



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

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA
LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA**

Edgar Ovidio Barrera González

Asesorado por el Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA
LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDGAR OVIDIO BARRERA GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

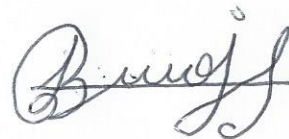
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 de mayo de 2018.



Edgar Ovidio Barrera González

Guatemala 23 de septiembre de 2019

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente me permito informar que, en calidad de asesor nombrado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, he procedido a la revisión final del trabajo de graduación titulado **CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA**, desarrollado por el estudiante universitario Edgar Ovidio Barrera González, Carné No. 2014-00597, determinando que el mismo cumple con los requisitos establecidos, por lo que de la manera más atenta solicito se autorice continuar con los trámites pertinentes para la aprobación final.

Atentamente,



Dennis Salvador Argueta Mayorga
INGENIERO CIVIL
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA
DOCTOR EN CAMBIO CLIMATICO Y SOSTENIBILIDAD
COLEGIADO 8297

Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Asesor

No. de Colegiado: 8297



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 y Coordinador del Departamento de Hidráulica, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga, al trabajo de graduación del estudiante Edgar Ovidio Barrera González **CARACTERIZACIÓN DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, octubre 2019

/mrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



DTG. 502.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Ovidio Barrera González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Edgar Ovidio Barrera García y Vilma Consuelo González Mijangos, por su amor, paciencia y apoyo incondicional; serán siempre mi inspiración.
- Mis hermanos** José y Virginia Barrera, por haberme cuidado siempre, por su amor y ser mi ejemplo a seguir.
- Mis tíos** Alma, Alfredo y Clelia González, Efraín Barrientos, Marlon Antonio, Rolando González (q.e.p.d) y Violeta González.
- Mis abuelos** Alfredo González Najarro (q.e.p.d), José Domingo Barrera Muñoz (q.e.p.d), María Concepción García Solares (q.e.p.d) y Virginia Mijangos Molina.
- Mi novia** Daniela León, por demostrarme con su amor todo su apoyo en cada paso que doy.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por todas las bendiciones que me ha dado, llenarme de sabiduría para luchar y alcanzar mis metas; por la vida que me ha regalado al lado de mi familia y mis amigos; en cada momento de felicidad y tristeza siempre me ha ayudado a salir adelante.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por todas la bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, dándome el valor y la perseverancia para llegar a este momento tan importante en mi vida.
- Mis padres** Edgar Ovidio Barrera García y Vilma Consuelo González Mijangos, por su amor, paciencia y apoyo incondicional; serán siempre mi inspiración.
- Mi asesor** Ing. Dennis Argueta Mayorga, por su asesoría y compartir sus conocimientos incondicionalmente para realizar este trabajo.
- Mis amigos** Arturo León, Dafne Gómez, Gerardo García, Hancell Herrera (q.e.p.d), Hiefry Aristondo, Jaqueline Morales, Joaquín León, José Escobar, Mario León, Roberto Paz, Roció

Mazariegos, Sucell Flores, Victoria Morales, por su amistad, las alegrías y el tiempo compartido.

Mis compañeros

Andrés Martínez, Bryan Nájera, Byron Melgar, Edwin Fernández, Fabián Troncony, Félix Conde, Gustavo Cárcamo, Gustavo Ortiz, Hugo Cardona, Isa Juárez, Lester Aguirre, Marco González y Mario Del Cid, por compartir su amistad y conocimientos incondicionalmente a lo largo de toda la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE CUILAPA, SANTA ROSA	1
1.1. Ubicación geográfica	1
1.2. Extensión territorial	3
1.3. Colindancias	4
1.4. Demografía.....	5
1.5. Topografía del municipio	6
1.6. Clima del municipio	8
1.7. Economía del municipio.....	10
1.8. Aldea los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa.....	13
2. ASPECTOS BÁSICOS DE RESIDUOS SÓLIDOS	21
2.1. Composición de los residuos sólidos.....	22
2.2. Características y propiedades de los residuos sólidos	24
2.3. Clasificación por su estado.....	28
2.4. Clasificación por su origen.....	28
2.5. Clasificación por tipo de manejo.....	30
2.6. Ciclo de los residuos sólidos domiciliarios.....	31

2.7.	Caracterización de los desechos sólidos domiciliars.....	33
3.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RELLENO SANITARIO	35
3.1.	Ubicación	36
3.2.	Tipo de suelo.....	37
3.3.	Estabilidad geotécnica	40
3.4.	Pendiente del terreno	42
3.5.	Vías de acceso.....	42
4.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	45
4.1.	Situación actual de los residuos sólidos.....	45
4.2.	Metodología	50
4.2.1.	Generación de residuos	54
4.2.2.	Determinación de la composición física de los residuos.....	58
4.2.3.	Determinación del peso específico de los residuos sólidos.....	62
4.2.4.	Valorización de los residuos solidos.....	64
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	67
5.1.	Resultados encuesta.....	67
5.2.	Generación de residuos	72
5.3.	Composición física de los residuos	78
5.4.	Peso específico de los residuos sólidos.....	82
5.5.	Porcentaje de humedad	84
5.6.	Ubicación de lugar adecuado para su utilización como relleno sanitario.....	84
5.6.1.	Área necesaria	89

5.6.2.	Caseta de control.....	91
5.6.3.	Operación y mantenimiento del relleno sanitario	91
5.6.4.	Monitoreo y control ambiental.....	94
CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES.....		99
BIBLIOGRAFÍA.....		101
APÉNDICES		105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa departamento de Santa Rosa.....	2
2.	Vías de comunicación entre el municipio de Cuilapa y la aldea Los Esclavos.....	3
3.	Mapa municipios departamento de Santa Rosa.....	4
4.	Altimetría del municipio de Cuilapa	7
5.	Regiones climáticas de Guatemala	9
6.	Casco urbano municipio de Cuilapa.....	12
7.	Ingreso a la aldea Los Esclavos.....	14
8.	Vivienda aldea Los Esclavos.....	15
9.	Manejo y disposición final de RSD, aldea Los Esclavos	18
10.	Puente y represa río Los Esclavos, aldea Los Esclavos	19
11.	Estimación de residuos sólidos domiciliarios generados en Guatemala, serie 2000 – 2014 (miles de toneladas).....	22
12.	Composición de los residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Santa Rosa, año 2013 (porcentaje)	24
13.	Corte relleno sanitario	38
14.	Relleno sanitario tipo trinchera.....	40
15.	Gestión de residuos sólidos Municipalidad de Cuilapa	46
16.	Estimación de residuos sólidos domiciliarios generados y recolectados en Guatemala, año 2014 (miles de toneladas)	47
17.	Botaderos no autorizados cercanos al río Los Esclavos, aldea Los Esclavos.....	48

18.	Basurero a cielo abierto, aldea El Quebracho del municipio de Barberena, Santa Rosa	49
19.	Mapa, casco urbano, aldea Los Esclavos.....	50
20.	Manejo de residuos generados en comercio, aldea Los Esclavos	51
21.	Encuesta a vecinos.....	54
22.	Fase recolección muestras RSD.....	55
23.	Condiciones de manejo y almacenamiento temporal de RSD	56
24.	Determinación peso RSD	57
25.	Preparación de muestras, método del cuarteo	59
26.	Determinación de la composición física RSD	60
27.	Evaluación densidad RSD	63
28.	Tipos de RSD generados en la aldea Los Esclavos, con posibilidades de reutilización y reciclaje	64
29.	Resultados manejo de RSD en la aldea	71
30.	Resultados promedio RSD 5 días.....	74
31.	Resultados RSD total por muestreo.....	74
32.	Resultados promedio RSD kg/vivienda/día.....	75
33.	Resultados ppc promedio por muestreo	77
34.	Resultados ppc promedio por vivienda	78
35.	RSD totales por tipo.....	79
36.	Composición RSD ₁ por tipo y muestreo	80
37.	Resultados promedio RSD ₁ por tipo.....	81
38.	Composición RSD ₁ aldea Los Esclavos	81
39.	Resultados densidad suelta RSD ₁	83
40.	Resultados densidad compactada RSD ₁	83
41.	Plano de localización de terreno	87
42.	Ubicación del terreno propuesto	88

TABLAS

I.	Población municipios departamento de Santa Rosa	5
II.	Valores, índice de mortalidad, municipio de Cuilapa.....	6
III.	Valores, índice de natalidad, municipio de Cuilapa	6
IV.	Población aldea, Los Esclavos.....	15
V.	Tipos de viviendas aldea Los Esclavos.....	16
VI.	Distribución y tipos de servicios aldea Los Esclavos.....	17
VII.	Porcentajes de los compuestos de los residuos sólidos	28
VIII.	Resumen, estratificación de viviendas, aldea Los Esclavos	52
IX.	Resultados número de habitantes/vivienda.....	69
X.	Distribución resultados No. de habitantes por vivienda.....	70
XI.	Resultados muestreos RSD aldea Los Esclavos (kg/vivienda/día)	73
XII.	Resultados ppc aldea Los Esclavos (kg/hab./día).....	75
XIII.	Resultados generación diaria de RSD de acuerdo con su naturaleza	79
XIV.	Resultados clasificación RSD _l kg/día	80
XV.	Resultados densidad RSD	82
XVI.	Proyección, población y W_{total} RSD generados, aldea Los Esclavos período 2019 - 2039.....	90

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
°C	Grados Celsius
d	Día
hab	Habitante
IRA	Infecciones respiratorias agudas
Kcal	kilocalorías
kg	Kilogramos
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
W	Peso
PC	Poder calorífico
%	Porcentaje
ppc	Producción <i>per cápita</i>
RSD	Residuos sólidos domiciliarios
RSD _i	Residuos sólidos domiciliarios inorgánicos
RSD _o	Residuos sólidos domiciliarios orgánicos
Σ	Sumatoria
T	Tiempo
U	Unidad

GLOSARIO

Área rural	Lugares poblados que se reconocen oficialmente con la categoría de aldeas, caseríos, parajes, fincas e incluye población dispersa.
Área urbana	Son todos aquellos poblados que se reconocen oficialmente con la categoría de ciudad, villa o pueblo (cabeceras departamentales y municipales).
Basurero	Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generen riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria.
Botadero	Lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
Curva de nivel	Línea que une puntos de una misma elevación.
Demografía	Es la ciencia que tiene por objeto el estudio de la población humana, tratando, desde un punto de vista

principalmente cuantitativo, su dimensión, estructura, evolución y características generales.

EIA	Estudio de impacto ambiental
ENCOVI	Encuestas de condiciones de vida.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
Infraestructura	Conjunto de las obras de una construcción.
Lixiviado	Es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a rellenos sanitarios.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
Producción per cápita	Es la generación de residuos sólidos expresada en kilogramos por habitante y por día.
Residuo sólido	Debido a su naturaleza, composición, cantidad y

domiciliario

volumen es generado por viviendas o establecimientos similares.

Valorización

Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana ni perjudicar el medio ambiente.

RESUMEN

La aldea Los Esclavos, del municipio de Cuilapa, ha experimentado en los años recientes una expansión urbana significativa; se evidencia más población, más viviendas y mayor desarrollo económico producto de la actividad comercial, industrial y agrícola, entre otros. Este crecimiento conlleva, a la vez, un incremento en la generación de residuos sólidos. Actualmente, la aldea Los Esclavos carece de un botadero o relleno sanitario adecuado; se nota la aparición de basureros clandestinos en diversos puntos dentro de la aldea.

Investigando acerca de la generación de desechos sólidos en la aldea Los Esclavos, se dedujo que hasta el momento no se cuenta con un estudio completo relacionado con la cantidad y composición de los desechos sólidos que se generan dentro de la circunscripción de la aldea. Por consiguiente, es importante cuantificar y clasificar los residuos sólidos que se producen en la aldea, para que posteriormente se tomen las decisiones pertinentes para brindar un adecuado manejo a los residuos sólidos domiciliarios (RSD).

