



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

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA
ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA**

Sharon Bartola Ambrocio García

Asesorado por la Inga. María del Mar Girón Cordón de Gutiérrez

Guatemala, abril de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA
ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SHARON BARTOLA AMBROCIO GARCÍA

ASESORADO POR LA INGA. MARÍA DEL MAR GIRÓN CORDÓN DE
GUTIÉRREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, ABRIL 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. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
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 DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de febrero de 2018.



Sharon Bartola Ambrocio García

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 12 de enero de 2019

Ingeniero
Luis Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Sandoval:

Atentamente le informo que he revisado el Trabajo de Graduación del estudiante universitario Sharon Bartola Ambrocio García, carné 2011-13986, denominado **“CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA”**, habiéndose desarrollado según el protocolo aprobado. Deseo manifestar que la estudiante Ambrocio ha superado las expectativas de este trabajo, permitiéndole obtener un trabajo de calidad y aplicación en el Laboratorio de Hidráulica de esta Escuela, por lo que en mi calidad de asesor me permito extender una merecida felicitación, asimismo, doy por aprobado el presente trabajo de graduación, solicitando a su jefatura darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me es grato saludarle

Deferentemente,

“Id y enseñad a Todos”

María del Mar Girón Cordón
Ingeniera Civil
Colegiada No. 8,445

Inga. María del Mar Girón Cordón
Asesora de Tesis
No. de Colegiado 8,445

Guatemala, 12 de Febrero de 2019

Ingeniero

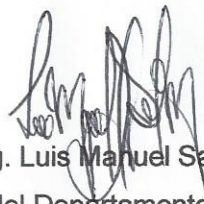
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA”**, desarrollado por la estudiante de ingeniería civil Sharon Bartola Ambrocio García, quien contó con la asesoría de la ingeniera María del Mar Girón Cordón.

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.



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



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC





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 de la Asesora Inga. María del Mar Girón Cordón y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación de la estudiante Sharon Bartola Ambrocio García. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2019

/mrm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

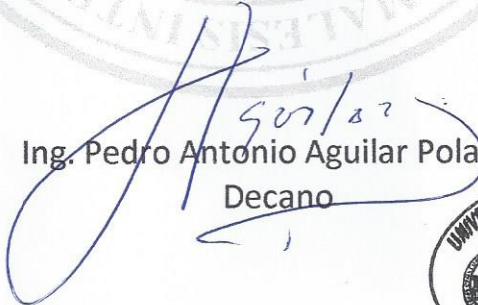




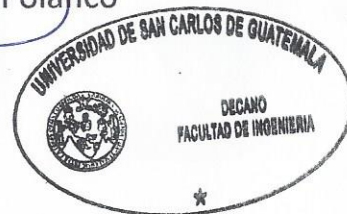
DTG. 187.2019

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 DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE LA ALDEA EL PAJÓN, SANTA CATARINA PINULA**, presentado por la estudiante universitaria: **Sharon Bartola Ambrocio García**, 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, abril de 2019



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El centro de mi vida, mi luz y mi guía.
Mis padres	Baldemar Ambrocio y Amada García, como muestra de mi amor y respeto.
Mi esposo	Esvin Manuel Iboy Hernández, como muestra de mi amor y entrega, gracias por tu apoyo incondicional.
Mi hijo	Esvin Ariel Iboy Ambrocio, el motor de mi vida y mis ganas de seguir superándome como madre y como mujer.
Mis hermanos	Allan Alonzo, Mirna Judith y Angie Amanda Ambrocio García y Susana Esmeralda Ambrocio Melgar, como muestra de mi amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Gracias por iluminar mi vida y por las bendiciones recibidas a lo largo de ella.
Facultad de Ingeniería	Por compartir su enorme conocimiento y exigir siempre la superación personal.
Mis amigos	Por compartir cada reto y aventura en esto que se llama vida.
Mis suegros	Francisca Hernández y Candelario Iboy, como muestra de mi cariño.
Mis sobrinas	Marjorie, Aylin y Alisson Ambrocio, Nicolle y Cristel Godínez, como muestra de mi amor.
Mi familia	Por ser el pilar que me alienta a ser mejor cada día.
Mis hermanos	Allan Alonzo, Mirna Judith y Angie Amanda Ambrocio García y Susana Esmeralda Ambrocio Melgar, como muestra de mi amor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Residuos sólidos	1
1.1.1. Residuos orgánicos	3
1.1.2. Residuos inorgánicos	3
1.2. Características y usos de los diferentes tipos de residuos sólidos	4
1.2.1. Residuos orgánicos	6
1.2.2. Residuos inorgánicos	9
1.3. Origen y ubicación del principal botadero de basura de los alrededores del sector en estudio.....	15
1.4. Generación de los residuos sólidos.....	18
1.5. Propiedades y características de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.....	20
1.5.1. Humedad	20
1.5.2. Densidad	21
1.5.3. Poder calorífico.....	22
1.5.4. Propiedades químicas	24
1.5.5. El poder calorífico	24

1.5.6.	Peso específico y densidad de los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos	24
1.5.7.	Granulometría	25
2.	MARCO LEGAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN GUATEMALA.....	27
2.1.	Constitución Política de la República de Guatemala (1985)	27
2.2.	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios, Acuerdo Gubernativo No. 509-2001.....	28
2.3.	Legislación Municipal	30
2.4.	Código Civil	31
2.5.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Decreto 68-86	32
2.6.	Código Municipal.....	33
3.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	35
3.1.	Macrolocalización (ubicación geográfica).....	35
3.2.	Microlocalización	36
3.2.1.	Demografía.....	39
4.	CÁLCULO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS	41
4.1.	Situación actual de los desechos sólidos	41
4.1.1.	Recolección.....	42
4.1.2.	Manejo y transporte.....	43
4.1.3.	Disposición final	43
4.2.	Cálculo del número de muestras o viviendas a evaluar	45
4.3.	Procedimiento para recolección de datos y muestreo.....	47

4.4.	Composición de los residuos sólidos en peso, volumen y porcentaje.....	50
4.5.	Cálculo de la densidad de los residuos sólidos	52
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA	65
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Residuos plásticos	5
2.	Recorrido recolector de camión de basura.....	16
3.	Basurero de la zona 3	18
4.	Mapa de localización del municipio de Santa Catarina Pinula	36
5.	Mapa de ubicación de la aldea El Pajón	37
6.	Ubicación del cementerio El Pajón y salón de usos múltiples.....	38
7.	Ciclo de manejo de desechos sólidos para la aldea El Pajón	42
8.	Situación actual de la recolección	43
9.	Disposición final	44
10.	Identificación de ruta entre aldea El Pajón, Santa Catarina Pinula y Basurero de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.....	44
11.	Proceso de recolección de basura	49
12.	Método del cuarteo.....	51
13.	Cuarteo de muestra.....	51
14.	Instrumentos utilizados.....	52
15.	Peso compactado	53
16.	Promedio de desechos producidos por vivienda durante los 6 días de muestreo	55
17.	Promedio de desechos producidos por día	56
18.	Clasificación de residuos sólidos por medio del método del cuarteo ...	57
19.	Volumen de residuos sólidos	58
20.	Densidad de residuos sólidos	59
21.	Producción promedio <i>per cápita</i>	60

TABLAS

I.	Porcentaje aproximado de las aplicación de las 4R´s.....	5
II.	Producción total de residuos.....	19
III.	Generación de residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Guatemala en toneladas métricas	20
IV.	Estimación de población	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Cal/gr, kcal/kg, BTU/lb	Calor específico
°C	Grados Centígrados
Wi/Hv	Humedad
Kg	Kilogramo
Kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día
Kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
P	Peso
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
%	Porcentaje

GLOSARIO

AMSA	Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán.
Área de influencia directa	Es el territorio donde potencialmente se manifiestan los impactos de la obra vial sobre la totalidad del medio ambiente o sobre alguno de sus componentes naturales, sociales o económicos.
Área de influencia indirecta	Los centros poblados que se encuentran conectados con la vía a través de una carretera, camino secundario o ramal.
Basura	Es todo material considerado como desecho y que se necesita eliminar. Un producto de las actividades humanas al cual se le considera de valor igual a cero por el desechado. No necesariamente debe ser odorífica, repugnante e indeseable; depende de su origen y composición.
Bioplástico	Producto derivado del aceite de soja, el maíz o la fécula de patata, a diferencia de los plásticos convencionales derivados del petróleo.
Botadero	Lugar donde se amontonan o arrojan desechos.

Caracterización	Acción o efecto de ordenar o disponer por clases.
Compostaje	Material que se genera a partir de la descomposición de los residuos sólidos orgánicos y sirve como estabilizador del suelo agrícola, parques, jardines y recuperación de tierras no fértiles.
CONADES	Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Desecho sólido	Es el conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico sin utilidad práctica o valor comercial para la persona o actividad que los genera.
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Peso	El peso de un determinado cuerpo se calcula a partir de la multiplicación entre la masa y la aceleración de la gravedad.

Pet	Materia prima plástica derivada del petróleo. El polietileno tereftalato es un polímero formado por la combinación de dos monómeros, el glicol etileno modificado y el ácido tereftalato.
Policondensación	Proceso de polimerización donde distintas sustancias reaccionan para crear uno o más monómeros, los cuales se formarán entre sí para formar un dímero, que por reacción con otros monómeros o dímeros darán lugar al correspondiente polímero.
PPC	Producción <i>per cápita</i> o por habitante
RCD Relleno sanitario	Residuos de Construcción y Demolición Espacio donde se depositan los residuos sólidos de una ciudad después de haber recibido determinados tratamientos para evitar contaminación.
Residuo sólido orgánico	Son los desechos sólidos que pueden fermentarse: cáscaras de fruta, estiércol, malezas, entre otros.
RSD	Residuos Sólidos Domiciliares.
Segregación	Acción o efecto de segregación: separar, marginar o apartar algo, a partir de características definidas con anticipación.

Tara	Peso del recipiente o vehículo en donde se contiene o transporta alguna mercancía.
<i>Tetrabrik</i>	Envase de cartón opaco impermeabilizado con aluminio, generalmente con forma de tetraedro, que se usa para envasar líquidos.
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala.
Volumen	Espacio que ocupa un cuerpo.

RESUMEN

La migración en busca de mejores oportunidades, el desmedido crecimiento poblacional y la poca cultura de clasificación y reciclado de desechos sólidos domiciliarios de la sociedad guatemalteca han creado un caos en el manejo de los desechos sólidos por el cual, en la actualidad, a pesar de ser un problema serio a nivel nacional, poco o nada se hace para resolverlo.

Por tal razón, este trabajo de graduación constituye una herramienta valiosa para enfrentar el problema de fondo, cuantificando la producción de desechos sólidos domiciliarios, lo cual permite dimensionar físicamente los procesos de producción, traslado y tratamiento, permitiendo tomar decisiones acertadas.

En el presente trabajo de graduación se presentan las técnicas utilizadas para la caracterización física de los desechos sólidos de carácter residencial, con el objetivo de obtener datos importantes como la composición física (peso, volumen y densidad) y sus porcentajes en función de su segregación (orgánicos, inorgánicos, papel, vidrio y otros). Estos datos son de suma importancia para el manejo, traslado y su disposición; además, se obtiene la producción *per cápita*, lo que puede generar proyecciones de producción de desechos sólidos y con ello crear un plan estratégico bien fundamentado para su correcta aplicación. Se presenta como caso de estudio la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula.

En el primer capítulo se presentan definiciones generales sobre los residuos sólidos, en el segundo capítulo se discute el marco legal existente

sobre el tema, el tercer capítulo describe el área de influencia directa del caso de estudio en aldea El Pajón. El cuarto capítulo trata el análisis cuantitativo que conlleva un estudio de desechos sólidos. El quinto capítulo muestra con más detalle la parte práctica del estudio, la cual se realizó durante 17 días (2 semanas) del mes de abril de 2018. Finalmente, en el capítulo 5 se realiza un análisis estadístico de los resultados encontrados en el capítulo anterior.

OBJETIVOS

General

Caracterizar los desechos sólidos domiciliarios de aldea el Pajón, Santa Catarina Pinula.

Específicos

1. Determinar la cantidad y los tipos de desechos sólidos residenciales de la zona en estudio.
2. Determinar la producción *per cápita* y la densidad de los desechos sólidos en la zona en estudio.
3. Generar una caracterización adecuada para la toma de decisiones futuras de las autoridades competentes.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento apresurado y descontrolado de las ciudades de países en vías de desarrollo, como el caso de Guatemala y su área metropolitana, el crecimiento económico de la población o su carencia, la migración local, la falta de cultura y educación, la carencia de programas de concientización, la falta de información confiable y muchos otros factores, han creado un problema serio en el manejo de los desechos sólidos de carácter residencial, el cual genera problemas de salud en la población y un daño que, si no es tratado de forma integral, puede ser irreparable para el ambiente.

