actualmente con 33 basureros clandestinos (anexo 2), los cuales están sumamente contaminados debido al incontrolable manejo de los residuos que los pobladores abandonan e incluso incineran sin entender las consecuencias a largo plazo que estos pueden causar.

El mayor foco de contaminación se encuentra camino al Río las Joyas, y dentro del mismo, con dimensiones de doscientos metros de largo y cinco metros de ancho, convirtiéndose en el basurero clandestino más grande del municipio. Camino al río se observa la inmoderada tala de árboles por parte de la población para conseguir leña, así como la avanzada etapa de extinción de la fauna y flora del lugar.

“Al río también desemboca una tubería que transporta aguas negras proveniente del cantón Las Limas, dentro de la aldea Villa Hermosa.”⁴²

En general las amenazas que se forman en el municipio se encuentra en un nivel de riesgo alto, manteniendo un mismo comportamiento que el nivel crítico, diferenciando con la calificación de menos recurrencia y afectación, los peligro identificados por los actores locales, en orden son: la deforestación es una de las amenaza que más peligro representa para la población de la mayoría del municipio; además, se relaciona claramente con procesos de agotamiento de acuíferos y/o fuentes de agua valorando la afectación y recurrencia en crítico. En cuanto a la vulnerabilidad se considera que este es el siguiente análisis: físico estructural, económico, ambiental, funcional y educativo en alto. Para poder evaluar el mismo se considera desde lo más crítico a lo medio.⁴³

Los argumentos explicados anteriormente representan la necesaria realización de un plan de gestión ambiental para la concientización por medio de planes informativos hacia la población, para mostrar las consecuencias del comportamiento que esta ha ido desarrollando conforme los años, así también

⁴² IXCOY, Olivia. *Mapeo informático de contaminación de la Cordillera Alux y de la aldea Vista Hermosa de San Pedro Sacatepéquez Guatemala*. p. 43.

⁴³ Oficina de Planificación, Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez. *Amenazas formadas en el municipio*. p. 36.

la elaboración de un sistema de manejo de residuos sólidos domiciliarios y un relleno sanitario en la cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez.

CONCLUSIONES

1. Se permitió establecer las cantidades físicas generadas en la Aldea Vista Hermosa, por medio del método de caracterización de los residuos sólidos. El 45 % corresponde a los plásticos, que en su mayoría son reciclados para una recompensa monetaria. Residuos orgánicos con el 25 %, finalizando con el 12 % correspondiente a papel y cartón.
2. Por medio de la encuesta realizada a los pobladores de la aldea Vista Hermosa para clasificar el tipo de residuos que se genera en el lugar, se logró determinar los residuos que ocupan el mayor espacio, esto si no se les aplica la adecuada compactación dentro del vertedero, siendo el plástico con un volumen suelto de 1,70 m³, seguido por los residuos orgánicos con 1,9 m³.
3. Se cuantificó en porcentaje la cantidad de residuos sólidos generados perteneciendo el 56,23 % a residuos inorgánicos (plásticos, madera, telas, entro otros) y 43,77 % a residuos orgánicos.
4. De acuerdo con los resultados obtenidos, se requiere del diseño y planificación de un relleno sanitario y planes de gestión ambiental para reducir, reutilizar y reciclar los residuos, en lugar de disponerlos directamente.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un plan de gestión ambiental, donde se tome en cuenta la caracterización realizada y los datos obtenidos, con el fin de minimizar exponencialmente los residuos sólidos que alteran los sistemas ambientales.
2. Llegar a acuerdos con la municipalidad del lugar donde se elaboren programas informativos en centros municipales por parte de la universidad, en donde los vecinos puedan asistir a módulos sobre el cuidado ambiental, sus beneficios y aplicación en el hogar.
3. Reducir el consumo de productos elaborados con base al plástico o no reciclables en las actividades diarias de la comunidad.
4. Elaborar un sistema de separación de residuos por medio de bolsas desechables clasificadas por color, indicando cada una el tipo de material que se debe de depositar, para facilitar el tiempo de recolección, separación y costo final de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁNGEL ENRÍQUEZ, Teresa Alejandra. *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios del condominio Villas de la Meseta, San Lucas Sacatepéquez, departamento de Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Ing Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 55 p.
2. CERRATO LICONA, Edilfredo. *Gestión integral de desechos sólidos*. USA: Atlantic International University, 2006. 34 p.
3. CHIAPAS PÉREZ, Juan Pablo. *Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el condominio residencial El Frutal 1, zona 5 de Villa Nueva*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 89 p.
4. Congreso de la República de Guatemala. *Informe nacional sobre el desarrollo sostenible*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala, 2009. 85 p.
5. DE LEÓN ORANTES, Rhina María. *Estudio de prefactibilidad para la creación de un instituto tecnológico en el municipio de San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. Trabajo de graduación. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 155 p.