El presente trabajo constituye una fuente de notable importancia, toda vez que incluye una caracterización general de los residuos domiciliarios; se determina que hay una producción *per cápita* de 0,771 kg/hab/día. Dicha cantidad se obtuvo a través del método simplificado propuesto por Kunitoshi Sakurai. La composición física de los residuos sólidos domiciliarios analizados refleja que la mayor parte corresponde a residuos orgánicos: un 63,9 % y el otro 36,1 % de residuos inorgánicos, compuestos en su mayoría con de plástico (21 %), vidrio (21 %), pet (15 %) y papel, toallas sanitarias y pañales (14 %). El resto de residuos corresponden a metal, aluminio, cartón y otros residuos.

OBJETIVOS

General

Caracterizar los residuos sólidos domiciliarios de la aldea Los Esclavos de la cabecera municipal de Cuilapa, Santa Rosa.

Específicos

1. Determinar la generación diaria de los residuos domiciliarios en el área de la aldea Los Esclavos de la cabecera municipal de Cuilapa.
2. Determinar la composición física de los residuos sólidos generados en domicilios del área de la aldea Los Esclavos de la cabecera municipal de Cuilapa.
3. Difundir los resultados obtenidos sobre la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el área de la aldea Los Esclavos de la cabecera municipal de Cuilapa, con el fin de que cualquier entidad interesada pueda aprovecharlos.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el problema de la gestión de los residuos sólidos va en aumento debido a su mal manejo, recolección y disposición final; genera problemas de contaminación del medio ambiente y de la salud.

El tema de los residuos sólidos en la aldea Los Esclavos, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa, tiene connotaciones particulares pero que se enmarcan en problemas similares al resto de la república. Tomando en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se realizó la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) producidos en la aldea, a través de la elaboración del marco teórico sobre el tema y trabajo de campo para la parte práctica.

En el capítulo uno se presentan las características generales del municipio de Cuilapa, Santa Rosa: ubicación, extensión territorial y demografía, entre otras. En el capítulo dos se abordan aspectos básicos de los residuos sólidos: composición, características y propiedades, así como las diferentes formas de clasificarlos.

En el capítulo tres se exponen los principales parámetros de selección de un relleno sanitario: ubicación, tipo de suelo y pendiente del terreno, entre otros. En el capítulo cuatro se desarrolla la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios realizada en la aldea Los Esclavos.

Finalmente, en el capítulo cinco se presentan los resultados del trabajo realizado.

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE CUILAPA, SANTA ROSA

1.1. Ubicación geográfica

“La república de Guatemala es un país de América Central con características peculiares y una cultura autóctona, cuenta con una gran variedad climática y biológica producto de su relieve montañoso que va desde los 0 metros sobre el nivel del mar hasta los 4 220 msnm”.¹

De acuerdo con Instituto Geográfico Nacional (IGN 2000), Guatemala cuenta con 22 departamentos y se divide en ocho regiones, cada región abarca uno o más departamentos que poseen características geográficas, culturales y económicas similares. El departamento de Santa Rosa se encuentra situado en la región IV suroriente; cuenta con 15 municipios y su cabecera departamental es Cuilapa.

De acuerdo con el plan de desarrollo Cuilapa, Santa Rosa 2011 – 2025, Cuilapa es uno de los 340 municipios de la República de Guatemala, está situado al centro del departamento y es reconocido internacionalmente como 'el centro de las Américas', por encontrarse en el centro del continente. El municipio de Cuilapa se encuentra localizado en las coordenadas geográficas latitud 14°16'42" y longitud. 90°17'57", con una elevación de 893,31 metros sobre el nivel del mar.

¹ GARCÍA CANTORAL, J. *Centro comercial municipal, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa*. p. 50.

Figura 1. **Mapa departamento de Santa Rosa**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa. *Mapa del departamento de Santa Rosa.*

El municipio de Cuilapa se encuentra a una distancia aproximada de 63 kilómetros del Palacio Nacional en la ciudad de Guatemala y se puede llegar a través de la carretera interamericana CA-01 oriente. El municipio cuenta con una carretera asfaltada que se une a la carretera interamericana CA-1, con fácil acceso a la ciudad capital y al departamento de Jutiapa. De la cabecera por la ruta nacional 2 hay 1 km rumbo al sur al entronque con la carretera Interamericana CA-01.

Figura 2. **Vías de comunicación entre el municipio de Cuilapa y la aldea Los Esclavos**



Fuente: *Vías de comunicación municipio de Cuilapa*. www.google-earth.com. Consulta: 15 de agosto de 2018.

1.2. Extensión territorial

“La República de Guatemala tiene una superficie de 108 889 km², mientras que el departamento de Santa Rosa cuenta con una extensión territorial de 2 295 kilómetros cuadrados, que representa el 2,7 % del total del país y el 35,8 % de la región”.²

El municipio de Cuilapa posee una extensión aproximada, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN), de 365 km²; cuenta con 11 aldeas y 28

² CODEDE departamento de Santa Rosa, SEGEPLAN y Dirección de Planificación Territorial. *Plan de desarrollo departamental PDD, departamento de Santa Rosa, Guatemala*. p. 59.

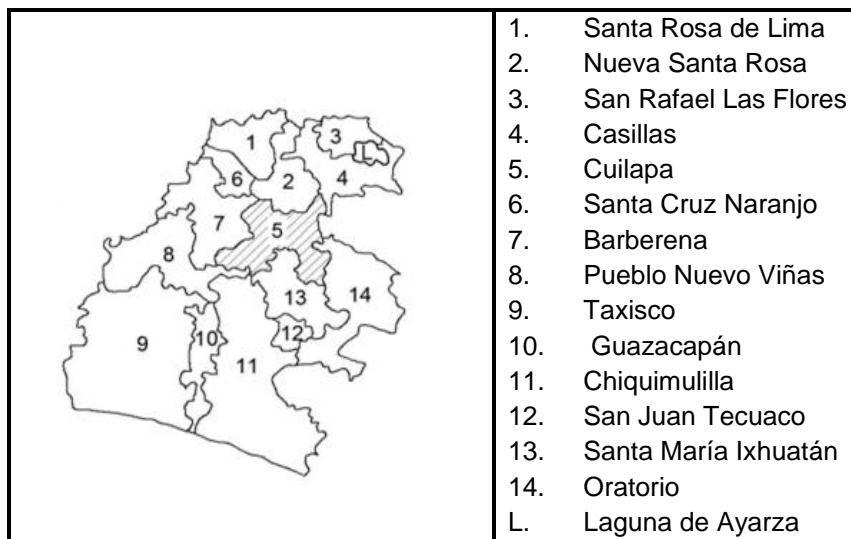
caseríos. Las aldeas son: Barillas, Los Esclavos, Joya de Limón, Los Matochos, El Molino, El Pinito, Los Pinos, Plan del Amate, Purificación de los Esclavos, San José y San Juan de Arana.

1.3. Colindancias

El departamento de Santa Rosa limita al norte con los departamentos de Guatemala y Jalapa; al sur con el Océano Pacífico; al este con el departamento de Jutiapa; y al oeste con el departamento de Escuintla.

El municipio de Cuilapa colinda al norte con Nueva Santa Rosa y Casillas (Santa Rosa), al sur con Chiquimulilla, Santa María Ixhuatán (Santa Rosa), al este con Oratorio y San José Acatempa (Jutiapa) y al oeste con Pueblo Nuevo Viñas y Barberena (Santa Rosa). Cuilapa se encuentra en los márgenes del río Cuilapa y al norte del río Los Esclavos.

Figura 3. **Mapa municipios departamento de Santa Rosa**



Fuente: elaboración propia.

1.4. Demografía

El municipio de Cuilapa tiene una extensión territorial de 213,19 km² y una población total de 40 147 habitantes, “donde el 49,84 % son hombres y el 50,16 % mujeres; con un crecimiento poblacional anual del departamento de del 1,99 %. La población del municipio está concentrada en comunidades rurales 59,3 % y un 40,7 % en el área urbana”³.

Cuilapa es un municipio donde una alta proporción de la población se identifica como no indígena (96 %) y solamente un 4 % se identifica como indígena.

Tabla I. **Población municipios departamento de Santa Rosa**

Número	Municipio	Habitantes
1	Barberena	50 552
2	Casillas	25 504
3	Chiquimulilla	51 297
4	Cuilapa	48 147
5	Guazacapán	17 011
6	Nueva Santa Rosa	34 588
7	Oratorio	27 225
8	Pueblo Nuevo Viñas	27 592
9	San Juan Tecuaco	8 581
10	San Rafael Las Flores	15 627
11	Santa Cruz Naranjo	12 152
12	Santa María Ixhuatán	22 504
13	Santa Rosa de Lima	20 201
14	Taxisco	26 841

Fuente: elaboración propia.

³ INE. *Proyección población departamento de Santa Rosa 2017*. p. 117.

- Mortalidad: el índice de mortalidad en el municipio de Cuilapa, según datos estadísticos realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), asciende cada año en función de la densidad poblacional del municipio.

Tabla II. **Valores, índice de mortalidad, municipio de Cuilapa**

Hombres	0,16 %
Mujeres	0,15 %

Fuente: GARCÍA CANTORAL, J. *Centro comercial municipal, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa*. p. 11.

- Natalidad: de acuerdo con datos estadísticos proporcionados por el Hospital Regional de Cuilapa y el Centro de Salud, el índice de natalidad en el municipio de Cuilapa tiene los siguientes valores:

Tabla III. **Valores, índice de natalidad, municipio de Cuilapa**

Hombres	0,08 %
Mujeres	0,07 %

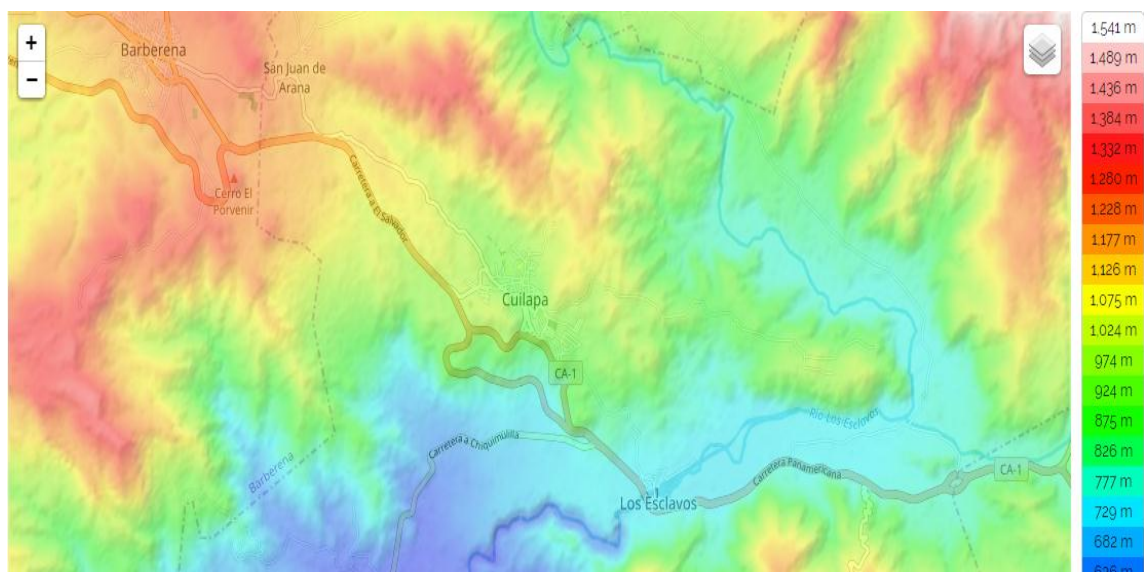
Fuente: GARCÍA CANTORAL, J. *Centro comercial municipal, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa*. p. 11.