Para coadyuvar y ser parte del cambio en beneficio del ambiente se realiza la caracterización de los desechos sólidos residenciales de la aldea El Pajón, Santa Catarina Pinula. Se busca generar información sólida, confiable y precisa de los desechos sólidos generados en esta zona, lo cual determinará la composición física y el manejo actual y los pesos específicos de los residuos, con el fin de brindar a las autoridades competentes en el tema datos importantes para la toma de decisiones para la ejecución de planes o proyectos para atender este problema.

En los capítulos 1 y 2 se describen todos los conceptos básicos y el marco legal que sustenta este documento. El capítulo 3 presenta el área de estudio en aldea El Pajón. En los capítulos 4 y 5 se describen y muestran los procedimientos, realizados los cálculos y el análisis de resultados de los mismos. Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Residuos sólidos

Se define por residuo sólido a todo material que se desecha después de haber realizado un trabajo o cumplido con su misión. Se trata, por lo tanto, de algo inservible que se convierte en basura y que, para el común de la gente, no tiene valor económico. No necesariamente son odoríficos o repugnantes, depende de su composición y su origen. Existen diversas formas de clasificar residuos, por ejemplo:

- La actividad que les da origen
- Por su composición

Según Duarte (2008), en la obra *Caracterización de los desechos sólidos*, hay una clasificación básica de desechos por actividad, consistiendo en:

- Residuos municipales: la generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población.
- Residuos industriales: la cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

- Residuos mineros: incluyen los materiales removidos para obtener acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros.
- Residuos hospitalarios: su composición varía desde el residuo tipo residencial y comercial a los de tipo médico con sustancias peligrosas.
- Residuos domésticos: los producidos a raíz de la actividad en los hogares. Una de las principales utilidades de la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios es la de reducir a su mínima expresión los desechos enviados a los botaderos de basura; dichos esfuerzos tendrán que incluir el reciclaje para convertirlos y/o transformarlos en energía y abono. Estos restos están compuestos por diferentes tipos de materiales: restos de alimentos, papeles, cartones, plásticos, vidrios, metales y otros; también, en muchos casos, los residuos domiciliarios contienen desechos tóxicos y peligrosos: baterías, medicamentos e insecticidas.
- Principales tipos de residuos sólidos

Los residuos sólidos pueden ser clasificados en dos grandes grupos básicos con base en la presencia de carbono en su composición, residuos orgánicos e inorgánicos, lo cual es determinante en los ciclos naturales de la materia. Los primeros serán reintegrados más fácilmente al entorno que los segundos.

En las siguientes secciones se presentan más detalles de estos dos grupos de desecho.

1.1.1. Residuos orgánicos

Son todos los residuos de origen biológico, son biodegradables (se descomponen naturalmente), degradándose rápidamente, en un máximo de 10 a 30 años. Entre los mismos se pueden encontrar:

- Residuos de alimentos
- Residuos de poda y de jardinería
- Restos de animales
- Residuos de maderas

1.1.2. Residuos inorgánicos

Los desechos de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural; por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. Los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos generalmente se reciclan a través de métodos artificiales y mecánicos; en muchos casos es imposible su transformación o reciclaje, por eso seguirán presentes en el planeta dentro de 500 años, algunos son peligrosos y contaminantes, entre estos se pueden encontrar:

- Residuos de plásticos
- Residuos de botellas de vidrio
- Residuos de envases *tetrabrik*
- Residuos de escombros
- Residuos de muebles y electrodomésticos
- Residuos de metales en general
- Residuos de ropa vieja

- Residuos de neumáticos.¹

1.2. Características y usos de los diferentes tipos de residuos sólidos

La identificación de la composición de los desechos facilita la toma de decisiones sobre su traslado y tratamiento. A continuación se describen las características y posibles tratamientos a considerar para los dos grandes grupos de desechos orgánicos e inorgánicos.

Sobre los tratamientos es importante considerar la técnica de las 4Rs: reducir, reusar, reparar y reciclar. Para poder aplicar esta técnica será necesario realizar las siguientes actividades:

- Identificación y ubicación de las fuentes de generación de desechos sólidos.
- Identificación y ubicación de los lugares de almacenamiento de los desechos sólidos.
- Identificación de la forma de la recolección de los desechos sólidos.
- Identificación de la forma de traslado de los desechos sólidos.
- Identificación de las formas de tratamiento de los desechos sólidos.
- Identificación y ubicación de la disposición de los desechos sólidos.²

Porcentaje aproximado de las aplicaciones de las 4R's:

¹ DUARTE DÍAZ, Felipe Andrés. *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, departamento de El Progreso*. 2008.

² SAKURAI, K. *Manual de instrucción, observación y elaboración propia en campo durante los procesos de toma de muestras*. 1981. p. 58

Tabla I. **Porcentaje aproximado de las aplicación de las 4R´s**

	Reciclaje	Reuso	Reducir	Reparar
Recursos humanos (100 %)	20 %	10 %	10 %	10 %
Recursos físicos (100 %)	50 %	10 %	10 %	15 %
Energía (100 %)	50 %	10 %	10 %	10 %

Fuente: SAKURAI, K. *Módulo: análisis de residuos sólidos*. Manual de instrucción. 1981. 58 págs. /Observación y elaboración propia en campo durante los procesos de toma de muestras.

Figura 1. **Residuos plásticos**



Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Residuos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos son parte fundamental de la estructura epidemiológica y bacteriológica de cualquier población debido a su alta incidencia de enfermedades, ya que en estos encuentran su hábitat ideal moscas, cucarachas, ratas y otros vectores, donde encuentran alimento, vivienda y condiciones idóneas para proliferarse. Los materiales de residuos orgánicos con restos de alimentos, poda, jardinería, huesos de animales, pueden ser tratados y transformados en:

- Compostaje

Es el producto que se obtiene de compuestos que forman o formaron parte de seres vivos en un conjunto de productos de origen animal y vegetal. Se forma cuando son depositados en un sistema de digestión para controlar el proceso biológico de descomposición de la materia orgánica y matar agentes patógenos.

- Biogás

Es un gas combustible que se genera en medios naturales, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, es decir, en un ambiente anaerobio. El resultado es una mezcla constituida por metano, dióxido de carbono y pequeñas partes de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, entre otros usos.

- Residuos de maderas

Este tipo de residuos sólidos domiciliarios son los provenientes de los árboles, estos son de los recursos naturales renovables de los que se extrae la madera. La madera es una de las materias primas principales y esenciales en la fabricación de muchos productos: papel, envases, embalajes, muebles, materiales de construcción y otros. La utilidad de estos productos en la industria transformadora y en los comercios y hogares genera residuos, también son considerados residuos de madera los que se generan en las podas y talas de jardines, bosques y plantaciones.

La producción de madera presenta una tendencia clara al crecimiento, por tal motivo está la necesidad de optimizar su utilización, sacando el mayor provecho posible de los residuos. La madera incluida en los residuos sólidos domiciliarios no se logra recuperar de forma individual, estos restos logran aportar energía en el caso de la incineración.

Uno de los principales destinos de los residuos sólidos domiciliarios de madera es su reciclaje, mediante su empleo para la industria como materia prima en una gran parte de sus procesos. Este proceso consiste en la separación de otros materiales, incluidos los que son considerados impurezas: grapas, plásticos, papeles y otros.

La depuración del material suele realizarse de forma manual, posteriormente sigue un triturado y astillado de la madera. La granulometría del astillado suele ser en torno a los 40 mm - 50 mm, la principal aplicación de la madera astillada es la fabricación de tablero aglomerado. La industria utiliza entre un 60 % a 80 % de su materia prima secundaria (reciclada), procedente del astillado como consecuencia de los altos costos de la materia prima virgen;

el tablero aglomerado se puede emplear en la fabricación de muebles para cocinas, en el sector de la construcción (suelos, encofrados, cielos falsos, base de cubiertas y otros) y en la carpintería industrial (puertas), entre otros usos.

Otros residuos sólidos domiciliarios generados por el uso de la madera como el aserrín, cortezas, restos de matorrales no pueden ser reciclados y son aprovechados como combustible. El residuo generado en esta valorización energética consiste en ceniza de madera aprovechable para usos agrícolas.³

- Bioplásticos

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables.
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente.

Los principales puntos de interés en cuanto a aplicaciones de los bioplásticos, de acuerdo con la IBAW (Asociación Internacional y Grupo de Trabajo de Polímeros Biodegradables), se centran en sectores específicos de empaque, medicina, agricultura y productos desechables. Debido al avance de

³ DUARTE DÍAZ, Felipe Andrés. *Caracterización de los desechos sólidos del municipio de San Antonio La Paz, departamento de El Progreso*. 2008.

la industria, en general, se han ampliado sus utilidades aplicándolos también en: teléfonos celulares, computadores, dispositivos de audio y video.

De acuerdo con esta información, el 10 % de los plásticos que actualmente se emplean en la industria electrónica pueden ser reemplazados por biopolímeros, según se hace referencia en un documento de investigación de Beatriz Cordovilla, *Determinación del consumo de envases plásticos para Delivery con la propuesta de creación de una planta procesadora en la ciudad de Milagro.*⁴

1.2.2. Residuos inorgánicos

Este tipo de residuos sólidos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Residuos de plástico

Los plásticos se han fabricado para satisfacer las demandas de una gran variedad de usos, en el mejoramiento de las condiciones de la vida del ser humano y en el acelerado crecimiento de la ciencia y la tecnología; en general, las personas tienen muy poco conocimiento sobre el plástico, cómo se obtiene, los tipos y sus aplicaciones y sus procesos de transformación.

El plástico se produce a partir del ácido tereftálico y etilenglicol, por policondensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se lo debe postcondensar, existen diversos colores para estos usos.

⁴ SAKURAI, K. *Manual de instrucción, observación y elaboración propia en campo durante los procesos de toma de muestras.* 1981. p. 58

Los usos más cotidianos son: envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, frascos varios, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera en productos alimenticios, envases al vacío, bolsas para horno, bandejas para microondas, cintas de video y audio, geotextiles, películas radiográficas, entre otros.

Con respecto al aspecto financiero del reciclaje, un proceso adecuado y bien planificado es capaz de generar ingresos atractivos. Por lo antes mencionado, se hace ineludible mejorar y establecer nuevas tecnologías en cuanto a los procesos de recuperación de plásticos y buscar solución a esta problemática tan nociva para el ambiente y que se encuentra a diario en deterioro.

El reciclado mecánico consiste en un proceso físico en que el plástico, luego de ser utilizado en procesos industriales, se vuelve a poner en circulación para su reutilización. Este proceso de reciclado es el más usado actualmente.

Existen dos fuentes para la obtención de residuos plásticos:

- RSU: plásticos obtenidos de residuos sólidos urbanos.
- SCRAP: residuos plásticos sobrantes de procesos industriales. Su proceso de reciclaje es más simple debido a que su composición está en estado puro y homogéneo, ya que no posee más tipos plásticos.

Existen tres tipos de clasificación de residuos plásticos, según su grado de organización:

- Residuos simples: plásticos previamente diferenciados por tipos.
- Residuos mixtos: varios tipos de plásticos mezclados.

- Residuos mixtos combinados con otros residuos: varios tipos de plásticos mezclados y combinados con otros residuos como metal, papel y cartón, previamente diferenciados por tipos.
- Vidrio

En la fabricación del vidrio se utiliza silicio que le da resistencia al carbonato de calcio y que le proporciona durabilidad. En el reciclaje del vidrio se utiliza como materia prima la calcina o vidrio desecho. Su fusión se consigue a temperaturas mucho más reducidas que las de la fusión de minerales, por lo tanto existe un ahorro energético muy considerable.

El reciclaje del vidrio es el proceso mediante el cual se convierte desechos de vidrio en materiales que servirán para la creación de nuevos productos. Este reciclaje permite reducir la cantidad de residuos que luego se llevan al vertedero, lo que supone un ahorro tanto de materias primas como de energía respecto a la fabricación de vidrio a partir de materias primas nuevas.

Según estudios efectuados por CONADES (Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos), mencionado en el estudio realizado por el Ing. Juan Carlos Chiapas, Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el condominio residencial El Frutal 1, zona 5 de Villa Nueva, cada persona produce aproximadamente 37 kg de vidrio al año; los beneficios ambientales que conllevaría su reciclaje serían de gran aporte en la disminución de los residuos sólidos domiciliarios, como factor contaminante del medio ambiente y un notable ahorro de los recursos naturales, ya que cada kilogramo de vidrio que se recolecta sustituye en la práctica a 1,2 kilogramos de vidrio virgen.

El reciclaje consiste en que este tipo de residuos sólidos domiciliarios se deben lavar para desechar los contaminantes, si existiesen. Realizado esto, el vidrio se procesa por fundición a grandes temperaturas para, luego, formar de esta manera nuevos envases y una gran variedad de objetos de adorno. Este material es uno de los más apetecibles para los recolectores, ya que la inversión física y económica es de bajos parámetros y se podrá obtener, a cambio, una remuneración económica atractiva.