6. DUARTE DÍAS, Felipe Andrés. *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, Departamento de El Progreso y propuesta para relleno sanitario*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 143 p.
7. EGUIZÁBAL, Ana. *Caracterización de desechos sólidos domiciliarios en la colonia Los Naranjales, zona 4, municipio de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 99 p.
8. GONZÁLEZ, Julián. *Residuos sólidos urbanos, módulo I: contaminación ambiental*. España: Escuela de Negocios, 2008. 105 p.
9. Hospital San Juan de Dios. Acuerdo Gubernativo No. 509-2001. *Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios, Guatemala, 28 de diciembre de 2001*. Guatemala: Hospital San Juan de Dios, 2001. 7 p.
10. Insivumeh. *Meteorología*. [En línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia.html>>. [Consulta: 20 de febrero de 2019].
11. JARAMILLO, Jorge. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Estados Unidos: Francisco Zepeda, 1991. 211 p.

12. MARN. *Documento base del pacto ambiental en Guatemala 2016-2020*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016. 97 p.
13. MORALES BARCO, Frieda. *Nueva Guatemala de la Asunción, génesis y desarrollo*. Guatemala: Centros de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001. 57 p.
14. MORÁN MÉRIDA, Amanda. *Ciudad de Escuintla: gestión de servicios y expansión urbana*. Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998. 54 p.
15. Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez. *Plan de desarrollo, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 2014. 80 p.
16. SAKURAI, Kunitoshi. *HDT 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. Japón: CEPIS/OPS. Asesor Regional en Residuos Sólidos, 2000. 129 p.
17. TCHOBANOGLIOUS, George; THEISSEN, Hilary. *Desechos sólidos, principios de ingeniería y administración*. México: McGraw-Hill, 1994. 454 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Encuesta realizada a vecinos de la aldea Vista Hermosa



ENCUESTA A REALIZAR PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA.

Fecha:

Casa:

¿Realiza clasificación de residuos sólidos en su hogar?

Sí

No

Si la respuesta anterior fue "sí", indique cuales:

Orgánicos (restos de comida) _____

Papel y cartón _____

Plásticos _____

Metales _____

Telas _____

Vidrio _____

Otros _____

¿Obtiene algún beneficio al realizar la clasificación? ¿Cuál? _____

¿En su opinión, que tipo de residuo es el que más se genera en su hogar?

¿Sabe usted de los daños para su salud y medio ambiente que produce el incorrecto manejo de los residuos sólidos?

Sí

No

Continuación del apéndice 2.

31	1,80	0,00	3,00	4,30	5,00	0,20	0,30	0,30
32	2,60	0,00	4,50	5,00	8,20	0,40	0,50	0,50
33	3,70	0,00	4,80	8,00	8,30	1,00	0,70	0,00
34	4,30	2,00	6,00	6,20	8,00	0,30	0,00	1,00
35	5,30	1,00	2,30	6,50	6,50	0,00	0,00	0,60
36	1,30	2,10	7,00	4,60	12,10	0,40	0,60	0,20
37	1,50	3,00	6,00	2,50	12,50	0,00	1,00	0,00
38	2,70	0,00	2,20	7,20	10,00	0,60	0,00	0,10
39	3,60	0,00	3,00	2,50	11,00	0,00	2,00	0,00
40	3,50	2,20	2,30	4,60	14,30	1,00	0,30	0,20
41	2,20	1,00	5,00	3,80	8,00	0,20	0,30	0,30
42	2,30	1,50	1,80	6,00	8,80	0,00	0,40	0,00
43	4,30	0,00	5,50	3,00	9,20	0,00	0,00	1,00
44	3,60	0,00	3,50	5,20	7,50	0,30	0,20	0,00
45	4,00	2,10	4,00	3,50	6,60	0,90	0,00	0,20
46	6,00	2,00	3,00	4,60	5,30	1,00	1,00	0,00
47	3,20	0,00	0,00	3,90	10,00	0,20	0,30	0,60
48	5,00	0,00	2,50	5,50	12,10	0,00	0,50	0,00
49	3,60	1,30	0,00	3,90	12,00	0,00	0,00	0,00
50	2,00	1,00	0,00	1,60	15,00	0,00	1,00	0,90
Total	194,70	50,10	126,10	235,80	525,80	19,00	27,80	22,10
Suma: 1 201,40 libras = 546,09 kilogramos								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Residuos sólidos clasificados y recolectados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Medición de volumen de los residuos recolectados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Obtención de datos de residuos recolectados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Focos de contaminación en San Pedro Sacatepéquez, Guatemala**