1.5. Topografía del municipio

De acuerdo con la información existente y los aspectos topográficos del municipio de Cuilapa, su topografía es bastante irregular con altas pendientes y precipicios; las alturas sobre el nivel del mar oscilan entre los 543 a los 1 318 metros; posee tres cerros, nueve ríos y diecisiete quebradas.

En el municipio de Cuilapa, “el drenaje externo se divide en: perenne (ríos y riachuelos), intermitente (quebradas) y efímero (se determina en base al perfil y topografía del terreno), en este caso presenta una pendiente que ayuda a drenar hacia el lado sur y hacia el río San Juan”.⁴

Figura 4. **Altimetría del municipio de Cuilapa**



Fuente: *Altimetría del municipio de Cuilapa*. <http://es-gt.topographic-map.com/places/Cuilapa-Barberena-997564/>. Consulta: 14 de diciembre de 2018.

Cuilapa posee una gran cantidad de recursos hidráulicos, virtud de los relieves topográficos, su drenaje se efectúa buscando bajas altitudes hacia el sur. La principal fuente de contaminación de ríos y riachuelos, se obtiene por descarga de aguas servidas y aguas corridas de beneficios de café. “En el municipio el tipo de suelo se caracteriza por sus pendientes mayores de 10 %

⁴ RODRÍGUEZ ORDOÑEZ, M. *Centro deportivo municipal, Cuilapa, Santa Rosa*. p. 33.

con presencia de barrancos profundos de paredes perpendiculares, erosionadas (desarrollados sobre ceniza volcánica)”.⁵

1.6. Clima del municipio

El departamento de Santa Rosa por su configuración geográfica que es bastante variada (sus alturas oscilan entre los 214 y 1 330,25 msnm); cuenta con un clima que varía desde el frío en las montañas hasta el cálido en la costa del Pacífico, pero generalmente templado.

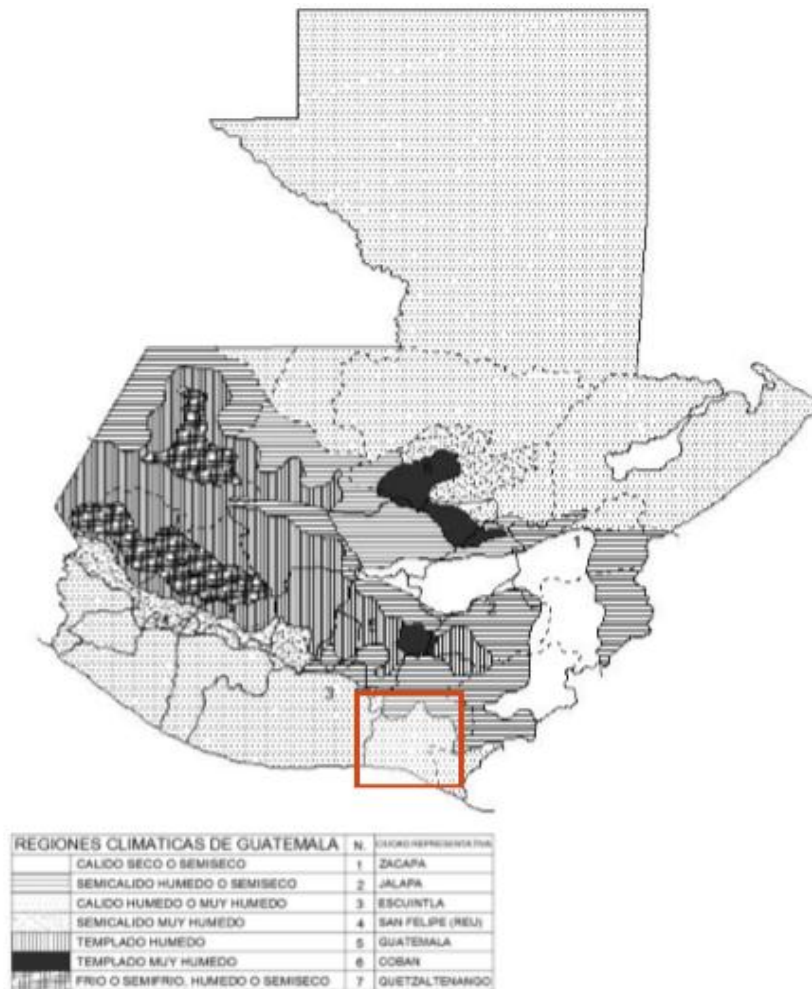
Por su variedad de climas, Cuilapa posee una gran cantidad de cultivos, como frutas de diversos tipos y vegetales; de manera particular, en el municipio de Cuilapa se encuentran las siguientes condiciones climáticas:

- Temperatura: el municipio de Cuilapa cuenta con un clima que puede considerarse cálido ya que la temperatura varía entre los 20 °C a los 28 °C; en general, presenta una biotemperatura media anual correspondiente a los 24° Celsius con una mínima de 13 °C en los meses de marzo y julio.

Según el mapa de zonas de vida del municipio este pertenece a un bosque húmedo subtropical templado, y su precipitación anual promedio se encuentra entre los 1 500 a los 2 000 milímetros.

⁵ RODRÍGUEZ ORDOÑEZ, M. *Centro deportivo municipal. Cuilapa, Santa Rosa.* p. 34.

Figura 5. **Regiones climáticas de Guatemala**



Fuente: CDAG. *Plan nacional de instalaciones para educación física, recreación y deporte en Guatemala*. p. 16.

- Viento: en el municipio de Cuilapa, la dirección eólica se presenta en un 80 % predominante con dirección noreste y el 20 % secundario sureste. Con una tipología catalogada como viento fuerte.

- Precipitación pluvial: el promedio anual de lluvias del municipio fluctúan entre los 1 500 mm y los 2 000 mm, volúmenes condicionados por el emplazamiento territorial en la boca costa del Pacífico.

Las lluvias caen con un promedio del 40 % de los 365 días del año; se concentra durante los meses de mayo a septiembre, con lluvias esporádicas, el resto del año, siendo los meses de noviembre a marzo, los más secos.

- Humedad relativa: el promedio de humedad fluctúa en el rango de 60 % a 90 %; es baja en los meses de verano y alta en los meses lluviosos.

1.7. Economía del municipio

El departamento de Santa Rosa es mayoritariamente rural debido a que el 59,3 % de su población habita en esta área; sin embargo, en los últimos cinco años el índice de analfabetismo en el departamento presentó una tendencia decreciente.

En el municipio de Cuilapa son pocas las industrias existentes, como la producción industrial de sal que se labora en las salinas; también, se fabrica azúcar y se procesa queso y mantequilla; la artesanía más popular en la zona la representan los artículos hechos de tul, palma y cerámica (hamacas, morrales, esteras, petates, sombreros, y alfarería). La fuente de empleo más común en la población es para trabajos agrícolas, beneficios de café, fincas de café, caña y granjas avícolas.

Entre los productos naturales se encuentran excelentes maderas para construcciones y de ebanistería, gran variedad de plantas medicinales; cereales

como el café, caña de azúcar, maíz, trigo, frutas, sobre todo las magníficas piñas denominadas de azúcar.

- El municipio cuenta con un mercado municipal, en el cual se realizan todo tipo de compra-venta de alimentos y suministros para el hogar. En lo que se refiere al hospedaje se cuenta con casas de pensión que ofrecen hospedaje y alimentos cómodos así como hoteles de diferentes categorías. En la población del municipio se nota la afluencia de remesas que envían familiares que viven en el exterior del país.
- En Cuilapa, existen servicios educativos públicos y privados los que ofrecen diferentes alternativas a los estudiantes; también cuenta con oficinas de instituciones de gobierno, atención médica y centros asistenciales públicos y privados.
- Transporte urbano y extraurbano está constituido principalmente por el servicio de buses y microbuses, éstos hacen rutas hacia los diferentes municipios del departamento de Santa Rosa y otros hacia la ruta de la Carretera CA-01 a El Salvador. En el área urbana del municipio actualmente se cuenta con el servicio de microtaxi.

Figura 6. **Casco urbano municipio de Cuilapa**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

- Tipología constructiva: de acuerdo con lo establecido en el municipio las viviendas tienen las siguientes características constructivas:
 - “Los principales materiales utilizados son: madera, adobe, bajareque, lámina, block y concreto, entre otros.
 - El promedio de las alturas de las viviendas y en las construcciones es de 3,00 metros. La mayoría de cubiertas está construida con artesón de madera y lámina metálica, el segundo material usado es la teja.

- El material más utilizado en los muros es el block, seguido por muros de madera. Predominan los colores claros, como verde, salmón, crema, celeste y blanco, entre otros.
- El material más utilizado en pisos es la torta de cemento líquido, seguido por viviendas de tierra y luego de piso de ladrillo de cemento.
- Las puertas en general son de madera y metal para exteriores o interiores.
- Las ventanas son de hierro forjado, aluminio, paletas con cedazo y abatibles”.⁶

1.8. Aldea los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa

La aldea Los Esclavos, Cuilapa, Santa Rosa, está ubicada en el kilómetro sesenta y seis punto cinco de carretera a El Salvador; se encuentra a 3,55 km de la cabecera del departamento; cuenta con una elevación de 893,31 metros sobre el nivel del mar, por lo que se le atribuye un clima cálido.

⁶ RODRÍGUEZ ORDOÑEZ, M. *Centro deportivo municipal. Cuilapa, Santa Rosa.* p. 39.

Figura 7. **Ingreso a la aldea Los Esclavos**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

En cuanto a su ubicación e ingreso se puede llegar al municipio de Cuilapa por medio de la carretera al Salvador (CA -01) en aproximadamente 15 minutos, luego sobre la misma carretera se encuentra la aldea Los Esclavos; se puede ingresar a la aldea por medio de una pequeña calle de terracería o por el km 67 de la carretera.

Figura 8. **Vivienda aldea Los Esclavos**



Fuente: Municipalidad de Cuillapa, Santa Rosa.

La aldea cuenta con un entorno agradable y ecológico, es una de las aldeas de mayor población del municipio; la vivienda es uno de los puntos más críticos en cuanto al manejo de los residuos sólidos, por lo que es necesario prever medidas de protección ya que en la actualidad la contaminación es un problema en la región. Los habitantes no cuentan con espacios adecuados y una buena infraestructura que mejore su calidad de vida.

Tabla IV. **Población aldea, Los Esclavos**

Total población	Sexo		Grupos de edad (años)			
	Hombres	Mujeres	00-06	07-14	15-64	65 a más
2 312	1 122 (49,0 %)	1 190 (51,0 %)	444	444	1 315	109

Fuente: DACARET FERRÚS, Raquel. *Valorización del puente Los Esclavos mediante desarrollo turístico.* p. 56.

Tabla V. **Tipos de viviendas aldea Los Esclavos**

Total viviendas	Tipo local					
	Formal	Apartamento	Palomar	Rancho	Improvisada	Otro
569	512	21	14	0	18	4

Fuente: DACARET FERRÚS, Raquel. *Valorización del puente Los Esclavos mediante desarrollo turístico*. 60.

- El nivel de analfabetismo en la aldea se distribuye de la siguiente manera: el 61 % corresponde a personas alfabetas y el 39 % a personas analfabetas.
- El clima de la aldea Los Esclavos es similar al del municipio de Cuilapa, con una temperatura media anual correspondiente a los 24° Celsius con una mínima de 13° Celsius en los meses de marzo y julio. El promedio de la precipitación pluvial anual en la aldea fluctúa entre los 1 500 mm y los 2 000 mm.
- La aldea cuenta con servicio de energía eléctrica proveniente de la hidroeléctrica Los Esclavos de 93 MW, situada en el río del mismo nombre.
- Se cuenta con servicio de agua potable; en cuanto a servicios sanitarios, las viviendas que cuentan con este servicio son aproximadamente un 82 % y de estas un 68,3 % tienen acceso a algún tipo de saneamiento conectado a una red de drenajes, fosa séptica o excusado lavable.