- Residuos de envases *tetrabrik*

Su comercialización inicia en 1963, son envases formados de varios materiales: lámina de cartón, otra de aluminio y otra de plástico. Una de las grandes ventajas que ofrece al consumidor es su gran ligereza y su capacidad de conservación de los alimentos en condiciones adecuadas.

Se fabrican a partir del papel-cartón sobre el que se imprime el diseño comercial del cliente. Posteriormente, se laminan con papel de aluminio y por último un film de polietileno. A partir de los rollos así obtenidos se procede en las plantas a fabricar los envases.

De este tipo de residuos sólidos domiciliarios en su recuperación del papel, cartón, plástico y aluminio, se pueden obtener planchas de aglomerado que se pueden utilizar para la confección de distintos muebles en general, previo a la separación química del aluminio.

- Residuos de escombros

Este tipo de residuos domiciliarios por sus características de origen solo son utilizados en rellenos de terrenos por su misma consistencia a la

compresión. El sector de la construcción y demolición es una de las actividades que más residuos sólidos domiciliarios de escombros genera, pero a pesar del gran volumen producido y del reconocido potencial de reutilización de este tipo de desechos, la mayor parte es llevada a vertederos. Este es el método más empleado para la evacuación de los escombros de la industria de la construcción.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) se generan en las actividades propias de construcción, remodelación, rehabilitación, reforma y demolición o derribo de casas o infraestructuras, incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria. Suponen un componente muy importante en los flujos de residuos locales y regionales debido a los grandes volúmenes generados.

- Residuos de papeles y cartones

El consumo de papel y de cartón ha venido en crecimiento exponencial a nivel mundial, son un factor fundamental la cultura y costumbres de cada población; los beneficios del reciclaje son de gran aporte para la conservación del medio ambiente. Entre sus principales beneficios se pueden encontrar:

- Disminución de la necesidad de fibras vegetales y vírgenes.
- Disminución del volumen de residuos sólidos domiciliarios.
- Disminución de la contaminación atmosférica y de los mantos freáticos.
- Disminución de la tala inmoderada de árboles.

El papel reciclado se fabrica sin utilizar cloro en su proceso de blanqueado de la pasta. Puede obtenerse papel ecológico a partir de papel reciclado, que garantiza la mínima utilización de productos químicos y la depuración de las

aguas residuales. Se considera un papel reciclado para escritura e impresión el que como mínimo tiene un 90 %, en peso, de fibras de recuperación.

El papel reciclable no se debe mezclar con papel sucio, pañuelos desechables, papel de aluminio, papel de fax, papel engomado, plastificado, encerado y otros. La fase de separación de la tinta se lleva a cabo mediante la adición de un jabón biodegradable y la inyección de aire para crear burbujas a las que se adhiere la tinta, la cual se concentra y se transporta a un centro de tratamiento. El rendimiento del papel viejo es alto, un 90 % aproximadamente, frente al 50 % del rendimiento celulósico de la madera.

- Residuos de muebles y electrodomésticos

Este tipo de residuos sólidos domiciliarios no se reciclan, por lo que se les denomina muertos. Por lo tanto, se necesita una gestión adecuada cuando dejen de ser útiles.

En varios países, los residuos sólidos domiciliarios especiales son los que requieren de un tratamiento específico, por ende, no se deben mezclar con ninguno de los otros residuos sólidos domésticos ordinarios, ya que podrían actuar muy negativamente en el medio ambiente.

Los clorofluorocarburos, conocidos como CFC, son los principales responsables de que los refrigeradores y otros aparatos de refrigeración, que también los contienen, deban considerarse como residuos especiales.

Si los CFC (clorofluorocarburos) se liberan a la atmósfera ayudan a apresurar la destrucción de la capa de ozono, que filtra la radiación solar, de manera que una parte importante de los rayos ultravioleta son absorbidos y no

llegan a la superficie terrestre; cuando el grosor de la capa de ozono disminuye, se produce un aumento de la radiación ultravioleta que la atraviesa.

- Residuos de metales en general

Este tipo de residuos sólidos domiciliarios de metales se recuperan en su mayor parte en el sector informal por chatarreros y pepenadores y no existen datos sobre las cantidades de productos manejados. En este apartado se dará especial importancia a los metales más comerciales:

- Acero
- Aluminio

1.3. Origen y ubicación del principal botadero de basura de los alrededores del sector en estudio

Actualmente se han identificado 250 sitios en donde se deposita ilegalmente la basura, en 75 de estos sitios (30 %) se recoge más de un metro cúbico de basura diariamente.

Para erradicar estos sitios, por ejemplo, el personal del Departamento de Limpieza de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala, trabaja en la recolección de estos desechos y en su traslado al botadero de basura de la zona 3.

Por el área de estudio, el botadero autorizado es de importancia para el proyecto, está ubicado en la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.

En el caso de la aldea El Pajón, el servicio de recolección de desechos traslada los mismos al basurero de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala, el mismo está a 24 kilómetros de distancia.

El terreno donde se sitúa un botadero de basura municipal autorizado deberá cumplir algunas condiciones tales como:

- Estar lejos de cualquier edificio habitado
- Lejos de terrenos cultivables

Figura 2. **Recorrido recolector de camión de basura**



Fuente: elaboración propia.

- Botadero de basura de la zona 3

Este botadero de residuos sólidos (conocido como el relleno sanitario) durante casi 50 años ha sido el destino final de los desechos o residuos producidos por los habitantes del municipio de Guatemala y sus alrededores. En este basurero viven y trabajan familias que se encuentran bajo condiciones de extrema pobreza, que sobreviven con lo que la sociedad desecha.

El basurero atiende a la mayoría de municipios del área metropolitana, sin que contribuyan para su operatividad; son la municipalidad capitalina y los aportes de empresas privadas, como la encargada de la recolección, y los usuarios finales del botadero, los que sufragan el costo de operación; aproximadamente, el 53 % de la basura proviene de otros municipios (como es el caso de Santa Catarina Pinula).

Según la Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos (CONADES), más de dos mil familias viven de los desechos que reciclan del basurero de la zona 3, adonde llega el 60 % de los desperdicios del departamento de Guatemala. El país produce medio kilogramo de basura por habitante, es decir, 6 500,00 toneladas cada año.

Es decir, unas 1 950,00 toneladas llegan cada año al botadero de la zona 3. Pese a ello, se aprovecha solo el 25 % de los desechos que pueden ser reciclados.

Figura 3. **Basurero de la zona 3**



Fuente: *Botadero de la zona 3*. <http://kaitlynklug.blogspot.com/>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

1.4. Generación de los residuos sólidos

La producción de residuos sólidos domésticos es una variable dependiente básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas. Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada producción *per cápita* (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; la unidad de expresión es el kilogramo por habitante por día (Kg/hab/día).

La estimación teórica de producción *per cápita* (PPC) es un parámetro que evoluciona en la medida que los elementos que la definen varían; en términos generales, la PPC varía de una población a otra, de acuerdo principalmente a su grado de urbanización, su densidad poblacional y su nivel de consumo o nivel socioeconómico. Otros elementos, como los períodos estacionales y las actividades predominantes, también afectan la PPC. Es posible efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión:

Tabla II. **Producción total de residuos**

$$P_R = \frac{N_V * N_J * C_P * D_N}{POBLACION}$$

Donde:

P_R = Producción total de residuos sólidos por día

N_V = Número de vehículos en operación

N_J = Número de viajes por vehículos

C_P = Capacidad útil estimada por vehículo en m^3

D_N = Densidad de los residuos en el vehículo

Fuente: *El papel de los residuos sólidos en la solución de problemas ambientales.*

<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

Otra alternativa estimativa es comparar con municipios, comunidades, condominios o colonias de situaciones socioeconómicas similares de las cuales se disponga información fidedigna.

La cantidad y calidad de los residuos sólidos domiciliarios puede variar en forma significativa a través del año. Comúnmente, en climas templados, la cantidad media diaria, semanal y mensual de residuos está sobre la media anual durante los meses de verano. Esto es atribuible, en parte, al aumento de la basura orgánica (por hábitos y disponibilidad para consumo), además de a las probables actividades de mejoramiento urbano comúnmente realizadas en esta época.

Hay lugares donde la actividad de mejoramiento durante los meses de temporada de vacaciones puede aumentar la media anual, porque aumenta la proporción de residuos domésticos y comerciales, como Guatemala, donde

para Semana Santa y Navidad se eleva el nivel de basura generada por habitante.

En el Perfil Ambiental de Guatemala 2010 – 2012 (IARNA-URL), se presentaron estimaciones sobre la generación de desechos sólidos domiciliarios con el uso de las proyecciones de población por municipio y departamentos.

Tabla III. Generación de residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Guatemala en toneladas métricas

Generación de desechos sólidos en el departamento de Guatemala	Población	Generación	
		Ton por día	Ton por mes
	3 207 687,00	1 678,38	18 940,32

Fuente: elaboración propia.

1.5. Propiedades y características de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos

Entre sus principales propiedades y características se encuentran la humedad, densidad y poder calorífico. Las anteriores permiten identificar índices de trabajabilidad y establecer formas de tratamiento óptimo. En las siguientes secciones se describen las mismas.

1.5.1. Humedad

Es una característica importante para los procesos a que puede ser sometida la basura y consiste en establecer el contenido de humedad de los desechos.

Se determina de la siguiente forma: tomar una muestra representativa, de 1 a 2 Kg, se calienta a 80 °C durante 24 horas, se pesa y se expresa en base seca y húmeda.

Cálculo de la humedad en los residuos:

$$Humedad = \frac{Peso_{Inicial} - Peso_{Final}}{Peso_{Inicial}} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Se expresa en porcentaje:

- Si el denominador es $Peso_{Inicial}$, se habla de humedad en base húmeda
- Si el denominador es $Peso_{Final}$, se habla de humedad en base seca⁵

1.5.2. Densidad

La densidad de los residuos sólidos depende de su constitución y humedad; este valor se debe medir para tener un valor real. Se deben distinguir valores en distintas etapas del manejo.

Densidad:

$$densidad = \frac{masa}{volumen} \quad (\text{Ec. 2})$$

⁵ Fortunecity. *El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales*. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>. Consulta: 26 de marzo de 2015.

- Densidad suelta

Generalmente, se asocia con la densidad en el origen. Depende de la composición de los residuos.

- Densidad de transporte

Depende de si el camión es compactador o no y del tipo de residuos transportados.

- Densidad, residuo dispuesto en relleno

Se debe distinguir entre la densidad recién dispuesta, la basura y la densidad después de asentado y estabilizado el relleno sanitario.

1.5.3. Poder calorífico

Esta característica o propiedad de los residuos sólidos domiciliarios se define como la cantidad de calor que puede entregar o transmitir un cuerpo. El poder calorífico es esencial en los procesos de recuperación energética, al igual que el porcentaje de cenizas producido. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior.

El poder calorífico superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) en cambio sí. Se mide en unidades de energía por masa, [cal/gr], [Kcal/kg], [BTU/lb], utilizando un calorímetro.

También se puede conocer a través de un cálculo teórico que busca valores típicos de PC por componentes y se combina con el conocimiento de la composición de los residuos:

Cálculo del poder calorífico:

$$PC = n_0 PC_0 + n_1 PC_1 + \dots + n_n PC_n \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde:

n_i = Porcentaje en peso del componente

PC_i = Poder calorífico del componente i

Ejemplo: PC plástico es de 9 000 (cal/gr), madera 5 000-6 000 (cal/gr)⁶

Otra de las principales propiedades y características de los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos son las propiedades químicas: condicionantes para algunos procesos de recuperación y tratamiento final; la composición química resultante de su conjunto también es muy variable. Es necesario conocer la composición de un residuo concreto para determinar sus características de recuperación energética y la potencialidad de producir fertilizantes, si es orgánico, con la adecuada relación carbono/nitrógeno.

Al igual que los residuos sólidos domiciliarios orgánicos, las principales propiedades y características de los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos son casi similares.

⁶ SAKURAI, K. *Manual de instrucción, observación y elaboración propia en campo durante los procesos de toma de muestras*. 1981. p. 58

1.5.4. Propiedades químicas

Son factores condicionantes para algunos procesos de recuperación y tratamiento final. La composición química es la consecuencia de la enorme variabilidad que experimenta la composición de los residuos sólidos domiciliarios; también es conveniente conocer la presencia y concentración de residuos tóxicos y peligrosos para evaluar el riesgo de su manejo, tratamiento, reprocesado y reutilización.

1.5.5. El poder calorífico

Es esencial en los procesos de recuperación energética al igual que el porcentaje de cenizas producido. Las características calorimétricas de los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos determinan el diseño de las instalaciones y la recuperación energética.

La valoración, fruto de la propia variabilidad de la composición de los residuos, viene predefinida por el poder calorífico de cada producto.