Cuadro de resumen de los focos de contaminación de la aldea Vista Hermosa, San Pedro Sacatepéquez.				
Núm.	Nombre	Coordenadas		Área (m²)
		X	Y	
1	Basurero San Francisco II	756384	1623909	25
2	Puente las Limas	756368	1623905	15
3	Tanque de agua	756361	1623934	19
4	Astillero Municipal	756302	1624034	9
5	Alrededor de viviendas Cantón las Limas	756300	1624066	10
6	Escuela Vista Hermosa	756277	1624112	20
7	Desvío a las Limas	756625	1624130	27
8	Salón Municipal	756249	1624171	23
9	Punto No. 9 a los alrededores de salón municipal	756181	1624140	3
10	Punto No. 10	756168	1624164	30
11	Por cuneta de agua, el Mirador	756158	1624265	6
12	Punto No. 12 Mirador	756138	1624240	6
13	Punto No. 13 Mirador	756126	1624217	10
14	Punto No. 14 Mirador	756065	1624163	115
15	Extravío a las Limas	746144	1624151	7
16	Río Las Joyas	755924	1623922	205
17	Por viviendas de Bosques de Vista Hermosa	--	--	50
18	Área verde de Bosques de Vista Hermosa	--	--	15
19	Río que conduce a las Mejías	--	--	2
20	Desvío a los asentamientos	--	--	15
21	Colindancia a Santiago Sacatepéquez	--	--	8
22	Caserío San Francisco I	--	--	--
23	Río las Vacas	--	--	8
24	Finca el Escudero	--	--	40
25	Caserío San Martín	--	--	18
26	Calle la Esperanza	--	--	7
27	Calle las Maravillas	--	--	15
28	Camino a las Ilusiones	--	--	8
29	Callejón la Esperanza en San Martín	--	--	18
30	Carretera a Sacavilla	--	--	20
31	Puente el Aguacate en Cipresales	--	--	20
32	Por escuela, Cruz de Piedra	--	--	10
33	Cruz de Piedra	--	--	7,5
	Total			814,5

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Marco legal del manejo de los residuos sólidos en Guatemala**

Se proveerán perspectivas del ambiente político en el cual se dirige la planificación del manejo de desechos sólidos; también, introducir al lector en la legislación vigente hasta la fecha en materia ambiental, con una breve descripción de las instituciones cuyas responsabilidades ambientales fueron delegadas por parte del Estado. Este capítulo incluye la Constitución de la República de Guatemala, decretos gubernativos, acuerdos legislativos, ministeriales, leyes y convenios internacionales.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Base Legal*.
http://www.marn.gob.gt/paginas/Base_Legal. Consulta: 16 de julio de 2018.

Anexo 2. **Constitución de la república de Guatemala**

Artículo 64. Patrimonio natural. A nivel nacional se tiene interés en la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. La creación de parques nacionales, refugios naturales y reservas debe de ser fomentado por el Estado, los cuales serán inalienables. Una ley.

Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico.

Continuación del anexo 2.

Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

Fuente: *Constitución Política de la República de Guatemala*. p. 12-18.

Anexo 3. **Código de Salud, Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala**

Artículo 68. Ambientes saludables. El Ministerio de Salud, en colaboración con la Comisión Nacional del Medio Ambiente, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverán un ambiente saludable que favorezca el desarrollo pleno de los individuos, familias y comunidades.

Quiere decir que tanto las entidades del Estado y Municipalidades tienen la obligación de proveer un ambiente favorable para los ciudadanos y estos realicen sus actividades cotidianas sin ningún riesgo.