Tabla VI. **Distribución y tipos de servicios aldea Los Esclavos**

Poblado	Servicios			Total hogares
	Agua	Drenaje	Eléctrica	
Aldea Los Esclavos	443	222	507	520

Fuente: DACARET FERRÚS, Raquel. *Valorización del puente Los Esclavos mediante desarrollo turístico*. p. 59.

- La extracción de residuos sólidos domiciliarios en la aldea Los Esclavos, es realizada por empresa privada, una vez por semana; los residuos son depositados en un basurero a cielo abierto ubicado en costado del camino que conduce hacia la Aldea El Quebracho, del municipio de Barberena Santa Rosa. Un porcentaje de la población de la aldea manifiesta que tira la basura en cualquier lugar. De acuerdo con lo establecido, las condiciones del servicio de extracción de basura son las siguientes:
 - Ruta: día lunes de cada semana recolección de los residuos.
 - Barrios que recorre el tren de aseo de la empresa Transporte Pérez:
 - Reforma
 - Cementerio
 - Ceiba
 - Centro
 - Calle de la iglesia católica

Figura 9. **Manejo y disposición final de RSD, aldea Los Esclavos**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

El río Los Esclavos pertenece a la vertiente del océano Pacífico; nace con el nombre de Río Grande en jurisdicción de Mataquesuintla, departamento de Jalapa; en todo su curso recibe multitud de afluentes: los ríos San Antonio, Tapalapa, San Juan, Los Achiotos, Pinula, Las Cañas, Molino, Utapa, Amapa, Panal, Frío, Margaritas y Paso Caballos; descarga en el canal de Chiquimulilla, próximo al océano Pacífico y su longitud es de 144,8 kilómetros.

En la actualidad, el puente Los Esclavos se encuentra en mal estado, debido a la contaminación del río por las fincas aledañas y los drenajes de las viviendas de la aldea.

Figura 10. **Puente y represa río Los Esclavos, aldea Los Esclavos**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

2. ASPECTOS BÁSICOS DE RESIDUOS SÓLIDOS

En la actualidad, la gestión inadecuada de los residuos sólidos afecta a la mayoría de los municipios y departamentos de Guatemala; existe una estrecha relación entre el deterioro de la salud pública y el inadecuado manejo de los residuos sólidos.

“Residuos sólidos cualquier objeto, material, o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega, y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.”⁷

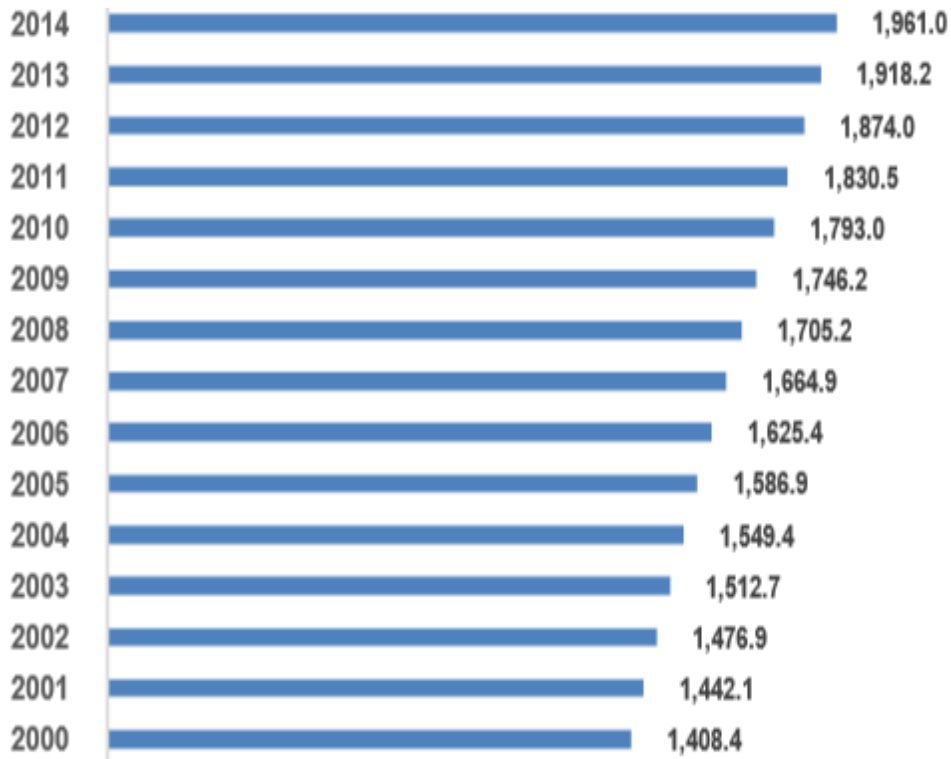
“Residuo sólido, basura, desecho o desperdicio: sustancias, elementos u objetos cuyo generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.”⁸

La generación de residuos 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. El crecimiento poblacional que experimentan las zonas urbanas, genera un aumento de residuos sólidos; en algunas comunidades la cantidad y calidad de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) puede variar en forma significativa a través del año.

⁷ IUCN. *Derecho ambiental en Centroamérica*. p. 58.

⁸ *Ibíd.*

Figura 11. **Estimación de residuos sólidos domiciliarios generados en Guatemala, serie 2000 – 2014 (miles de toneladas)**



Fuente: INE. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala 2014*. p. 181.

2.1. Composición de los residuos sólidos

Conocer la composición de los residuos sólidos es muy importante en la toma de decisiones en los sistemas de gestión; la composición física y química de los desechos sólidos brinda información para los tratamientos futuros. Es necesario distinguir claramente a qué etapa de la gestión de residuos corresponden los valores de composición.

- La información y los datos sobre la composición física de desechos sólidos son importantes en la determinación y selección de instalaciones adecuadas; incluyen porcentaje en masa, contenido de humedad y porcentaje de peso seco, entre otros, además del tipo de residuo sólido: elementos como materia orgánica e inorgánica.
- La información sobre la composición química de los desechos sólidos es importante en la evaluación de opciones alternas de procesado y recuperación.

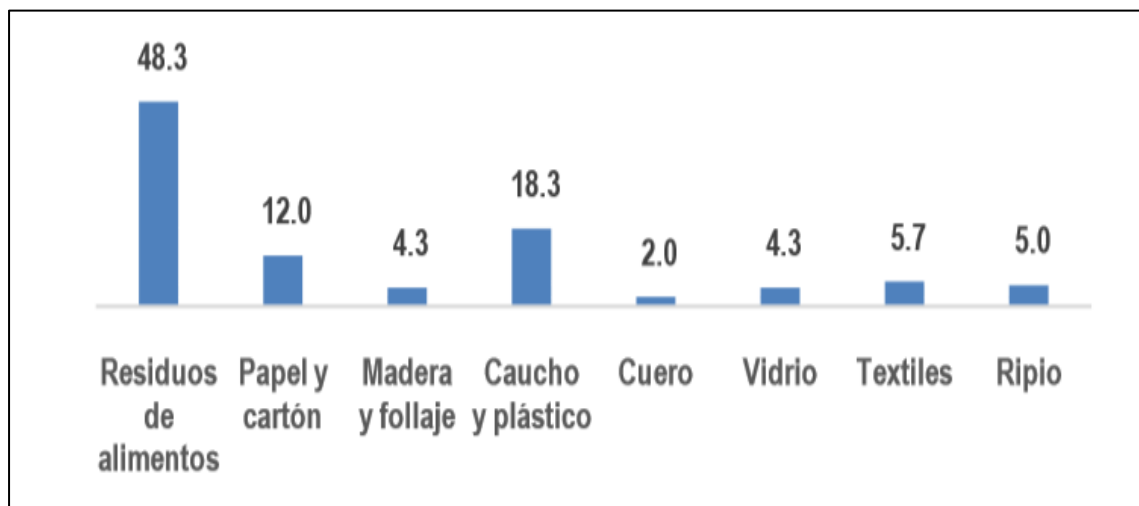
Los residuos sólidos están compuestos por diferentes tipos de materiales:

- **Materia inorgánica:** es aquella que no posee o está compuesta por carbono, son moléculas pequeñas y simples, como las sales, minerales y cloruros, entre otras. Los residuos inorgánicos por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. En general, los residuos sólidos inorgánicos domiciliarios están compuestos por: papel y cartón, plásticos, metales, pañales, toallas higiénicas, algodones y vidrios, entre otros.
- **Materia orgánica:** está compuesta por residuos animales o vegetales; son sustancias que suelen encontrarse en el suelo y que contribuyen a su fertilidad. Dichos residuos están compuestos por: cadáveres y restos de animales y plantas; estos residuos, luego de su biodegradación o putrefacción bacteriana, son captados por la naturaleza nuevamente y brindan sus nutrientes al suelo.

Según su composición los residuos sólidos se clasifican de la siguiente manera:

- Sólidos orgánicos
- Sólidos inorgánicos
- Peligrosos
- Inertes

Figura 12. **Composición de los residuos sólidos domiciliarios en el departamento de Santa Rosa, año 2013 (porcentaje)**



Fuente: INE. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala 2014*. p. 181.

2.2. Características y propiedades de los residuos sólidos

Los residuos sólidos presentan distintas características y propiedades que sirven para su correcto análisis, estudio y clasificación; la caracterización de los desechos sólidos es un parámetro importante en el diseño de sistemas para su manejo y disposición final.

Algunas de las características y propiedades físicas de los residuos sólidos son las siguientes:

- **Peso:** es la medida de la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de un cuerpo, ésta se determina a través de una balanza, básculas o dinamómetros, las dimensionales de peso son los kilogramos para el sistema internacional y libras para el sistema inglés.
- **Volumen:** es la cantidad de espacio físico que una masa ocupa, con este parámetro se determina el número de unidades para el transporte en función de su capacidad; además, sirve para proyectar las necesidades de espacio para el diseño de un relleno sanitario.
- **Densidad (peso específico):** esta es una dimensión que se deriva del peso y del volumen, a esto se le conoce como peso específico, es el peso de la materia por cada unidad de volumen que ocupa. Las medidas que se utilizan en los residuos son la densidad suelta, que es la que ocupa en condiciones normales; y la densidad compactada, es cuando se aplica fuerza para reducir el espacio que ocupa. Se deben distinguir valores de densidad de acuerdo a la etapa del manejo.
 - **Densidad suelta:** 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.

- Contenido de humedad: es la cantidad de humedad contenida en los residuos y se expresa con un porcentaje del peso total, es decir, el peso húmedo y el peso seco.
- Tamaño de la partícula: es importante conocer el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas de los residuos sólidos ya que en los procesos mecánicos de recuperación como tromel, cribas y separadores magnéticos es vital el conocerlo.

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 recipientes o elementos que basan su trabajo, consistente en la separación, en el tamaño.

- Capacidad de campo: es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Sirve para determinar la formación de lixiviados en los vertederos.

A continuación, se presentan varias de las características y propiedades químicas de los residuos sólidos:

- Punto de fusión de las cenizas: es la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos se transforma en sólidos (escoria) por la fusión y la aglomeración. Las temperaturas típicas oscilan entre 1 100 °C y 1 200 °C.
- Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos: incluye el porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, ceniza y

halógenos. Con estos análisis se determina la composición química de la materia orgánica de los RSD; también, se usan para conseguir relaciones aptas para procesos de conversión biológica.