1.5.6. Peso específico y densidad de los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos

Tiene vital importancia para calcular las dimensiones de los recipientes de basura de domicilios privados y vías públicas (calles, avenidas, parques y otras); también es un factor básico que determina los volúmenes de los equipos de recolección y transporte para no exceder la capacidad de los rellenos sanitarios. La densidad puede variar dependiendo del grado de compactación al que se encuentran sometidos los residuos. La reducción de volumen está presente en todas las fases de la gestión de los residuos sólidos domiciliarios y

se emplea para optimizar su proceso de recolección, ya que el gran espacio que ocupan es uno de los mayores problemas a los que se enfrentan las plantas encargadas de su procesamiento.

El peso específico unitario de cada producto no indica que el conjunto tenga un valor global proporcional al de sus componentes. De hecho, en los hogares, estos valores suelen ser superiores debido a los espacios no utilizados del recipiente que contiene la basura. Sin embargo, conforme vayan siendo agrupados de forma más caracterizada (homogénea), se aproximarán al cálculo matemático que da unos valores medios teóricos para residuos sin compactar.

1.5.7. Granulometría

Es el grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes. En los residuos sólidos domiciliarios inorgánicos representa un valor imprescindible para el cálculo de las dimensiones en los procesos mecánicos de separación y, especialmente, para escoger cribas, trómeles y artilugios similares que basan su trabajo, consistente en la separación, en el tamaño.

Estos mismos valores deben ser tomados con sumo cuidado, puesto que en las operaciones de recolección se afecta a las dimensiones como consecuencia de la compresión o de mecanismos trituradores.

2. MARCO LEGAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN GUATEMALA

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

La legislación vigente ha creado múltiples instituciones a las cuales el Estado les ha asignado atribuciones y funciones vinculadas con los recursos naturales. Las instituciones asociadas al tema ambiental se agrupan y dividen en aquellas que se vinculan con el marco jurídico del tema ambiental y las vinculadas con la administración de justicia. En este capítulo se hará una breve descripción de las instituciones cuyas responsabilidades ambientales fueron delegadas por parte del Estado. También se citará textualmente y en forma resumida la legislación vigente hasta la fecha en materia ambiental, la cual está conformada desde la misma Constitución Política de la República de Guatemala, varios acuerdos legislativos, ministeriales, decretos gubernativos, leyes y convenios internacionales.

2.1. Constitución Política de la República de Guatemala (1985)

Actual ley fundamental de Guatemala donde están determinados los derechos de los habitantes de la nación, la forma de su gobierno y la organización de los diferentes poderes públicos.

“Sección Séptima. Salud, Seguridad y Asistencia Social. Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y

tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación”⁷.

2.2. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios, Acuerdo Gubernativo No. 509-2001

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

“Artículo 1. El presente reglamento tiene como finalidad dar cumplimiento a lo preceptuado en el artículo 106 del Código de salud, así como de las disposiciones relativas a la preservación del medio ambiente contenidas en la Ley del Organismo Ejecutivo y la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente en cuanto a las descargas y emisiones al ambiente, concernientes, particularmente al manejo de desechos que comprende la recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los mismos, provenientes de los hospitales públicos o privados, centros de atención médica autónomos o semiautónomos y de atención veterinaria. Los desechos generados por los mataderos o rastros deben manejarse de conformidad con el reglamento que para tal efecto se emita.

Artículo 2. Para dar cumplimiento a leyes indicadas con anterioridad, este reglamento, regula los aspectos relacionados con la generación, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos hospitalarios que por su naturaleza se consideran tóxicos, radiactivos o capaces de diseminar elementos patógenos, sí como los desechos que se producen en las actividades normales de los centros de atención de salud humana o animal, tales como: hospitales

⁷ Asamblea Nacional Constituyente. *Constitución Política de la República de Guatemala*. Guatemala, 1985.

tanto públicos como privados, clínicas, laboratorio y cualquier otro establecimiento de atención en salud y veterinario.

Artículo 3. Definiciones. Para efectos de este reglamento se entenderá por:

a) Empresa de disposición: cualquier entidad pública o privada, individual o jurídica, que se dedique a la recolección, transporte y disposición final de los desechos sólidos infecciosos, químicos peligrosos, farmacéuticos y radiactivos decaídos.

b) Ente generador: se define como ente generador a toda unidad del sector público o privado en donde exista práctica de la medicina humana o veterinaria, incluyendo a las morgues, los laboratorios, así como a todo tipo de centro que con fines de prevención, diagnóstico, recuperación, tratamiento o investigación, produzca desechos sólidos de los incluidos dentro de presente Reglamento.

c) Desecho hospitalario: son los desechos durante el desarrollo de sus actividades por lo entes generadores, tales como hospitales públicos o privados, sanatorios, clínicas, laboratorios, bancos de sangre, centros clínicos, casas de salud, clínicas odontológicas, centros de maternidad y en general, cualquier establecimiento donde se practiquen los niveles de atención humana o veterinaria, con fines de prevención, diagnóstico, tratamiento, recuperación y rehabilitación de la salud.

d) Desecho hospitalario bioinfeccioso: son los desechos generados durante las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunizaciones, investigaciones y otros), y que por lo tanto han entrado en contacto con pacientes humanos o animales y que representan diferentes niveles de peligro potencial, de acuerdo al grado de exposición que han tenido con los agentes infecciosos que provocan las enfermedades.

Artículo 8. Obligación de Incineradores. Los entes generadores, tanto público como privados, quedan obligados de conformidad con las disposiciones del Código de Salud, a adquirir, instalar y mantener en forma individual o conjunta, incineradores para la disposición final de los desechos que produzcan y que sean considerados como infecciosos de conformidad con el presente reglamento, cuyas especificaciones y normas quedarán establecidas de conformidad con lo preceptuado en el capítulo sexto del presente reglamento. Podrán asimismo, contratar los servicios de empresas de disposición que se encuentren debidamente autorizadas por el Departamento de Salud y Ambiente.

Artículo 41. Disposición general. Todo lo referente al régimen de infracciones y sanciones se estará a lo que sobre dicha materia disponen los artículos 216, 217, 218, 219, 220, 221 y 222 del Decreto Número 90-97 del Congreso de la República de Guatemala, Código de salud”⁸.

2.3. Legislación Municipal

Norma jurídica que forma parte de un reglamento y que está subordinada a una ley, con referencia a la Municipalidad de Guatemala y su *Reglamento de manejo de desechos sólidos*, según Acuerdo COM No. 028-2002:

“Artículo 1. El presente reglamento regula el sistema de almacenamiento, limpieza, recolección, transporte, reciclaje y disposición final de los desechos sólidos en el municipio de Guatemala.

Artículo 2. Las disposiciones del presente reglamento son de observancia general para toda la persona individual o jurídica, pública o privada. Es obligación de todo habitante del municipio de Guatemala cumplir y velar porque se cumpla el presente reglamento y todas las disposiciones existentes en materia de medio ambiente.

Artículo 3. Los habitantes del municipio de Guatemala a su costa, están obligados a 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.

⁸ Acuerdo Gubernativo 509-2001 del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios*. Guatemala, 2001.

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.

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 permitan⁹.

2.4. Código Civil

Conjunto de leyes en Guatemala que rigen los vínculos civiles establecidos por personas, tanto físicas como jurídicas, ya sea privadas o públicas.

“Artículo 480. No se puede poner contra una pared medianera que divida dos predios de distinto dueño, ninguna acumulación de basura, tierra, estiércol u otras materias que puedan dañar la salubridad de las personas y la solidez y seguridad de los

⁹ Acuerdo COM 028-2002 de la Municipalidad de Guatemala. *Reglamento de manejo de desechos sólidos*. Guatemala, 2002.

edificios. Tanto en estos casos como en los enunciados en el artículo anterior, a falta de reglamentos generales o locales, se ocurrirá a un juicio pericial.

Artículo 1672. Los propietarios, arrendatarios, poseedores y, en general, las personas que se aprovechan de los bienes responderán igualmente:

1. Por los daños o perjuicios que causen las cosas que arrojen o cayeren de los mismos;

3. Por las emanaciones de cloacas o depósitos de materias infectantes;

5. Por los desagües, acueductos, instalaciones, depósitos de agua, materiales o sustancias que humedezcan o perjudiquen la propiedad del vecino”¹⁰.

2.5. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Decreto 68-86

Mediante esta ley se define que el Estado, las municipalidades y en general todos los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico.

“Artículo 5. La descarga y emisión de contaminantes que afecten a los sistemas y elementos indicados en el artículo 10 de esta ley, debe sujetarse a las normas ajustables a la misma y sus reglamentos.

Artículo 6. (Reformado por el Decreto del Congreso Número 75-91) El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio o desperdicios contaminados del medio ambiente o radioactivos. Aquellos materiales y productos contaminantes que esté prohibida su utilización en su país de origen no podrán ser introducidos en el territorio nacional.

Artículo 8. (Reformado por el Decreto del Congreso Número 1-93) Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje ya los culturales del patrimonio nacional,

¹⁰ Congreso de la República de Guatemala. *Código Civil*. Guatemala, 2002.

será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la comisión del Medio Ambiente. El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este Artículo, será responsable personalmente del incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q5.000.00 a Q100,000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado el negocio será clausurado en tanto no cumpla”¹¹.

También se debe considerar el Título III, *De los sistemas y elementos ambientales*.

2.6. Código Municipal

Formulación común de políticas públicas municipales, planes, programas y proyectos, la ejecución de obras y la prestación eficiente de servicios de sus competencias.

“Artículo 68. Competencias propias del municipio. Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, y son las siguientes:

a) Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios privados; limpieza y ornato; formular y coordinar políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de desechos y residuos sólidos hasta su disposición final”¹².

¹¹ Decreto 68-86 del Congreso de la República de Guatemala. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Guatemala, 1986.

¹² Congreso de la República de Guatemala. *Código Municipal*. Guatemala, 2002

Decreto 1004:

“Artículo 1. Se prohíbe terminantemente mezclar, depositar o lanzar, a las aguas de los ríos, riachuelos, manantiales y lagos, substancias vegetales o químicas, desechos o residuos de la producción agrícola o industrial, o bien plantas o substancias de cualquier especie, tales como citronela, té de limón, nocivas a la pesca, a la ganadería o a la salud de los habientes. Asimismo, se prohíbe usar las letrinas, que, sin ningún dispositivo de depuración o adecuadas filtraciones de un desagüe, se encuentren situadas en los márgenes de los ríos, riachuelos, manantiales y lagos. Las Municipalidades de la República, quedan obligadas a efectuar con la mayor brevedad posible los estudios correspondientes para el tratamiento de las materias residuales de las poblaciones y en especial, de aquellas poblaciones de más de mil habitantes”¹³.

Decreto 33-96. Reformas al decreto 17-73 del Congreso de la República de Guatemala, Código Penal:

“Artículo 347 “A”. Será sancionado con prisión de uno a dos años y multa de trescientos a cinco mil quetzales, el que contaminare el aire, el suelo o las aguas, mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos, vertiendo sustancias peligrosas o desechando productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones. Si la contaminación se produce en forma culposas, se impondrá multa de doscientos a mil quinientos quetzales”¹⁴.

¹³ Decreto 1004 del Congreso de la República de Guatemala. *Código Municipal*. Guatemala, 2002.

¹⁴ Decreto 33-96 del Congreso de la República de Guatemala. *Reformas al Decreto 17-73 del Congreso de la República. Código Penal*. Guatemala, 1996.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Para realizar la caracterización de la aldea El Pajón se establecen las áreas de influencia directa del estudio, así como lo que corresponde a los espacios geográficos afectados por las actividades de manejo de desechos sólidos en el área de influencia indirecta (municipio de Santa Catarina Pinula y Guatemala).