Artículo 81. Declaración de utilidad pública. El Estado a través del Ministerio de Salud, instituciones del Sector y otras, garantizará que los ríos, lagos, lagunas, riachuelos, nacimientos y otras fuentes naturales de agua, puedan en base a dictamen técnico, declararse de utilidad e interés público, para el abastecimiento de agua potable en beneficio de las poblaciones urbanas y rurales de acuerdo con la ley específica. La servidumbre de acueducto se regulará en base al Código Civil y otras leyes de la materia.

Continuación del anexo 3.

Como se menciona en el capítulo 1, los recursos hídricos del país deben ser considerados como fuentes finitas, ya que muchos de estos se encuentran contaminados sin oportunidad de ser recuperados, como consecuencia, la población cercana que no cuenta con agua potable en sus hogares tampoco puede inclinarse a utilizar el agua natural a su alrededor, por lo que deben de contar con la protección del Estado, para el aprovechamiento por parte de la población cercana a las mismas.

Artículo 84. Tala de árboles. Se prohíbe terminantemente la tala de árboles, en las riberas de ríos, riachuelos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas. La transgresión a dicha disposición será sancionada de acuerdo a lo que establezca el presente Código.

A raíz de la inmoderada tala de árboles, no solo en el municipio de Sacatepéquez, sino en todo el país, la erosión del suelo ha ido en incremento, y lo cual incide negativamente en la conservación de los recursos hídricos con los que se cuenta.

Artículo 102. Responsabilidad de las municipalidades. Corresponde a las municipalidades la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrán utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que deberá ser elaborado dentro del plazo improrrogable de dos meses de solicitado.

Continuación del anexo 3.

De no producirse el mismo será considerado emitido favorablemente, sin perjuicio de la responsabilidad posterior que se produjera, la que recaerá en el funcionario o empleado que no emitió el dictamen en el plazo estipulado.

Las municipalidades correspondientes deben de brindar todos los servicios que involucren desechos sólidos, así como la disposición final que se le dará a los mismos, cumpliendo con las normas sanitarias que apliquen al proceso en un plazo de dos meses.

Artículo 103. Disposición de los desechos sólidos. Está prohibido arrojar o acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, ya sea alrededor de zonas habitadas y en lugares que puedan provocar daños a la población, paisaje u ornato, así también la utilización de medios inadecuados para su transporte o almacenamiento o continuar con su utilización, tratamiento y disposición final, sin la correspondiente autorización municipal, la que deberá cumplir con las medidas sanitarias establecidas para la contaminación del medio ambiente, específicamente de los derivados de la contaminación de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos de la región.

Artículo 104. Lugares inadecuados. Si el Ministerio de Salud comprobara que existen lugares en donde se estén depositando desechos sólidos sin llenar los requisitos de la presente ley, deberán ser trasladados a otros lugares que cumplan con los requisitos sanitarios, con base a un programa que de común acuerdo establezcan las municipalidades respectivas y el Ministerio de Salud.

Continuación del anexo 3.

Artículo 105. Sitios y espacios abiertos. Los propietarios o poseedores de predios, sitios o espacios abiertos en sectores urbanos y rurales, deberán cercarlos y mantenerlos libres de desechos sólidos, malezas y aguas estancadas. Las autoridades municipales, en coordinación con las sanitarias, son responsables de hacer cumplir esta disposición.

Artículo 106. Desechos hospitalarios. Los hospitales públicos y privados que por su naturaleza emplean o desechan materiales orgánicos o sustancias tóxicas, radiactivas o capaces de diseminar elementos patógenos, y los desechos que se producen en las actividades normales del establecimiento, sólo podrán almacenar y eliminar esos desechos en los lugares y en la forma que lo estipulen las normas que sean elaboradas por el Ministerio de Salud. Los hospitales quedan obligados a instalar incineradores para el manejo y disposición final de los desechos, cuyas especificaciones y normas quedarán establecidas en el reglamento respectivo.

Es decir, los hospitales tienen la obligación, de acuerdo a los reglamentos respectivos, de manejar los desechos sólidos generados dentro de la instalación en la etapa final, teniendo instalado incineradores para deshacerse de los que han cumplido con el tiempo de almacenamiento en los lugares autorizados por el Ministerio de Salud.

Continuación del anexo 3.

Artículo 107. Desechos sólidos de la industria y comercio. Para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza de sus operaciones, especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos, no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales. El Ministerio de Salud y la municipalidad correspondiente dictaminarán sobre la base del reglamento específico sobre esta materia.