- Contenido energético (poder calorífico PC): es la capacidad calorífica de los componentes de los residuos, importante en el momento de conocer cuál es la recuperación de energía que se puede alcanzar con una determinada cantidad de residuo, al igual que el porcentaje de cenizas producido. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior (pci) y superior (pcs).
- Nutrientes esenciales y otros elementos: cuando se implementarán los residuos como alimentación para la elaboración de productos biológicos de conversión, tales como compost, metano y etano, la información sobre nutrientes esenciales es importante respecto a la disponibilidad de nutrientes de microbios.

Las características biológicas más importantes de la fracción orgánica de los residuos sólidos, es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos, relativamente inertes.

La biodegradabilidad de los componentes orgánicos es la capacidad de un compuesto para ser degradado mediante microorganismos, es posible medirlo a través del contenido en sólidos volátiles.

Los residuos sólidos se pueden clasificar de diferentes formas, de acuerdo con el criterio que se utilice; a continuación, se presentan los más importantes.

2.3. Clasificación por su estado

Los residuos sólidos se pueden clasificar de acuerdo con el estado físico en que se encuentren; existen por lo tanto tres tipos de residuos: sólidos, líquidos y gaseosos.

Tabla VII. **Porcentajes de los compuestos de los residuos sólidos**

Componente	Por ciento en peso (base seca)				
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
Papel y cartón	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2
Plásticos	60,0	7,2	22,8	0,0	0,0
Pet	60,0	7,2	22,8	0,0	0,0
Restos de comida	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4
Metales	4,5	0,6	4,3	0,1	0,0
Duroport	60,0	7,2	22,8	0,0	0,0
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,2
Vidrio	0,5	0,1	0,4	0,1	0,0
Papel higiénico y pañales	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2
Madera	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1
Desechos electrónicos	60,0	7,2	22,8	0,0	0,0
Tierra, ceniza, ladrillo, otros.	26,3	3,0	2,0	0,2	0,2

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George. *Gestión integral de residuos sólidos*. p. 60.

2.4. Clasificación por su origen

De acuerdo con su origen los desechos sólidos se clasifican de la siguiente manera:

- Residuos sólidos domiciliarios (RSD): son los que se generan en las viviendas de áreas rurales y urbanas, abarcan los residuos sólidos

orgánicos e inorgánicos. Varían en función de factores culturales asociados a los niveles de ingresos económicos, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. Algunas veces pueden presentarse desechos peligrosos como: medicina vencida, pesticidas de jardinería, pintura, aerosoles, baterías y lámparas fluorescentes.

- Residuos sólidos industriales: son los originados por procesos industriales ligeros y pesados, varían mucho dependiendo del tipo de industria que los genere como: proceso de alimentos, elaboración de productos de limpieza, fundición de acero, extracción de petróleo, y de otra índole. Los residuos peligrosos se presentan por el uso de químicos y la generación de escorias y fibras dañinas para el ser humano y el ambiente.

- Residuos sólidos hospitalarios: son los originados por los servicios de salud y bienestar humano o animal, en entes como: hospitales, laboratorios, bancos de sangre, farmacias y clínicas odontológicas, entre otros. En el Acuerdo Gubernativo 509-2001 de la República de Guatemala, por su peligrosidad los residuos hospitalarios se clasifican de la siguiente manera:
 - Residuos comunes: son los desechos orgánicos del servicio alimenticio e inorgánico, generados por actividades administrativas y generales que no presentan ningún riesgo para la salud, puede catalogárseles como domésticos.

 - Residuos bioinfecciosos: son todos los desechos que han sido utilizados para la curación o atención a los pacientes, presentan

diferentes niveles de peligro potencial por su exposición a patógenos, virus y bacterias, de acuerdo con el grado de exposición que hayan tenido con los agentes infecciosos como: jeringas, bisturís, algodones, órganos y tejidos, sangre, vacunas vencidas, cadáveres o partes de animales infectados, otros.

- Residuos especiales: son los generados durante actividades auxiliares de atención de salud y no tienen contacto con pacientes u otro elemento infeccioso. Son peligrosos debido a sus características como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, explosividad, toxicidad y radiactividad. Estos pueden ser: solventes, baterías usadas, productos de quimioterapia, limpieza, medicamentos vencidos, materiales radiactivos de equipos de rayos X y radioterapia.
- Residuos de construcción o demolición: son aquellos que resultan de la construcción, remodelación y reparación de edificios o de la demolición de pavimentos, casas, edificios comerciales y otras estructuras.
- Residuos agrícolas: son aquellos generados por la crianza de animales y la producción, cosecha y segado de cultivos y árboles, que no se utilizan para fertilizar los suelos.

2.5. Clasificación por tipo de manejo

Los residuos sólidos se pueden clasificar por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado.

- Peligrosos: son residuos que por su naturaleza son relativamente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud, ya que pueden ser vehículo de infección a los seres humano o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición ya que son tóxicos.
- Inerte: residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- No peligroso: se considera un residuo sólido no peligroso al que proviene de casas habitación, sitios de servicio privado y público, demoliciones y construcciones, establecimientos comerciales y de servicios que no tengan efectos nocivos sobre la salud humana.

2.6. Ciclo de los residuos sólidos domiciliarios

Los residuos se generan en los procesos de producción y de consumo, impactado en el ambiente por su peligrosidad; los daños causados por los residuos sólidos al ambiente, causan deterioro, contagio, desequilibrio, o alteración. “Residuos sólidos domiciliarios: residuos sólidos, basuras, desechos o desperdicios generados en viviendas y en establecimientos tales como edificios habitacionales, locales comerciales, locales de expendio de alimentos, hoteles, establecimientos educacionales y cárceles.”⁹

La definición de ciclo es una serie de fases por los que pasa un fenómeno periódico hasta que se reproduce una fase anterior, es decir, vuelve a empezar.

⁹ MORENO PRADENA, Luis Alfredo. *Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos*. p. 39.

Los residuos sólidos no tienen esas características ya que su ciclo no se cierra y no se integra a un ciclo natural, es por esa razón que sin una adecuada gestión y tratamiento éste puede ser nocivo para la salud humana y generar un impacto negativo al medio ambiente.

De manera general el ciclo de los RSD se compone de dos fases:

- **Generación:** consiste en el proceso de desechar aquellos materiales no deseados por parte de las familias. Es básico contar con información referente a la generación de residuos sólidos en la fuente, para establecer la naturaleza y porcentaje del tipo de desecho.

- **Gestión:** es el conjunto de operaciones encaminadas a darles el destino final más eficiente a los residuos sólidos domiciliarios, considerando los aspectos ambientales, sanitarios y económicos. La gestión de residuos puede abarcar sustancias sólidas, líquidas o gaseosas con diferentes métodos para cada una. Comprende las etapas de:
 - **Recolección:** esta etapa consiste en retirar los residuos sólidos domiciliarios de cada punto de generación.

 - **Transporte:** es aquel que lleva el residuo o basura recolectada, generalmente por camiones, hasta su lugar de disposición final o bien, solo hasta las llamadas estaciones de transferencia, donde los residuos son transbordados a camiones de mayor capacidad y tonelaje para transportarlos a su lugar de destino a menor costo por tonelada.

- Tratamiento intermedio: son sistemas productivos que utilizan los residuos como materia prima y que, en su proceso, generan a su vez desechos que requieren de un lugar de disposición final. El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Los tratamientos intermedios más conocidos son la incineración, el compostaje y el reciclaje.
- Disposición final: sitio donde toman lugar las últimas acciones para el manejo de los residuos sólidos, ya sea generados por los tratamientos intermedios o la disposición directa de los RSD, como un relleno sanitario.

Al momento de implementar los procesos de gestión integral, deben tomarse en cuenta aspectos culturales y de aceptación, y propiciar los cambios por medio de campañas informativas y de concientización ambiental.

2.7. Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios

La finalidad de un estudio de caracterización, es identificar las fuentes, características y cantidades de residuos generados; son útiles para obtener información confiable sobre la cantidad y composición de los desechos sólidos domiciliarios, a fin de hacer las proyecciones necesarias durante la planificación de un sistema de recolección del proyecto. Las características y heterogeneidad de la basura, influye en aspectos geotécnicos como la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad.

Existen diferentes metodologías para la caracterización de los residuos sólidos, pero para el área latinoamericana se utilizan los lineamientos

establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y Organización Panamericana de la Salud (OPS) (método sencillo del análisis de residuos sólidos) elaborado por el Dr. Sakurai Kunitoshi.

3. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RELLENO SANITARIO

Los lugares en donde los residuos sólidos son depositados para su disposición final, se les llaman vertederos o rellenos sanitarios cuando reúnen ciertas características y criterios de ingeniería. Algunos de estos sitios de disposición final son:

- Vertedero semicontrolado
- Relleno sanitario manual
- Relleno sanitario semimecanizado
- Relleno sanitario mecanizado

Los rellenos sanitarios son técnicas de disposición final de residuos sólidos en el suelo, que requieren de la utilización de áreas de terreno debidamente impermeabilizadas para la colocación de capas de desecho; estas son compactadas y cubiertas con material selecto a fin de confinarlo de manera adecuada, sin que esto constituya un peligro a la salud pública o el medio ambiente. Prevé, además, el manejo de los gases y líquidos (lixiviados) que se generan durante el proceso de descomposición de la materia orgánica.¹⁰

Tanto la fase de construcción como la de operación de los rellenos sanitarios, se ven condicionados por diferentes factores, los que deben considerarse durante el diseño.

El método constructivo y la operación de un relleno sanitario se determinan principalmente por la topografía del terreno seleccionado, la fuente de material de cobertura y la profundidad del nivel freático. De acuerdo con las características del área se puede construir tres tipos de relleno sanitario: de zanja, superficie y ladera; en los tres tipos se construyen celdas en donde se compacta y entierran

¹⁰ CANTANHEDE, Álvaro y SANDOVAL, Leandro. *Rellenos sanitarios manuales*. http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/tecapropiada/desinfec/rellenos_sanitarios.htm. Consulta: 16 de julio de 2019.

los desechos sólidos que reciben, de acuerdo al tipo serán los requerimientos de maquinaria pesada en su construcción y operación.¹¹

3.1. Ubicación

De acuerdo con Álvaro Cantanhede y Leandro Sandoval, la ubicación apropiada de un relleno sanitario juega un papel fundamental en el éxito del sistema desde el punto de vista de salud pública, protección ambiental, económica y la aceptación general pública. Entre los problemas ambientales que impactan en la actualidad se encuentra la escasez de áreas para la disposición final de los residuos sólidos.

Para el diseño de un relleno sanitario se deben considerar varios aspectos técnicos, que en conjunto dan como resultado una eficiente infraestructura.

- Hay que tener en cuenta los recursos existentes y las condiciones del terreno para cada localidad, así como la protección del patrimonio natural o cultural de la zona para no entrar en conflicto con la población.
- Distancias para la disposición final de los residuos sólidos: este parámetro debe ser estudiado, ya que una distancia muy larga hará que el costo del transporte se eleve (el tiempo de recorrido determina el número de viajes diarios), así como la cantidad de desechos que cada uno de los vehículos transportará. Todo esto influye en la tasa que debe de pagar el usuario para costear el servicio.
- Área disponible: de preferencia la capacidad del sitio tenga una vida útil de por lo menos 10 años. El sitio tiene que ser lo suficientemente grande

¹¹ *Relleno sanitario*. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/unidad3.pdf. Consulta: 17 de julio de 2019.