3.1. Macrolocalización (ubicación geográfica)

La segregación de desechos sólidos se realizó en la aldea El Pajón, perteneciente al municipio de Santa Catarina Pinula, parte del Departamento de Guatemala, con un área aproximada de 49,29 km².¹⁵

Su nombre geográfico oficial es Santa Catarina Pinula. La cabecera está al sureste de la capital y tiene varias vías de acceso, las cuales se encuentran a 9 km de la ciudad capital. El banco de marca ubicado en la escuela oficial está a 1 550 metros sobre el nivel del mar, latitud 14° 34' 13"N y longitud 90°29' 45". También tiene caminos, roderas y veredas que enlazan a sus poblados y propietarios rurales entre sí y con los municipios vecinos.¹⁶ Colinda con los siguientes municipios:

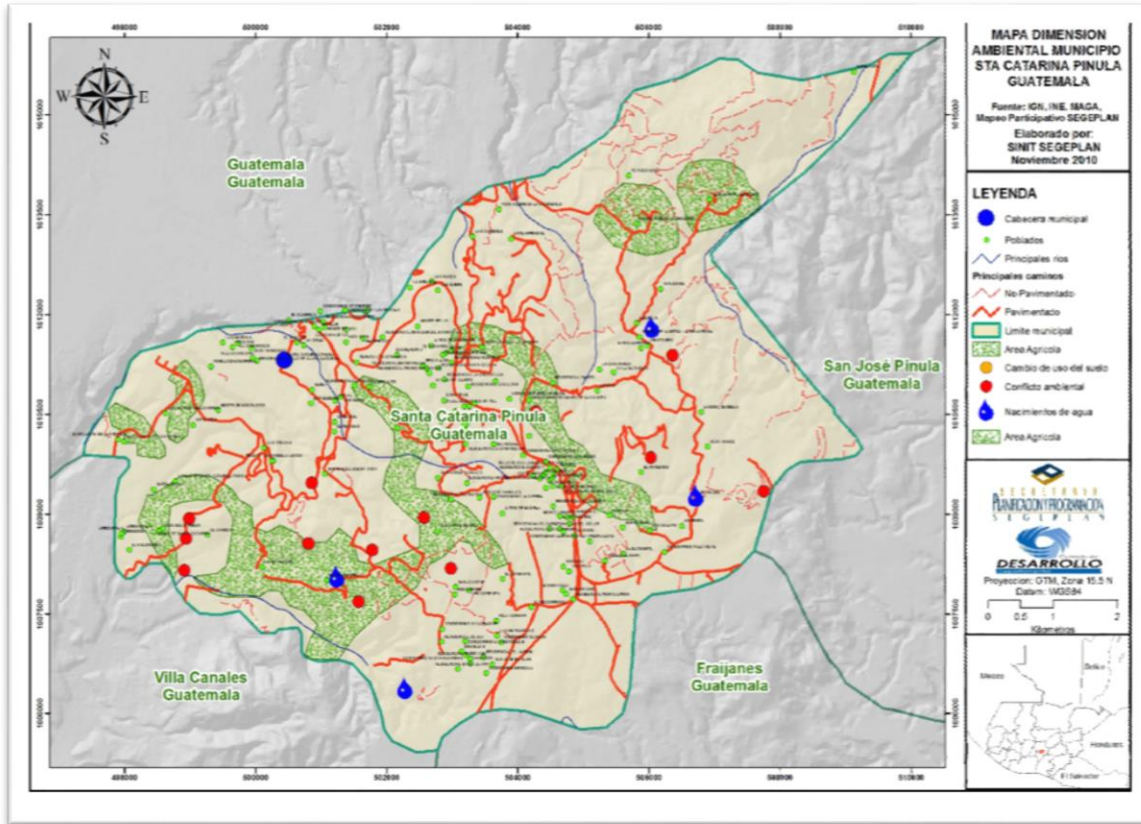
- Al norte con Guatemala (Guatemala)
- Al este con San José Pinula y Fraijanes (Guatemala)
- Al sur con Fraijanes y Villa Canales (Guatemala)

¹⁵ Instituto Nacional de Estadística. *Área del Municipio de Santa Catarina Pinula*. 2002.

¹⁶ DGN. *Información sobre Santa Catarina Pinula*. 1981.

- Al oeste con Villa Canales y Guatemala

Figura 4. **Mapa de localización del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: SEGEPLAN. *Mapa de Santa Catarina Pinula*. Consulta: septiembre de 2018.

3.2. Microlocalización

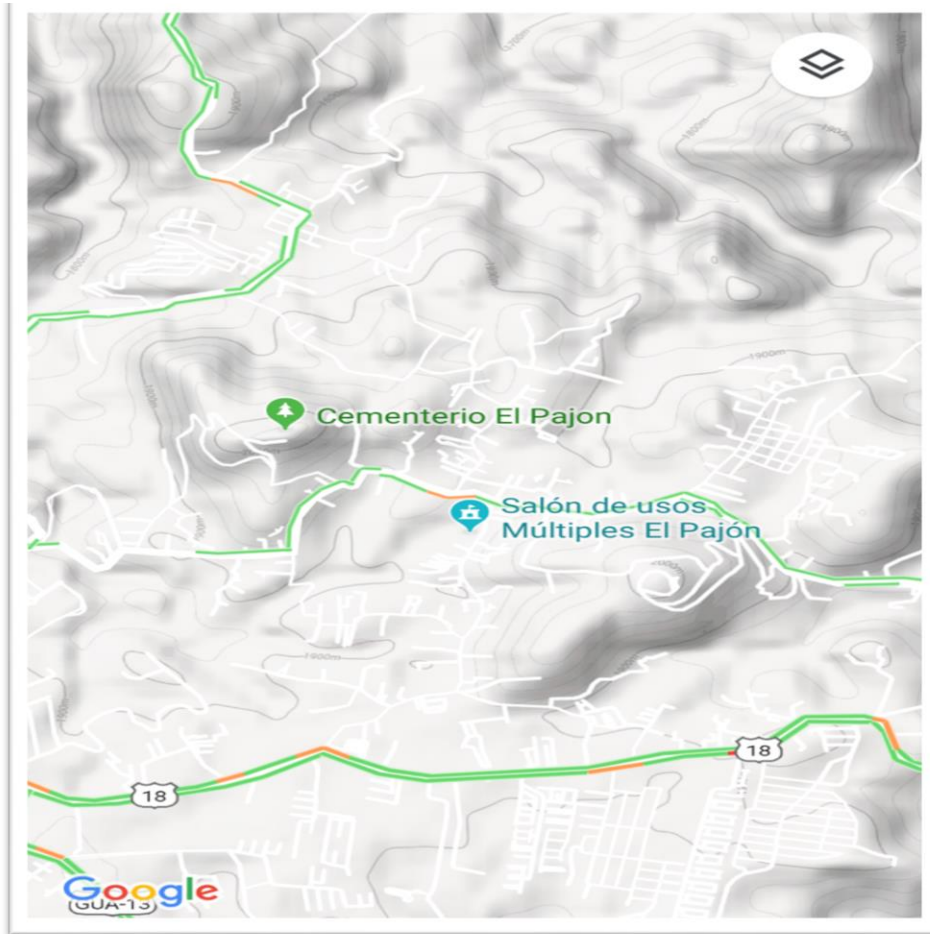
Aldea el Pajón tiene aproximadamente 20 612 habitantes. En ella se ubica un centro de salud que atiende 3 aldeas, que son Manzano La Libertad, Laguna Bermeja y aldea El Pajón. También cuenta con un salón de usos múltiples y un cementerio, según la Municipalidad de Santa Catarina Pinula en 2018). Ver figuras 5 y 6:

Figura 5. **Mapa de ubicación de la aldea El Pajón**



Fuente: Google Earth. Consulta: septiembre de 2018.

Figura 6. **Ubicación del cementerio El Pajón y salón de usos múltiples**



Fuente: Google Earth. Consulta: septiembre de 2018.

En la zona se ubican importantes lugares donde se pueden generar distintos tipos de desechos sólidos, pero en esta investigación no serán tomados en cuenta porque se limita a desechos sólidos domiciliarios.

- Centros religiosos: Parroquia San Mateo Apóstol y una cantidad aproximada de 30 iglesias pequeñas de la religión cristiana evangélica.

- Centros educativos: Escuela Oficial Rural Mixta No. 815 y Colegio Mixto Concepción.
- Sitios importantes: Mini Muni.

Los accesos a la aldea El Pajón son muy amplios ya que cuenta con calles de 9 metros de ancho recubiertas con una capa asfáltica en algunas calles y el resto con recubiertas de concreto hidráulico. Las principales calles de la aldea el Pajón son Ocales y Cuatro Caminos por donde circulan la mayoría de vehículos, con una carga vehicular aproximada de 20 vehículos por hora, en los momentos de menor circulación, y de 50 vehículos por hora en la de mayor circulación.

3.2.1. Demografía

Según datos generales de la población de Santa Catarina Pinula, se tiene una estimación para el año 2010 de 85,292 habitantes, según el INE en su proyección del año 2010, con base en el censo de 2002.

Tabla IV. Estimación de población

Estimación de crecimiento poblacional, vivienda y familia de la aldea el Pajón, Ciudad de Guatemala					
Por Género	2002				
		2004	2006	2008	2010
Femenino	34,758	37,001	39,166	41,171	43,479
Masculino	32,937	35,239	37,476	39,604	41,813
	67,695	72,240	76,642	80,775	85,292

Fuente: INE. 2002.

4. CÁLCULO Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS

Una vez identificada el área de influencia y la información básica correspondiente a la aldea El Pajón, se inicia con el trabajo de recolección de información de campo.

4.1. Situación actual de los desechos sólidos

Con base en los registros del Censo 2002 y datos de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, se contabilizan 4 680 viviendas, de las cuales el 88,03 % de la población ocupa el sistema de recolección de basura privado-municipal, es decir, un aproximado de 4 120 viviendas; el resto de las viviendas utiliza otros métodos como incineración en patios o servicios de recolección clandestina.

Con base en el Ciclo Básico de Manejo de Desechos Sólidos (tratado en el capítulo 1 de este documento), se presenta la descripción de las actividades de recolección y transporte en el área de influencia directa.

En el caso de estudio tratado, también se pueden identificar actividades de pseudotratamiento, lo cual obedece a una segregación primaria por parte de individuos en busca de material reciclable para vender, una segregación secundaria por parte de los recolectores con el mismo objetivo que los primeros. Finalmente se presenta un lugar de disposición final para el resto de desechos. Se identifica que existe un ciclo propio para el manejo de desechos sólidos en la aldea El Pajón, y en el siguiente diagrama se presenta el mismo:

Figura 7. **Ciclo de manejo de desechos sólidos para la aldea El Pajón**



Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Recolección

La recolección de basura la realizan dos empresas privadas que prestan el servicio tres veces por semana en diferente horario. Una de las empresas se denomina Servicio de Limpieza Particular Castro, con un costo de Q 40,00 mensuales, y la otra se denomina Servicio Particular de Extracción de Limpieza, con un costo mensual de Q 35,00. Ambas empresas emplean el método de servicio a la puerta, en donde el usuario del servicio dispone sus desechos en la puerta de su vivienda y son recolectados.

Personas ajenas al servicio realizan una ronda en horas de la madrugada clasificando en su mayoría basura con posibilidad de reciclaje, lo que representa en buena medida el sustento diario de sus familias.

4.1.2. Manejo y transporte

Se trasladan los residuos en camiones particularmente pintados de color amarillo, de 3 ejes de carga, con capacidad de 23 toneladas métricas; en el proceso de recolección se realiza una segunda clasificación en donde extraen o separan PET, vidrio, ropa, papel, cartón y electrónicos que han quedado de la primera segregación. Ver figura 8:

Figura 8. **Situación actual de la recolección**



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Disposición final

Los desechos sólidos recolectados de la aldea el Pajón, Santa Catarina Pinula, en su mayor parte son depositados en el botadero municipal de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala.

Figura 9. **Disposición final**



Fuente: *Disposición final*. <http://www.muniguate.com/>. Consulta: 4 de abril de 2018.

Es importante considerar en este caso las distancias que se deben cubrir entre la aldea El Pajón y la Ciudad de Guatemala, la cual es de aproximadamente 24 kilómetros, cubriéndose en un tiempo aproximado de 55 minutos, dependiendo principalmente del tránsito vehicular.

Figura 10. **Identificación de ruta entre aldea El Pajón, Santa Catarina Pinula y Basurero de la zona 3 de la Ciudad de Guatemala**



Fuente: Google Earth. Consulta: septiembre de 2018.

El Basurero de la Zona 3 es un vertedero de basura y relleno sanitario municipal de la Ciudad de Guatemala. Está ubicado en un barranco que divide las zonas 3 y 7 de la capital guatemalteca.¹⁷ Fue dispuesto como tal en 1879 y hasta 1953 se comenzó a tratar sanitariamente. Desde la década de los cuarenta fue utilizado como vertedero oficial de las zonas aledañas. Su área es equivalente a ocho estadios de fútbol y son vertidas diariamente 3 000 toneladas de desechos sin clasificación.¹⁸

Las familias en situación de pobreza y pobreza extrema que viven en los alrededores -llamados guajeros- aprovechan los pocos recursos que pueden recuperar de la basura, exponiendo su salud e incluso su vida -debido a los derrumbes y soterramientos con basura- con tal de sobrevivir.¹⁹

4.2. Cálculo del número de muestras o viviendas a evaluar

Para realizar el cálculo del número de muestras a tomar se optó por aplicar la metodología propuesta en la tesis de Arístides Alejandro Baldetti, del año 2017, la cual consiste en:

- Definición de la población: todas las viviendas circunscritas dentro de los límites territoriales de la aldea el Pajón, Santa Catarina Pinula.

Ecuación 4. Determinación de la generación *per cápita*

$$Pi = \frac{Wi}{Hv} [\text{Kilogramo/Habitante/Día}]$$

¹⁷ Ministerios Libre Infancia. *Datos sobre el basurero de la zona 3*. 2014. p. 8.