Artículo 108. Desechos sólidos de las empresas agropecuarias. Los desechos sólidos provenientes de actividades agrícolas y pecuarias deberán ser recolectados, transportados, depositados y eliminados de acuerdo con las normas y reglamentos que se establezcan, a fin de no crear focos de contaminación ambiental, siempre y cuando no fuera posible su reprocesamiento y/o reciclaje para uso en otras actividades debidamente autorizadas.

Fuente: Congreso de la República de Guatemala. *Código de salud*. p. 23.

Anexo 4. **Municipalidad de Guatemala, el Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, Acuerdo No. 28-2002. Reglamento de manejo de desechos sólidos**

Artículo 1. El Reglamento presentado tiene como deber regular el sistema de almacenamiento, limpieza, recolección, transporte, reciclaje y disposición final de los desechos sólidos en el Municipio de Guatemala.

Continuación del anexo 4.

Artículo 2. Cumplir y velar por que el presente Reglamento sea utilizado obligatoriamente, así como todas las disposiciones existentes en lo que se refiere al medio ambiente, es deber de todo habitante del Municipio de Guatemala. Todo lo anterior es de observancia general para toda persona individual o jurídica, pública o privada

Artículo 3. Obligatoriamente los habitantes del Municipio de Guatemala a su costa, deben de enviar al vertedero autorizado por la Municipalidad de Guatemala los desechos sólidos que produzcan, por los medios determinados en el presente Reglamento.

Artículo 5. La Municipalidad de Guatemala para el manejo de los desechos sólidos tiene las funciones siguientes:

- a) Regular y controlar el almacenamiento temporal de los desechos sólidos en: Industrias, mercados, comercios, plazas, calles, demás lugares públicos o privados, así como en las edificaciones nuevas que se autoricen, deberá preverse el depósito adecuado y accesible al recolectar.
- b) Establecer, regular, autorizar, controlar y supervisar el sistema de almacenamiento, recolección y transporte de los desechos sólidos de industrias, mercados, comercios, parques, plazas, calles y demás lugares públicos o privados, con cobertura en todo el Municipio, pudiendo establecer áreas de trabajo y procedimientos específicos en cada caso.

Continuación del anexo 4.

- c) Controlar técnicamente, la disposición final de los desechos sólidos en los lugares autorizados.
- d) Establecer y promover programas de concientización, sensibilización y educación ambiental para la población, incluyendo el conocimiento de la normativa ambiental existente; y promover e incentivar programas de investigación y estudios específicos para el mejor conocimiento de los desechos sólidos que se generan, sus características y como reducir los efectos contaminantes y las formas para un manejo adecuado.
- e) Coordinar con instituciones públicas o privadas, las actividades que permitan eliminar y prevenir los focos de contaminación y mantener la limpieza del Municipio.
- f) Sobre la base de lo estipulado en el Código Municipal y demás, Leyes aplicables, contratar, administrar o dar en concesión la operación y mantenimiento del vertedero de desechos sólidos, ubicado en la zona 3 y otros sitios para la disposición final que en el futuro se autoricen.
- g) Promover la clasificación, selección, recuperación, reutilización y reciclado de los desechos sólidos que así lo permitan.

Fuente: Municipalidad de Guatemala, el Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala.

Acuerdo No. 28-2002. Reglamento de manejo de desechos sólidos. p. 24.

Anexo 5. **Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos, Acuerdo Gubernativo 111-2005**

Artículo 1. Aprobar la Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos.

La Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos sólidos, ha sido el trabajo articulado de cuatro componentes sociales básicos: la iniciativa Privada, las instituciones Centrales de Gobierno, las Municipales y las Organizaciones Civiles, todos involucrados de alguna manera como grupos de entes relevantes en los procesos de producción, distribución, acondicionamiento, importación, exportación, consumo, manejo y disposición, y que de manera conjunta con la Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos, realizaron un proceso participativo que implicó el logro de consensos básicos y propuestas compartidas, habiéndose contado para su realización con el apoyo técnico y financiero de la Cooperación Técnica Alemana GTZ.

La presente política es un instrumento que permite organizar las acciones de las diferentes instituciones en el tema, y su definición permite que la CONADES asuma su responsabilidad coordinadora en la competencia ambiental del Manejo Integral de los Residuos Sólidos y por ende asume también la responsabilidad de todas las acciones de apoyo a las municipalidades por ser estas las responsables de la ejecución de este servicio público.

Fuente: *Acuerdo Gubernativo 111-2005. Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos.* p. 8.