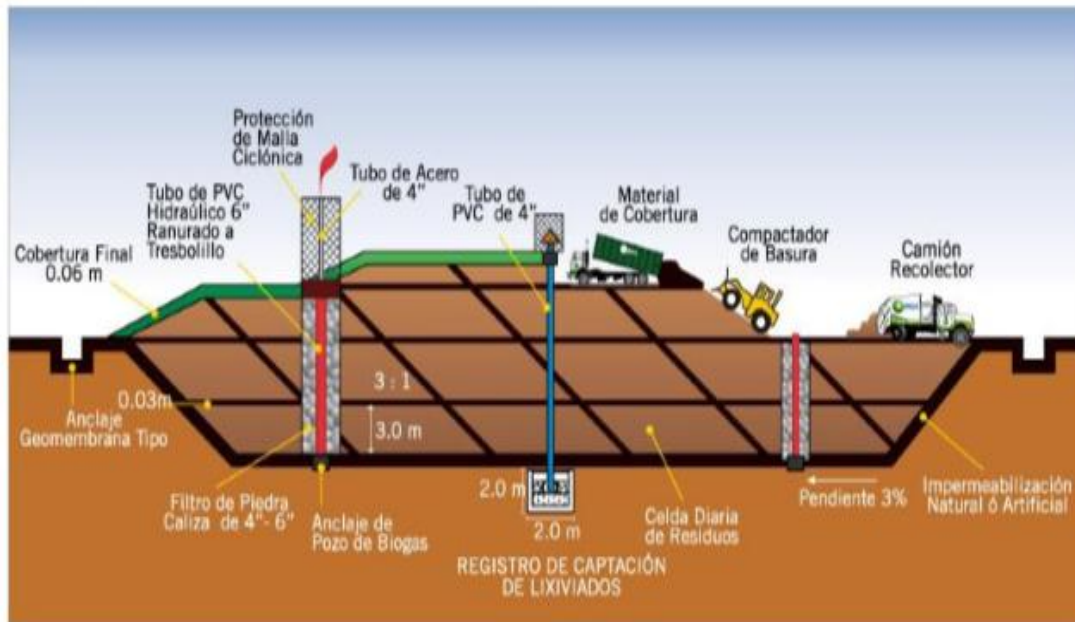
para poder absorber los residuos sólidos de la población existente y los de la población futura para que su vida útil sea compatible con los costos de construcción y operación.

Los rellenos sanitarios deben localizarse en zonas estables desde el punto de vista geológico, es decir, no sometidas a procesos de inestabilidad de laderas, inundaciones, subsidencias; también, la permeabilidad del suelo y continuidad de los materiales del subsuelo; desde el punto de vista hidrológico, en que magnitud está sometida a procesos geomorfológicos provocados por las precipitaciones.

3.2. Tipo de suelo

Es frecuente que los terrenos con los que se cuenta para la ubicación de los rellenos sanitarios no reúnen las condiciones ideales para la construcción de este tipo de obra. Por lo tanto, se deben clasificar aquellos que presenten buenas características; deben analizarse sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles.

Figura 13. Corte relleno sanitario



Fuente: MORENO PRADENA, Luis Alfredo. *Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos*. p. 39.

La textura general de un suelo depende del tamaño de las partículas que lo constituyen:

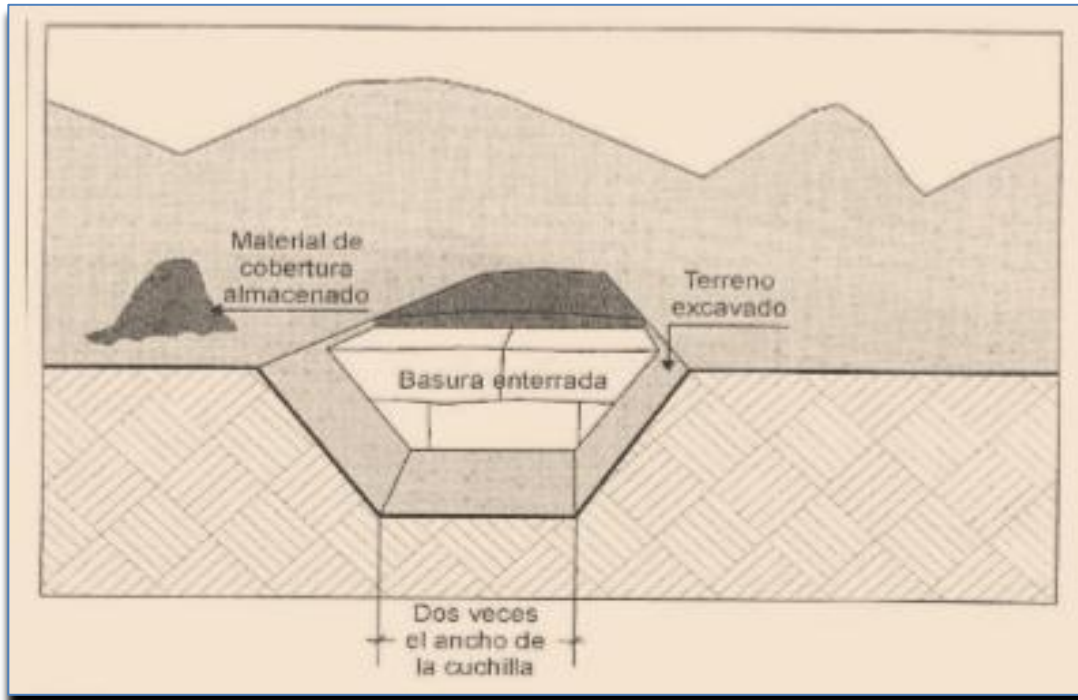
- Suelo arenoso: las partículas de arena tienen diámetros entre 0,05 y 2 mm.
- Suelo limoso: es un tipo de suelo muy compacto, aunque no llega a tener la consistencia del arcilloso, y es el resultado de la sedimentación de materiales muy finos que arrastran las aguas o deposita el viento; sus partículas tienen diámetros entre 0,002 y 0,05 mm.

- Suelo arcilloso: las partículas de arcilla son invisibles y forman una masa viscosa al mojarse. Los suelos arcillosos en su mayor parte, están compuestos por un mineral conocido como arcilla, el cual los dota de una textura pesada que se vuelve pegajosa con la humedad y se endurece por la falta de agua; sus partículas tienen diámetros menores de 0,002 mm.

La selección del método constructivo depende del tipo de suelo en el que se trabajará.

- El método de área es práctico para aquellos terrenos en los que resulta imposible realizar excavaciones, ya sea por la profundidad de las napas de agua o por las características del suelo que hagan que el mismo no pueda excavar. Debe contarse con depresiones naturales que sean factibles de ser rellenadas.
- El método de trinchera se emplea cuando las características estratigráficas del suelo y la profundidad de las napas de agua permitan realizar excavaciones. Esta excavación debe llegar a una distancia no menor al metro y medio a las napas de aguas.

Figura 14. **Relleno sanitario tipo trinchera**



Fuente: elaboración propia.

3.3. **Estabilidad geotécnica**

Uno de los grandes desafíos en ingeniería geotécnica es entender y cuantificar las propiedades geotécnicas de los RSD en los rellenos sanitarios. "Geotecnia es la ciencia que se dedica al estudio de las propiedades de suelos, rocas y materiales artificiales, así como a la resolución de problemas de fundaciones o excavaciones en ellos o a su empleo como material de construcción (presas, terraplenes, vías de comunicación, otros)."¹²

¹² *Estabilidad geotécnica*. <https://docplayer.es/18577984-Geotecnia-ambiental-en-rellenos-sanitarios.html>. Consulta: 19 de enero de 2019.

Considerando que el suelo es el soporte físico de las actividades constructivas, la geología permite el conocimiento de las características y propiedades del suelo. En la actualidad, existe una creciente participación de los profesionales geotécnicos en las etapas de elección del emplazamiento, diseño, construcción, cierre, sellado y reinserción de rellenos sanitarios.

Entre las actividades de la geotecnia ambiental relacionados con el saneamiento se incluyen:

- Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios
- Utilización de rellenos sanitarios como apoyo de estructuras livianas

El uso de una metodología de caracterización geotécnica en rellenos sanitarios permite evaluar su estabilidad global, a partir de la definición de los parámetros resistentes y condiciones mecánicas en el terreno. Algunos de los objetivos de esta actividad son:

- Caracterizar geotécnicamente el relleno sanitario.
- Analizar la compresibilidad del relleno.
- Analizar la capacidad portante del relleno.
- Analizar la estabilidad de los taludes del relleno.
- Elaborar recomendaciones metodológicas, para evaluar las condiciones de estabilidad de rellenos sanitarios.
- Determinar la factibilidad técnica de realizar proyectos de rehabilitación.

3.4. Pendiente del terreno

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno, en el caso de los rellenos sanitarios un terreno plano es apropiado para el método de trinchera, un terreno accidentado es apropiado para los métodos de área o cañón.

”Se entiende bajo el nombre genérico de taludes cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente la estructura de tierra. Se clasifican en taludes naturales (laderas) y taludes artificiales (cortes y terraplenes). La estabilidad de los taludes en los rellenos sanitarios es evaluada generalmente por procedimientos geotécnicos convencionales”.¹³

3.5. Vías de acceso

El relleno sanitario deberá estar cerca de una vía principal pavimentada de preferencia; esto permite el transporte fácil y económico de los residuos sólidos en camiones y el transporte de maquinaria pesada; una vía pavimentada previene el deterioro en el equipo. En su defecto puede ser una vía de acceso en buen estado o mantenerla en las condiciones adecuadas de tránsito vehicular.

Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo con las especificaciones siguientes:

- Ser de trazo permanente.

¹³ MORENO PRADENA, Luis Alfredo. *Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos*. p. 5.

- Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno.

Los caminos interiores deben cumplir con las especificaciones siguientes:

- Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores hasta el frente de trabajo del relleno.
- Deberán ser de tipo temporal y no presentar pendientes mayores a 5 %.
- Deberán tener los radios de giro adecuados.

Debe definirse la ubicación y componentes de la zona de entrada y de salida al relleno; ésta se integra por la puerta principal del relleno sanitario, la caseta de registro y la báscula; en esta área el vehículo registra su entrada, se autoriza para que continúe hacia la zona de descargue y se autoriza también su salida.

El área de descargue, es la zona de trabajo donde el camión de basura llega del área de entrada, deja la basura lo más cerca posible del frente de trabajo de la celda diaria. Las vías de circulación para la operación del relleno sanitario son caminos que se utilizarán para transitar sobre las plataformas y sobre los niveles ya compactados de celdas diarias que dispongan de cobertura.

Estos caminos se implementarán en la medida en que se van colocando las celdas y elevando los diferentes niveles o etapas del cuerpo piramidal del relleno sanitario.

4. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

La caracterización de los desechos sólidos domiciliarios (residuos sólidos domiciliarios) en la aldea Los Esclavos es un parámetro importante para la toma de decisiones en proyecciones y diseños de sistemas de manejo y disposición final de desechos sólidos.