¹⁸ *Ibíd.*

¹⁹ *Ibíd.*

Donde:

Pi = producción individuo

Wi = peso de la muestra [Kg]

Hv = número de habitantes por vivienda

El muestreo estratificado proporcional es el más común para la selección de muestras, por ser el que representa la misma probabilidad en que la muestra puede ser seleccionada. Para la fidelización de este método se deben seguir los siguientes pasos:

- Determinación de las variables y la notación científica.
- En el cálculo para determinar el tamaño de la muestra se debe considerar un nivel de confianza, un nivel de error de estimación y un valor de variación.
- Asignación del tamaño de la muestra de viviendas particulares por estratos.
- Si no hay datos iniciales de la población, se debe asumir la desviación estándar en 200 gr/habitantes/día.
- El nivel de confianza más utilizada es de 96 %, por lo que este coeficiente de confianza es de 1,96.

El tamaño de la muestra será:

Ecuación 5. Determinación del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Cc^2 * N * \sigma^2}{(N - 1) * E^2 + Cc^2 * \sigma^2}$$

Donde:

n = número de muestras

C_c = coeficiente de confianza

σ = desviación estándar

N = número de la población

E = error estimado

Para el caso de estudio, se tienen los siguientes datos:

- La desviación estándar es $\sigma=0,2$ kg/habitantes/día.
- El promedio podría ser 0,655 kg/habitantes/día.
- El tamaño de la población es $N=4\ 680$ viviendas.
- Además, si se considera un error de estimación equivalente a 10 % del promedio estimado, luego $E=0,0655$.

En el caso de la Aldea El Pajón se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{1,96^2 * 4\ 680 * 0,2^2}{(4\ 680 - 1) * 0,0655^2 + 1,96^2 * 0,2^2}$$

$$n = 35.68 \cong 36 \text{ viviendas}$$

4.3. Procedimiento para recolección de datos y muestreo

- Procedimiento para la toma de datos y muestras:
 - Seleccionar al azar las 36 viviendas de la muestra.

- Seleccionar el lugar y los recursos humanos y el equipo para la recolección de datos, así como el diseño del formulario.
- Realizar la respectiva visita para la aprobación de la toma de muestras con los habitantes de las viviendas seleccionadas.
- Para la toma de muestras
 - Se registra la información particular del número de habitantes de cada vivienda muestreada y la identificación de cada propiedad.
 - Se hace entrega de las bolsas debidamente rotuladas por vivienda para su clasificación previa en orgánico e inorgánico.
 - En el proceso de recolección se maneja con cuidado el traslado al sitio de análisis previamente establecido; en este caso la calle principal fue la de estudio, para su debida caracterización; previo al traslado, se realiza la primera toma de peso por vivienda.
 - Se realiza la separación por medio del método del cuarteo, hasta formar una muestra homogénea de 45 kg o menos.
 - Se toma el peso total de la muestra homogenizada y se realiza la separación de los residuos de la siguiente manera:
 - Orgánicos
 - ✓ Con residuos de comida
 - ✓ Madera
 - ✓ Papel y cartón

- Inorgánicos
 - ✓ Residuos sanitarios
 - ✓ Plásticos
 - ✓ Metales
 - ✓ Vidrio
 - ✓ Telas y ropa

- Se toma el peso individual para realizar el porcentaje de cada clasificación.

- Con el resto del cuarteo se realiza el cálculo de la densidad de los residuos, tanto sueltos como compactados.²⁰

Figura 11. **Proceso de recolección de basura**



Fuente: elaboración propia.

²⁰ BALDETTI, Arístides Alejandro. *Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios de la colonia La Florida, zona 19, ciudad de Guatemala*. 2017.

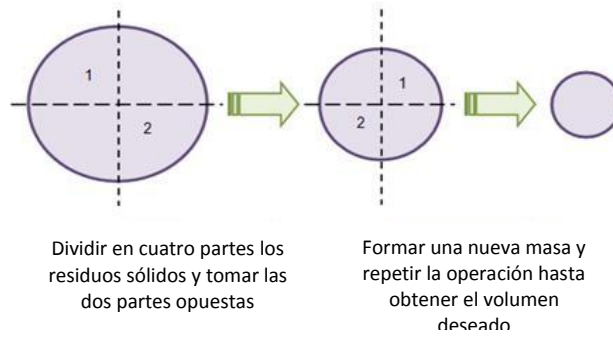
4.4. Composición de los residuos sólidos en peso, volumen y porcentaje

Para este proceso se toma la muestra de las viviendas debidamente seleccionadas y se toma el peso de cada muestra por vivienda.

- Homogenización por el método del cuarteo de la muestra total
 - Para realizar este trabajo se utiliza la muestra de un día. Se deben colocar los residuos en una zona pavimentada o sobre un plástico grande con la finalidad de no combinar los residuos con tierra.
 - Se rompen las bolsas y se vierte el desecho formando un montón. Con la finalidad de homogenizar la muestra, se trozan los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño que resulte manipulable, de 15 centímetros o menos.
 - El montón se divide en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogen las dos partes opuestas (lados sombreados de la figura que se muestra a continuación) para formar un nuevo montón más pequeño. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes nuevamente, luego se escogen dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50 kg de basura o menos. Este procedimiento se realiza para obtener dos muestras similares, una servirá para la clasificación y la segunda para el cálculo de la densidad de la muestra.²¹

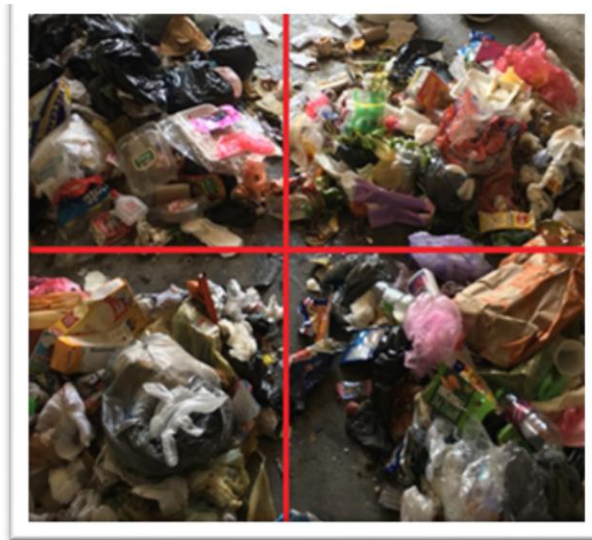
²¹ BALDETTI, Arístides Alejandro. *Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios de la colonia La Florida, zona 19, ciudad de Guatemala*. 2017.

Figura 12. **Método del cuarteo**



Fuente: CARAZO, Diriamba. *Plan integral de manejo de residuos sólidos urbanos*. p. 2.

Figura 13. **Cuardeo de muestra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Instrumentos utilizados**



Fuente: elaboración propia.

- **Clasificación de los desechos sólidos**

La clasificación de los residuos se realiza a mano, como se muestra en las figuras y fotografías, y se realiza el pesaje individual de cada grupo clasificado con el fin de obtener el porcentaje en peso de cada grupo.

- **Relación porcentual en peso de las muestras tomadas**

4.5. Cálculo de la densidad de los residuos sólidos

La densidad permite conocer el volumen que ocupa cierta cantidad de residuos sólidos, lo cual es útil principalmente para determinar los espacios necesarios para el almacenaje y transporte de los mismos, optimizando recursos. La densidad se calcula de la siguiente forma:

- Se tara el recipiente vacío (W_1) y se determina su volumen (V).
- Se depositan los desechos dentro del recipiente y se acomodan de tal manera que se llenen los espacios vacíos en dicho recipiente.
- Se tara nuevamente el recipiente lleno (W_2) y por diferencia se obtiene el peso de los residuos (W).
- Finalmente, se divide el peso de los residuos (W) entre el volumen del recipiente (V) para obtener la densidad suelta. Para el estudio de los residuos sólidos de aldea El Pajón se utilizó un recipiente cilíndrico.
- La compactación se realiza por medio de un mazo compactador, en cada tercio del recipiente, compactando 23 veces en forma de espiral y así hasta alcanzar el volumen total.
- Se repite el procedimiento para encontrar la densidad de los residuos compactados.²²

Figura 15. **Peso compactado**



Fuente: elaboración propia.

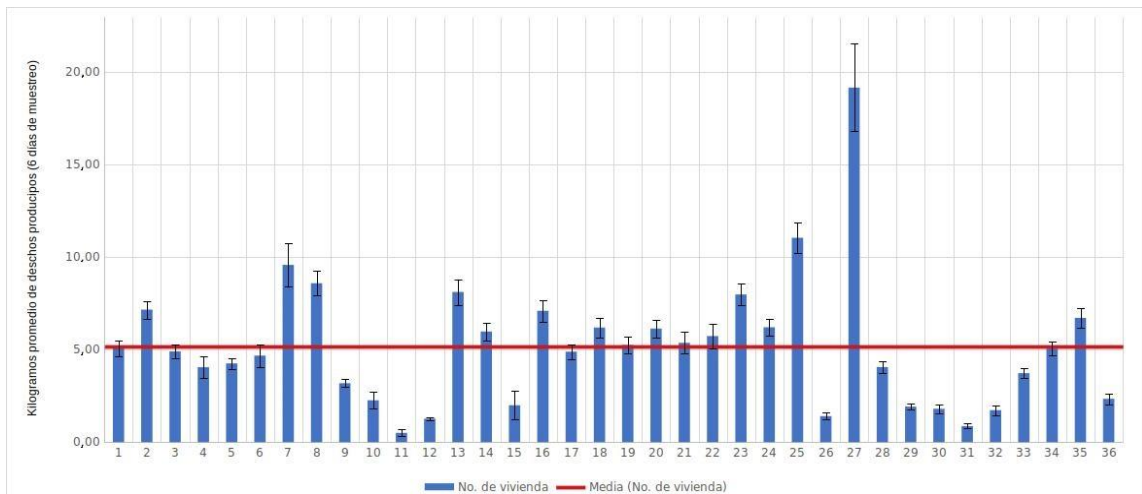
²² BALDETTI, Arístides Alejandro. *Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios de la colonia La Florida, zona 19, ciudad de Guatemala*. 2017.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados cuantitativos y cualitativos de la caracterización de desechos sólidos en aldea el Pajón, Santa Catarina Pinula, Guatemala.

En la tabla XIV del anexo se presenta a detalle el análisis cuantitativo del fenómeno en estudio.

Figura 16. **Promedio de desechos producidos por vivienda durante los 6 días de muestreo**



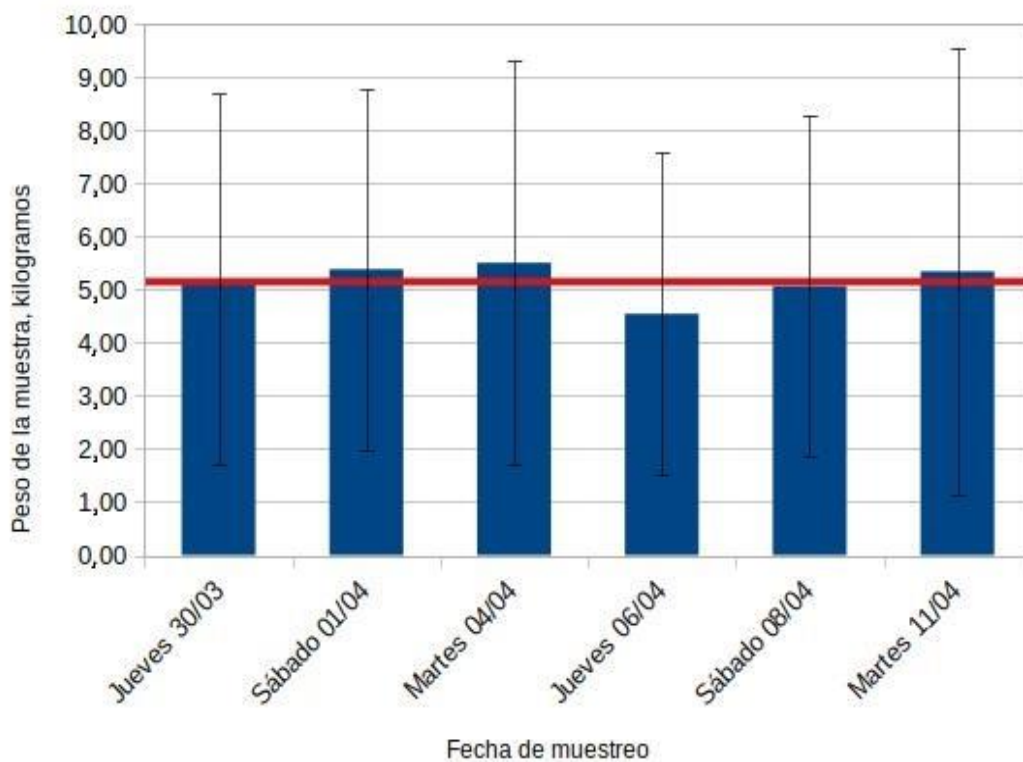
Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 16 se presentan los promedios y desviación estándar de pesos por día muestreados. Dentro de la misma se señala el promedio de desviación, que es igual a 5,18 kg de desechos producidos por vivienda por día,

con una desviación estándar de 3,53 kg de desechos producidos por vivienda por día, el cual supera el 50 % (aproximadamente el 68 %), lo cual muestra que el fenómeno de producción de desechos sólidos en el área de estudio no tiene un patrón definido.