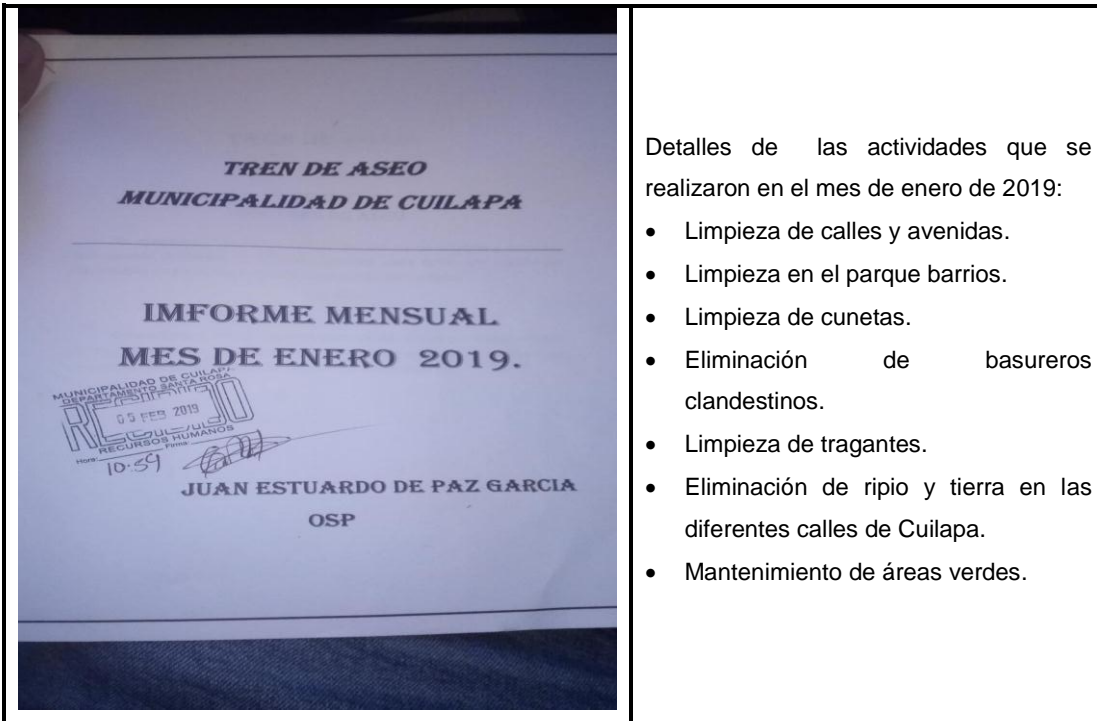
En el presente trabajo se evaluaron los RSD generados por la población de la aldea, con el objetivo de obtener datos cualitativos y cuantitativos, que permitan generar una propuesta para el mejoramiento del manejo de los desechos, mediante el uso de métodos de reciclaje y reutilización para minimizar el trabajo empleado en su disposición final y reducir el impacto ambiental que éstos producen.

La metodología utilizada para la caracterización de los residuos se basa en el método simplificado propuesto por Kunitoshi Sakurai y publicado por OPS y CEPIS.

4.1. Situación actual de los residuos sólidos

Es importante conocer la variación de la cantidad y composición de los residuos sólidos para su adecuado manejo y destino final; en el departamento de Santa Rosa, en los últimos cinco años, la generación de residuos sólidos presentó una tendencia creciente; alcanzó en 2013 un total de 49 407 toneladas, volumen superior en 2,2 % al total generados en 2012, cuando se registraron 48 324 toneladas.

Figura 15. **Gestión de residuos sólidos Municipalidad de Cuilapa**

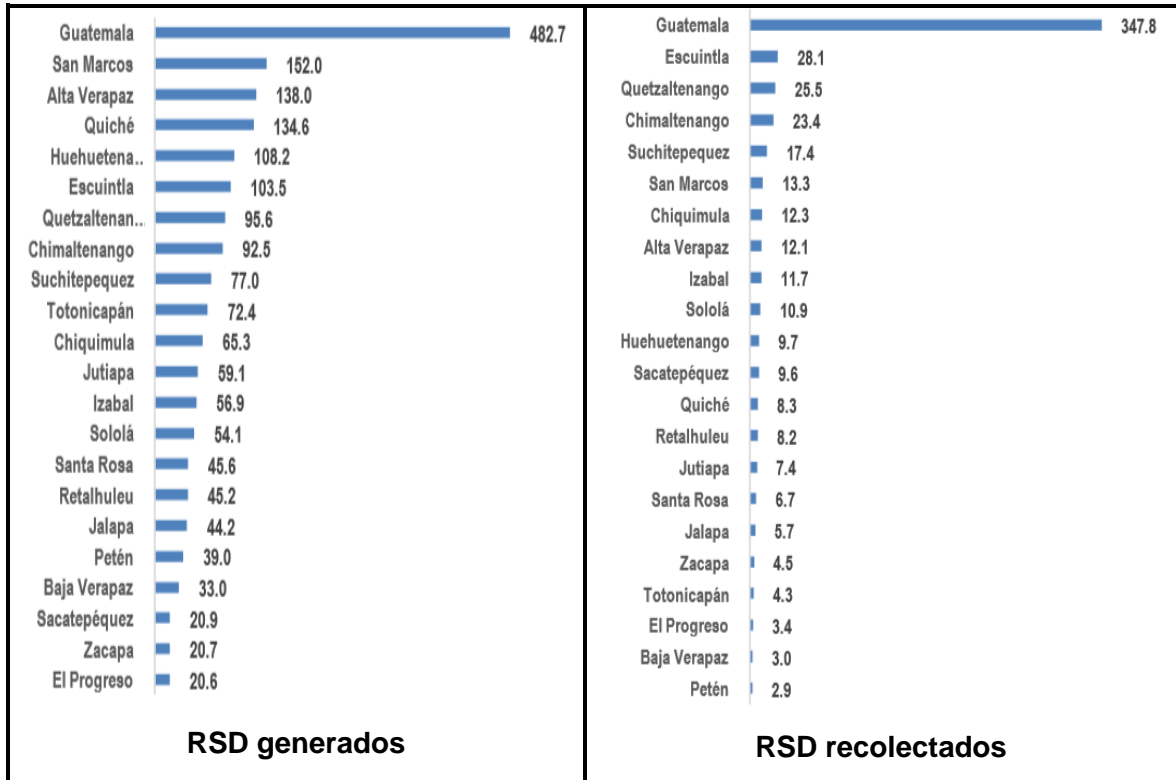


Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el INE, "en promedio, Guatemala solo recolecta el 20 % de los desechos sólidos generados. En el año 2000 se recolectaron 442,8 miles de toneladas, mientras que en el año 2014 fueron 576,0 es decir 133,2 miles de toneladas más, sin embargo, es de considerar que el aumento de los desechos va en forma proporcional al aumento de la población."¹⁴

¹⁴ INE. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala 2014*. p. 187.

Figura 16. **Estimación de residuos sólidos domiciliarios generados y recolectados en Guatemala, año 2014 (miles de toneladas)**



Fuente: INE. *Compendio estadístico ambiental de Guatemala 2014*. p. 187.

En la actualidad, la aldea Los Esclavos se ve afectada por el mal manejo de los residuos sólidos, debido a la falta de un basurero municipal controlado o relleno sanitario; se usa para su disposición el río Los Esclavos, basureros clandestinos y la quema. Las personas utilizan diferentes tipos de recipientes para almacenar sus residuos sólidos previo a ser recolectados, los más comunes son: costales, recipientes plásticos y cajas de cartón.

Figura 17. **Botaderos no autorizados cercanos al río Los Esclavos, aldea Los Esclavos**



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

La extracción de residuos sólidos domiciliarios en la aldea es realizada por una empresa privada por un costo mensual; incluye los barrios La Reforma, El Cementerio, La Ceiba, El Centro y la calle de la iglesia católica. Se cuenta con un camión recolector y se recolectan los residuos una vez por semana (día lunes); los residuos se trasladan a un basurero a cielo abierto ubicado en

costado del camino que conduce hacia la aldea El Quebracho, del municipio de Barberena, Santa Rosa.

Figura 18. **Basurero a cielo abierto, aldea El Quebracho del municipio de Barberena, Santa Rosa**



Fuente: Municipalidad de Cuillapa, Santa Rosa.

En la aldea no existen empresas que se encarguen del reciclaje de los RSD; el cartón, papel, plástico, aluminio y hierro se recolectan y se trasladan hacia centros de acopio que actúan como intermediarios, fuera de la aldea.

4.2. Metodología

El análisis del manejo actual de los residuos sólidos domiciliarios en la aldea Los Esclavos, se desarrolló con base en el conjunto de procedimientos y políticas que conforman el sistema de manejo de los residuos, con el objetivo de contar con una gestión que sea ambiental y económicamente adecuada.

- Uso de mapas y herramientas auxiliares, así como un recorrido físico en el área de interés.

Figura 19. **Mapa, casco urbano, aldea Los Esclavos**



Fuente: INE. *Municipio de Cuilapa, diciembre 2018*. p. 74.

- Identificar las fuentes de generación de residuos sólidos en la aldea: fuentes de generación domiciliaria y no domiciliares (comercios, instituciones educativas, instituciones públicas, otros).

Figura 20. Manejo de residuos generados en comercio, aldea Los Esclavos



Fuente: Municipalidad de Cuilapa, Santa Rosa.

- Estratificar las muestras de acuerdo con el criterio escogido; dadas las diferencias en habitabilidad y estratos socioeconómicos que se presentan en la aldea, se han estratificado las muestras en niveles socioeconómicos.

Tabla VIII. **Resumen, estratificación de viviendas, aldea Los Esclavos**

Tipo de vivienda	Cantidad total viviendas	Cantidad viviendas muestra	porcentaje viviendas muestra
Viviendas techos, muros y piso de concreto.	290	17	50
Viviendas techos de otros materiales y paredes de blocks.	210	13	38
Viviendas techos y muros de otros materiales.	69	4	12
Total	569	34	100 %

Fuente: elaboración propia.

- Socialización del estudio: se realizó contando con el apoyo y la colaboración de los vecinos y los trabajadores municipales, quienes se comprometieron a no recolectar los residuos en las viviendas participantes durante el período de muestreo.
- Brindar información a la población acerca del propósito de la realización del estudio de caracterización, de la forma correcta de su participación y se hizo entrega además de las primeras bolsas para el almacenamiento intradomiciliario de los residuos sólidos a las viviendas seleccionadas.
- Determinar el tamaño de la muestra de viviendas necesarias para la realización del estudio, se debe considerar un nivel confianza, un nivel de error de estimación y un valor de variación, como no existen datos iniciales de la aldea. De acuerdo con la información existente, se tiene que:
 - Desviación estándar, $\sigma = 0,200 \text{ kg/hab./día}$
 - $\sigma^2 = 0,04 \text{ kg/hab./día}$

- Nivel de confianza utilizado es 95 %, $1-\alpha = 0,95$
- Nivel de confianza 95 %, entonces $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$
- Promedio estimado = 0,655 kg/hab./día
- Error de estimación = 10% del promedio estimado ($E=0,0655$)
- Tamaño de población es $N = 569$ viviendas

Luego el tamaño de la muestra total estaría dado por:

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

$$n = \frac{1,96^2 * 569 * 0,04}{(569 - 1)0,0655^2 + 1,96^2 * 0,04} = \frac{87,4}{2,43 + 0,153}$$

$$n = \frac{874}{2583} = 33,8 \approx 34 \text{ viviendas}$$

- Por último, se aplicó la encuesta y toma de muestras, de acuerdo a la estratificación y el tamaño de la muestra (ver anexo 1).

Figura 21. **Encuesta a vecinos**



Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Generación de residuos

La generación de residuos sólidos se define como la acción de producir basura por unidad productora en determinado periodo de tiempo y está dada en kg/hab./día o su equivalente.

La recolección de muestras fue realizada con el apoyo de un grupo de vecinos que se encargó de la recolección de bolsas con los residuos sólidos, durante cinco días consecutivos.

Figura 22. Fase recolección muestras RSD



Fuente: elaboración propia.

El transporte y la segregación de los residuos sólidos se realizó con la colaboración de vecinos, para esto se requirió de un espacio físico amplio, donde se pudieran desarrollar de manera eficiente las labores de descarga, pesaje y análisis de composición física.

Figura 23. Condiciones de manejo y almacenamiento temporal de RSD



Fuente: elaboración propia.

- Los parámetros a determinar son la generación *per cápita* domiciliaria, la generación por vivienda y composición de los RSD.

- La generación de residuos sólidos domiciliarios se determinó por pesaje directo de las muestras. Para esta actividad se utilizó una balanza con capacidad de 300 lb fuerza y una precisión de $\pm 0,6125$ lb.

Figura 24. **Determinación peso RSD**



Fuente: elaboración propia.