De las viviendas muestreadas solamente 8 de las mismas se encuentran dentro del promedio, incluyendo las barras de desviación estándar.

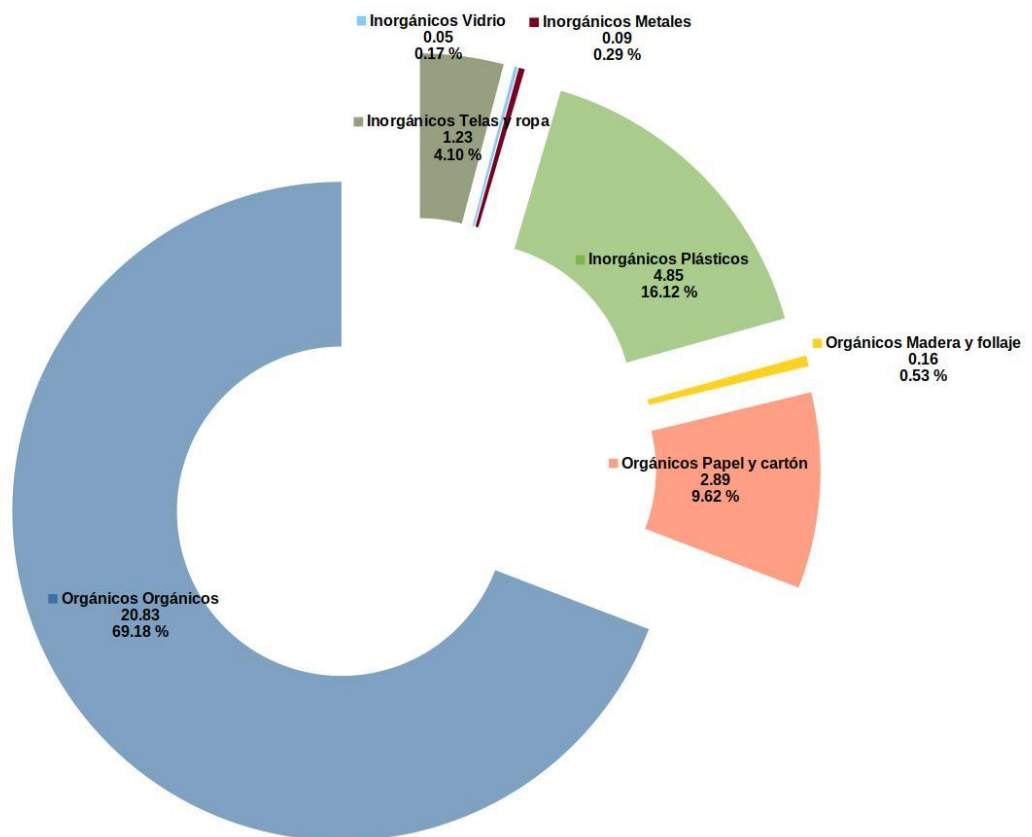
Figura 17. **Promedio de desechos producidos por día**



Fuente: elaboración propia.

A diferencia de la gráfica anterior, en esta se observa un comportamiento más estable, se podría concluir que para el área en estudio al realizar el análisis de desechos es conveniente tomar en cuenta la producción de los mismos.

Figura 18. **Clasificación de residuos sólidos por medio del método del cuarteo**

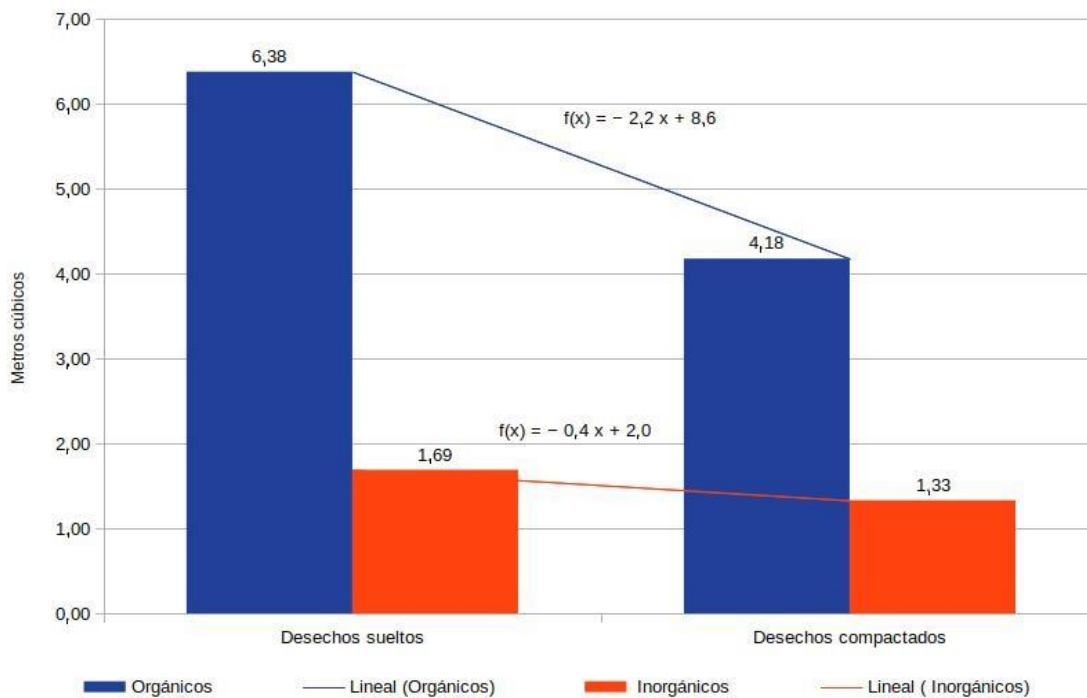


Fuente: elaboración propia.

Al realizar el muestreo se identificó claramente 7 grupos para los desechos sólidos, como se muestra en la gráfica, del total muestreado se

identificó que aproximadamente el 70 % es desecho orgánico, siguiéndole los desechos inorgánicos plásticos con aproximadamente 16 %, le siguen los orgánicos papel y cartón con aproximadamente el 10 %, e inorgánicos como telas y ropa con aproximadamente 5 %. También de este análisis se identificaron los grupos de desechos de vidrio, metales, madera y follaje.

Figura 19. **Volumen de residuos sólidos**

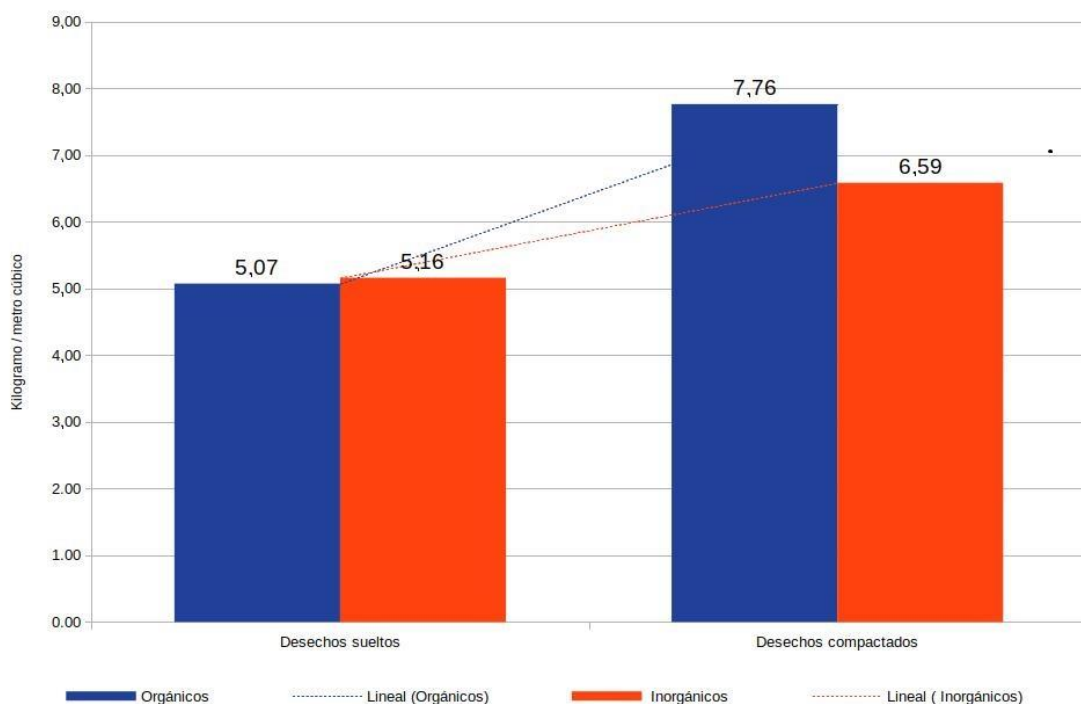


Fuente: elaboración propia.

En la figura 19 se presentan los promedios de volúmenes de la totalidad de desechos por día de monitoreo, clasificándolos entre orgánicos e inorgánicos. En la misma se observa el cambio de volumen entre el material suelto y el compactado, observando que en general hay un cambio de 2,55 metros cúbicos por cada 8 metros cúbicos de material suelto, reduciéndose

aproximadamente un 32 %. También es importante resaltar que los materiales orgánicos pueden compactarse más que los inorgánicos, lo cual se evidencia por las pendientes de las ecuaciones obtenidas al realizar la comparación entre materiales sueltos y compactados.

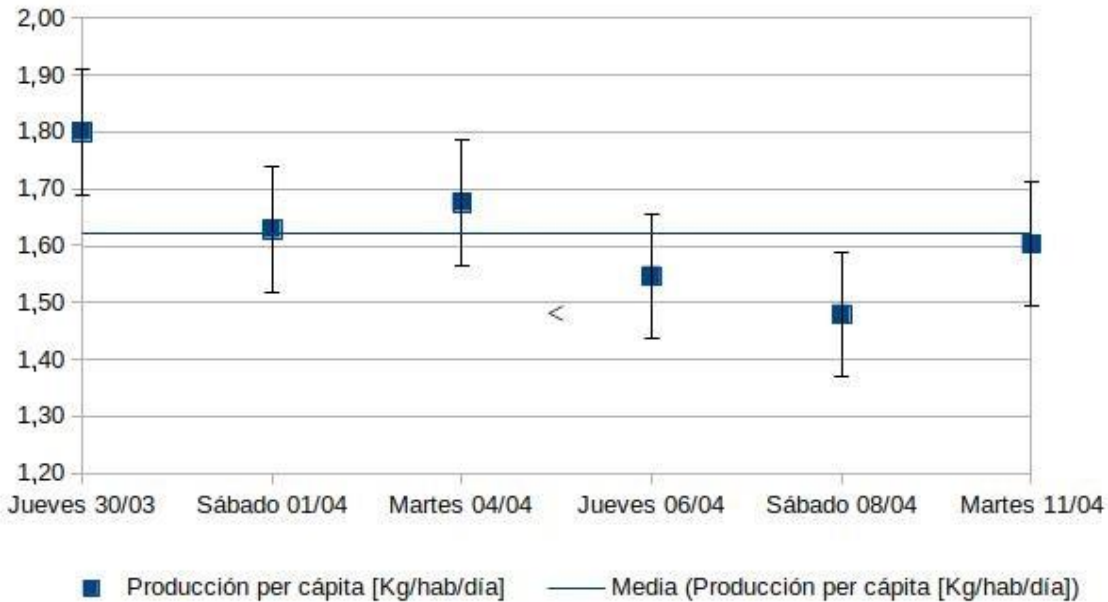
Figura 20. **Densidad de residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 20 se puede concluir que al compactar se puede optimizar espacios al tratar con los desechos, especialmente tratándose de los desechos orgánicos.

Figura 21. Producción promedio *per cápita*



Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos durante el muestreo permiten establecer la producción *per cápita* de desechos para el caso de estudio, considerando 234 habitantes muestreados se obtiene un promedio de 1,62 kilogramos por habitante por día, con una desviación de 0,11 (6,81 % de la cantidad total). Se trata realmente de una desviación estándar pequeña, lo cual implica un comportamiento bastante estable del fenómeno estudiado. Da una alta confiabilidad sobre el estudio realizado, sin embargo 2 de los días muestreados están fuera del rango promedio, por lo que es recomendable que se continúe con muestreos periódicos por parte de la Municipalidad.

CONCLUSIONES

1. En la aldea El Pajón, Municipio de Santa Catarina Pinula, se tiene una generación de desechos sólidos *per cápita* de 1,62 kilogramos/habitante/día. Si se toma en cuenta que la población de la aldea es de 18 000 personas, y que diariamente se genera 29 160 kilogramos por día, en un año se tendrían 10 643 400 kilogramos de desechos sólidos (10 643,4 toneladas).
2. Con base en el Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012 (IARNA-URL), los guatemaltecos generan 788,65 toneladas/día/vivienda por año. En comparación, los habitantes de aldea El Pajón generan 3,85 toneladas/día/vivienda por año de desechos sólidos, lo cual representa 0,00488 % del dato general. Estas relaciones porcentuales pueden identificarse como un índice ambiental, señalando a su vez el poder adquisitivo de una población. El caso de aldea El Pajón puede indicar el bajo impacto que tiene la producción de desechos sólidos en comparación con otros grupos de población, y a su vez que los pobladores de aldea El Pajón tienen un poder adquisitivo bajo.
3. Como se menciona en la sección 5.1, los desechos pueden ser segregados en residuos orgánicos e inorgánicos, de los cuales sobresalen los restos de comida con una presencia del 61,54 %, siguiéndoles los plásticos con un 16,54 % y el papel y cartón con 7,65 %. En menores cantidades se encuentran las telas y ropa con un 4,27 %, y con valores menores al 1 % la madera, metales, vidrios y otros.

4. Al compactar hay una disminución de densidad de 2,69 kg/m³, en el caso de los residuos orgánicos, lo cual es aproximadamente un 35 % del volumen inicial de los mismos. Para los residuos inorgánicos se observa una disminución de 1,42 kg/m³, siendo aproximadamente un 21 %.

RECOMENDACIONES

1. Es importante crear como línea de investigación el tema de Manejo de Desechos Sólidos en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la USAC, desarrollando temas afines dentro de las diversas áreas (Materiales, Estructuras, Hidráulica, Topografía y Planeamiento), incentivando al estudiante a realizar estudios sobre esta área, con el objetivo de colaborar con la toma de decisiones de las autoridades competentes, ya que con esta información se puede realizar un manejo sustentable y rentable de los mismos. La línea de investigación no debe limitarse solamente a la caracterización y cuantificación de los desechos, proponiéndose alternativas como su uso en el área de materiales, cálculo en estructuras utilizando los mismos, manejo de lixiviados, diseño de vertederos adecuadamente manejados, planificación de su producción, almacenaje y otros.
2. Se deben realizar campañas de concientización para incentivar y educar a la población en general sobre la segregación de los desechos sólidos, ya que con esto se puede evitar el daño ambiental provocado por el mal manejo y disposición final de los desechos. Lo anterior facilitará la implementación de la técnica de las 4Rs: reuso, reciclaje, reparar y reducir consumo.
3. Dentro del trabajo realizado se encontró que la mayoría de desechos producidos en aldea El Pajón son orgánicos (aproximadamente el 70 % en peso), pudiendo ser convertidos en compostaje *in situ*, reduciéndose

la cantidad de vehículos para su recolección y todos los inconvenientes que conlleva el uso de los mismos.

4. Generar una guía oficial detallada para realizar los estudios de caracterización de desechos sólidos, con el objetivo de unificar criterios y poder tabular datos para homologar la información obtenida al final de los informes, creándose un índice de desempeño oficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 111-2005 del Congreso de la República de Guatemala. *Política para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos*. 2005.
2. Acuerdo Gubernativo No. 028-2002 del Congreso de la República de Guatemala. *Reglamento de manejo de desechos sólidos para el municipio de Guatemala*. 2002.
3. Acuerdo Gubernativo No. 509-2001 del Congreso de la República de Guatemala. *Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios.*, 2001.
4. ACURIO, Guido; ROSSIN, Antonio; TEIXEIRA, Paulo Fernando; ZEPEDA, Francisco. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. 2a ed. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 1998. 130 p.
5. CORDOVILLA CIRINO, Beatriz Cecibel. *Determinación del consumo de envases plásticos para Delivery con la propuesta de creación de una planta procesadora en la ciudad de Milagro*. Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2012. 312 p.
6. 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. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2011. 118 p.

7. DUARTE DIAZ, 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. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 143 p.
8. Instituto Nacional de Estadística; et al. *Características de la población y de los locales de habitación censados*. Guatemala: Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2003. 278 p.
9. Perfil Ambiental de Guatemala. *Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2012. 468 p.
10. SAKURAI, K. *Manual de instrucción Observación y elaboración propia en campo durante los procesos de toma de muestras*. México: McGraw-Hil, 1981. 58 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Promedio de desechos producidos por vivienda durante los 6 días de muestro

PESO EN Kg POR VIVIENDA Y FECHA DE RECOLECCION DE BASURA										
No. de vivienda	Núm. de habitantes	Jueves 30/03	Sábado 01/04	Martes 04/04	Jueves 06/04	Sábado 08/04	Martes 11/04	Totales	Promedio	Desviación Estándar
1	5	5,07	5,1	5,44	4,43	4,81	5,6	30,5	5,08	0,42
2	9	7,2	7,46	7,62	6,29	7,02	7,4	43	7,17	0,48
3	8	4,98	5,36	5,16	4,35	5,03	4,59	29,5	4,91	0,37
4	9	4,16	4,74	4,18	3,64	4,44	3,15	24,3	4,05	0,57
5	5	4,27	4,38	4,54	3,73	4,13	4,48	25,5	4,26	0,30
6	10	4,8	5,43	4,84	4,19	5,08	3,74	28,1	4,68	0,61
7	6	9,49	9,16	10,4	8,3	8,67	11,5	57,5	9,59	1,18
8	14	8,71	9,38	9,04	7,61	8,8	8,03	51,6	8,60	0,66
9	4	3,2	3,31	3,39	2,8	3,12	3,29	19,1	3,19	0,21
10	6	2,35	2,78	2,3	2,05	2,59	1,5	13,6	2,26	0,45
11	2	0,53	0,7	0,49	0,47	0,65	0,15	2,99	0,50	0,19
12	2	1,28	1,37	1,33	1,12	1,29	1,2	7,59	1,27	0,09
13	8	8,11	8,15	8,71	7,08	7,69	8,97	48,7	8,12	0,68
14	6	5,97	6,02	6,41	5,22	5,68	6,58	35,9	5,98	0,49
15	8	2,13	2,82	1,94	1,86	2,61	0,61	12	2,00	0,78
16	7	7,09	7,13	7,62	6,2	6,73	7,85	42,6	7,10	0,60
17	5	4,89	4,94	5,24	4,27	4,65	5,36	29,4	4,89	0,40
18	6	6,19	6,21	6,65	5,41	5,86	6,87	37,2	6,20	0,53
19	5	5,24	5,25	5,65	4,58	4,96	5,85	31,5	5,26	0,46
20	10	6,22	6,7	6,46	5,44	6,29	5,73	36,8	6,14	0,47
21	4	5,33	5,22	5,81	4,66	4,93	6,28	32,2	5,37	0,59
22	4	5,69	5,54	6,21	4,97	5,23	6,77	34,4	5,74	0,66
23	9	8	8,17	8,53	6,99	7,7	8,52	47,9	7,99	0,58
24	7	6,22	6,35	6,63	5,44	5,99	6,63	37,3	6,21	0,45
25	18	11,2	12,05	11,62	9,79	11,32	10,32	66,3	11,05	0,84
26	3	1,44	1,63	1,45	1,26	1,52	1,12	8,42	1,40	0,18
27	12	18,98	18,33	20,8	16,59	17,34	23,01	115	19,18	2,37
28	4	4,05	4,08	4,36	3,54	3,84	4,48	24,4	4,06	0,34
29	2	1,92	1,94	2,06	1,68	1,83	2,09	11,5	1,92	0,15
30	4	1,85	2,11	1,86	1,62	1,97	1,4	10,8	1,80	0,25
31	2	0,89	1,02	0,89	0,78	0,96	0,65	5,19	0,87	0,13
32	4	1,78	2,04	1,78	1,55	1,91	1,3	10,4	1,73	0,26
33	6	3,78	4,06	3,92	3,3	3,81	3,5	22,4	3,73	0,28
34	8	5,12	5,48	5,33	4,47	5,15	4,79	30,3	5,06	0,37
35	7	6,72	6,8	7,2	5,87	6,41	7,32	40,3	6,72	0,53
36	5	2,4	2,71	2,42	2,1	2,54	1,87	14	2,34	0,31
	Total, muestra [kg]	421,25	381,17	392,2	361,93	346,2	375,05	2278	379,63	25,86
	Promedio	5,20	5,39	5,51	4,55	5,07	5,35	31,05	5,18	0,34
	Desviación estándar	3,49	3,40	3,81	3,05	3,22	4,21	21,18	3,53	0,42

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Peso de residuos sólidos con el método del cuarteo

PESO DE RESIDUOS SÓLIDOS MÉTODO DEL CUARTEO									
Información general		Jueves 30/03	Sábado 01/04	Martes 04/04	Jueves 06/04	Sábado 08/04	Martes 11/04	Promedio	Desviación Estandar
Datos generales	Peso total de la muestra [kg]	421,25	381,17	392,2	361,93	346,2	375,05	379,63	25,86
	Peso de la muestra producto del cuarteo [Kg]	35,48	40,37	36,68	40,41	48,6	44,01	40,93	4,83
Orgánicos	Orgánicos	24,9	28,1	26,41	28,64	34,01	30,51	28,76	3,21
	Papel y cartón	1,92	2,44	2,75	3,27	4,44	4,43	3,21	1,05
	Madera y follaje	0,19	0,33	0,25	0,29	0,33	0,15	0,26	0,07
Inorgánicos	Plásticos	6,65	7,33	5,5	6,42	7,89	6,95	6,79	0,82
	Metales	0,09	0,19	0,02	0,08	0,15	0,1	0,11	0,06
	Vidrio	0,04	0,04	0,04	0,16	0,05	0,04	0,06	0,05
	Telas y ropa	1,69	1,94	1,71	1,55	1,73	1,83	1,74	0,13

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Volumen de residuos sólidos por metro cúbico

VOLUMEN DE RESIDUOS SOLIDOS METRO CUBICO									
Información general		Jueves 30/03	Sábado 01/04	Martes 04/04	Jueves 06/04	Sábado 08/04	Martes 11/04	Promedio	Desviación Estandar
Orgánicos	Compactado	6,35	7	6,15	6,25	6,05	6,45	6,38	0,34
	Suelto	4,35	3,98	4,27	4,05	3,85	4,55	4,18	0,26
	Diferencia	2	3,02	1,88	2,2	2,2	1,9	2,20	0,43
Inorgánicos	Compactado	1,71	1,68	1,72	1,67	1,59	1,77	1,69	0,06
	Suelto	1,35	1,27	1,37	1,45	1,2	1,35	1,33	0,09
	Diferencia	0,36	0,41	0,35	0,22	0,39	0,42	0,36	0,07

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Densidad de residuos sólidos

DENSIDAD DE LOS DESECHOS SOLIDOS									
Información general		Jueves	Sábado	Martes	Jueves	Sábado	Martes	Promedio	Desviación
Orgánicos	Suelto [Kg/m ³]	4,25	4,41	4,78	5,15	6,41	5,44	5,07	0,79
	Compactado [kg/m ³]	6,21	7,76	6,89	7,95	10,07	7,71	7,76	1,31
Inorgánicos	Suelto [Kg/m ³]	4,95	5,65	4,23	4,92	6,18	5,04	5,16	0,67
	Compactado [kg/m ³]	6,27	7,48	5,31	5,66	8,18	6,61	6,59	1,09

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Composición de los residuos sólidos

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS %									
Información general		Jueves 30/03	Sábado 01/04	Martes 04/04	Jueves 06/04	Sábado 08/04	Martes 11/04	Promedio	Desviación Estándar
Orgánicos	Orgánicos	70	69	72	70	69	68,9	69,82	1,18
	Papel y cartón	5	6	7,5	8	9	10	7,65	1,86
	Madera	0,53	0,82	0,68	0,7	0,67	0,35	0,63	0,16
Inorgánicos	Plásticos	18,7	18	15	15,7	16	15,7	16,52	1,47
	Telas y ropa	4,74	4,76	4,65	3,8	3,52	4,13	4,27	0,53
	Metales	0,26	0,48	0,05	0,2	0,3	0,22	0,25	0,14
	Vidrio	0,11	0,1	0,11	0,4	0,11	0,09	0,15	0,12
	Otros	0,26	0,84	0	1,2	1,41	0,61	0,72	0,54
TOTAL		99,6	100	99,99	100	100,01	100	100,00	0,16

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Producción promedio per cápita

Descripción	Jueves 30/03	Sábado 01/04	Martes 04/04	Jueves 06/04	Sábado 08/04	Martes 11/04
Producción per cápita [Kg/hab/día]	1,80	1,63	1,68	1,55	1,48	1,60
Total de habitantes muestreados	234	Producción promedio per cápita				1,62

Fuente: elaboración propia.