- La generación *per cápita* (producción por cada habitante) de residuos sólidos se determinó en cada vivienda y al final se calculó el promedio de todas las viviendas; este resultado permite obtener la producción por

persona por día, para cada vivienda. Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$ppc = \frac{\text{peso muestra (kg)}}{\text{No. de habitantes}} / \text{día}$$

4.2.2. Determinación de la composición física de los residuos

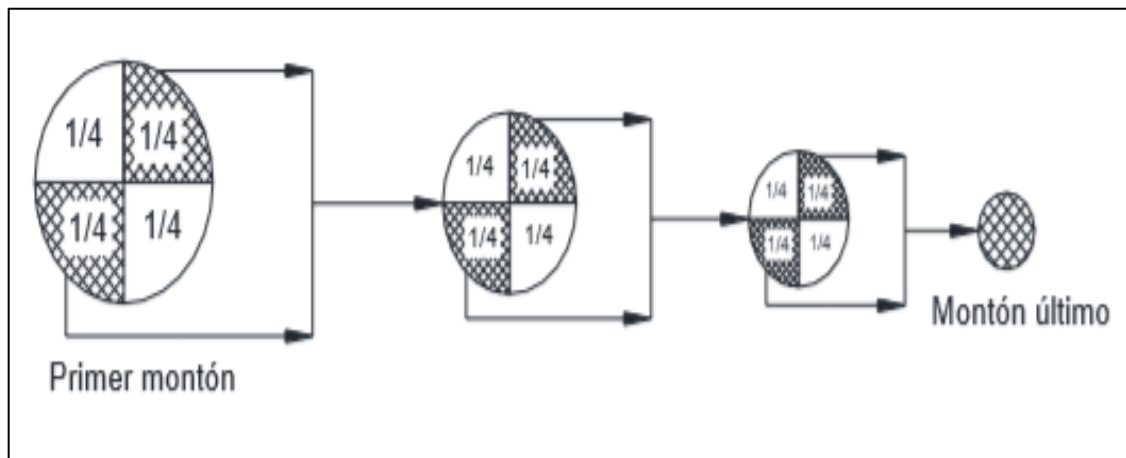
La composición y densidad de la basura llevada a un relleno sanitario son diferentes a la basura generada, debido a la recuperación de diferentes materiales, a la compactación y ablandamiento que se realizan en el transcurso del manejo de la basura.

Las actividades para la determinación de la composición física deben efectuarse lo más rápido posible, ya que durante el proceso los residuos pierden humedad. Para determinar la composición física de los RSD generados en la aldea Los Esclavos en cada vivienda y muestreo se realizaron las siguientes actividades:

- Traslado y manejo de las muestras recolectadas.
- Preparación de la superficie del terreno para la determinación de la densidad y composición física de los residuos sólidos: para lo anterior se colocó un nylon sobre el suelo, a fin de evitar que los residuos entraran en contacto directo con el piso; se disminuyó de esta forma la alteración de la muestra.
- Identificar y pesar cada bolsa generada durante ese día, en el área designada.

- Preparación de la muestra, para la determinación de la composición física y densidad de los desechos sólidos; la muestra se prepara de acuerdo con el método de cuarteo para homogenizarlas.

Figura 25. **Preparación de muestras, método del cuarteo**



SAKURAI, Kunitoshi. *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. p. 54.

- Determinación de la composición física de los residuos sólidos, se clasifican y se calcula el porcentaje de cada uno de los componentes con base en el dato de la masa total de la muestra última y la masa peso de cada componente.
- Las muestras analizadas fueron descartadas en forma diaria para la disposición final de los residuos sólidos.

Figura 26. **Determinación de la composición física RSD**



Fuente-: elaboración propia.

- Determinación del contenido de humedad RSD: se preparó una muestra que fue trasladada al centro de investigaciones para su evaluación.
 - Norma AASHTO T-265: este procedimiento se usa para determinar el contenido total de humedad de un suelo. La muestra se seca para eliminar toda la humedad libre, se mide el peso de la humedad eliminada.

Cálculo del porcentaje de humedad RSD:

$$A = [(B - C)/(C - D)] \times 100$$

Donde:

- A = porcentaje de humedad
 - B = masa de muestra original (húmeda) y contenedor
 - C = masa de muestra seca, y contenedor
 - D = masa del contenedor
-
- Norma ASTM D-2216: este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado, se debe a la pérdida de agua. Además, algunos materiales orgánicos pueden descomponerse por secado en el horno a la temperatura de secado estándar para este método (110 °C).

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W1 - W2}{W2 - Wt} * 100 = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%)
- Ww = peso del agua
- WS = peso seco del material
- W1 = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos
- W2 = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos

- Wt = es el peso de tara, en gramos

4.2.3. Determinación del peso específico de los residuos sólidos

Es el peso de un material por unidad de volumen y se le denomina también como densidad; este es un parámetro fundamental para la correcta gestión de los RSD.

Luego de preparar la muestra de los residuos de acuerdo con el método de cuarteo, se determinó su densidad utilizando una cubeta de 5 galones (0,019 m³), de la que se conocía el peso y volumen; determinados los valores promedio de densidad suelta y compactada (se ejerce una fuerza manual sobre los RSD depositados en el recipiente para expulsar el aire acumulado y ocupar los espacios libres), de acuerdo a los establecido el volumen compactado es menor que el volumen suelto.

Para su cálculo se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{peso muestra (kg)}}{\text{Volumen recipiente (m}^3\text{)}}$$

Figura 27. Evaluación densidad RSD



Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Valorización de los residuos solidos

Conociendo la composición física y química de los residuos, se puede determinar cuáles de estos son susceptibles a valorización.

Figura 28. Tipos de RSD generados en la aldea Los Esclavos, con posibilidades de reutilización y reciclaje



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los tipos de RSD₁ generados en la aldea Los Esclavos, los que son posibles de incorporar a un programa de reutilización y reciclaje son los siguientes:

- Posibilidad de reutilización y reciclaje de metales: es el proceso de fundir metales que hayan sido utilizados para distintos fines y luego darles un nuevo uso. Los metales más comunes para reciclaje son el cobre, acero y aluminio por ser abundantes materiales para la fabricación de productos. Las latas que se entregan se aplastan, se empacan y se transportan hasta las fábricas o las plantas de recuperación, donde se trituran para reducir su volumen.
- Posibilidades de reutilización y reciclaje papel y cartón: los fabricantes de papel compran el papel residual usado, basándose en la fuerza y el rendimiento de la fibra y en el brillo, según el tipo de producto fabricado.
- Posibilidades de reutilización y reciclaje plásticos: los principales tipos de plásticos reciclados actualmente son:
 - Politereftalato de etileno (PET/1)
 - Polietileno de alta densidad (PE-HD/2)
 - Policoruro de vinilo (PVC)
 - Polietileno de baja densidad (PE-LD)
 - Polipropileno (PP)
 - Poliestireno (PS)
 - Plásticos mezclados y multilaminados (otros)

- Posibilidades de reutilización y reciclaje vidrio: el proceso de reciclar vidrio consiste en fundirlo para hacer un nuevo vidrio, casi todo el vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes y botellas de vidrio.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentan y analizan los resultados del estudio de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en la aldea Los Esclavos, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa; para esto se contó con la colaboración y participación de las autoridades de la municipalidad de Cuilapa y los pobladores de la aldea; también, se analizó información elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y de diferentes fuentes.

5.1. Resultados encuesta

El estudio incluyó el uso de un cuestionario que permitió conocer información importante y la opinión de los pobladores en lo relacionado a la gestión de los RSD en la aldea (ver anexo 1).

De acuerdo con la metodología establecida, se pasó un total de 34 boletas a igual número de viviendas en la aldea Los Esclavos; a continuación, se presenta el análisis de los resultados, de acuerdo con el formato del cuestionario elaborado.

- Información general
 - Edad entrevistado: de preferencia se solicitó que fuera una persona mayor de 15 años la que contestara la encuesta; de acuerdo con los resultados, las edades se distribuyen entre 18 y 68 años; la mayoría de los encuestados se encuentra en el rango de 26 a 30 años (27 %) y en el rango de 15 a 20 años (21 %).

- Tiempo de vivir en la vivienda: de acuerdo con lo indicado la mayoría de los entrevistados son propietarios, con bastante tiempo de vivir en el lugar (entre 7 y 60 años), más del 75 % de los encuestados tienen más de 20 años de vivir en la aldea.
- Cuántas personas viven en su hogar: esta información es necesaria para calcular la densidad de población y los datos relacionados con la generación de RSD en la aldea. Los resultados se distribuyen entre 1 y 8 personas por vivienda. En la mayoría de las viviendas evaluadas viven 3 y 4 personas (28 % c/u) y con dos personas el 21 %.
- De acuerdo con los ingresos económicos totales en su hogar, usted se considera dentro de un nivel económico: esta información permite conocer la capacidad de pago para el manejo de los RSD en la aldea. De acuerdo a lo indicado por los entrevistados la mayoría se ubica en un nivel medio (90 %), el resto se ubica en un nivel bajo (10 %).
- ¿De qué forma dispone sus RSD?: los resultados muestran la manera de disposición que actualmente utilizan los entrevistados, la mayoría responde que cuenta con servicio de recolección (86 %), el resto la quema o entierra (7 % c/u).

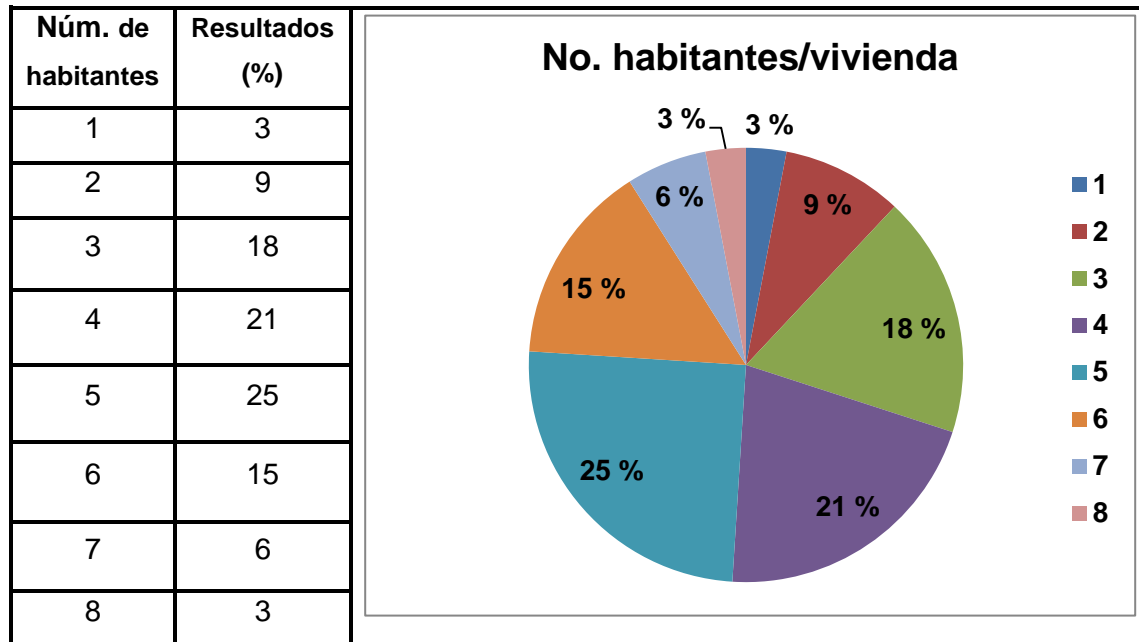
Tabla IX. **Resultados número de habitantes/vivienda**

Núm. casa	Núm. habitantes	Núm. casa	Núm. habitantes	Núm. casa	Núm. habitantes
1	4	16	6	31	3
2	4	17	6	32	2
3	5	18	4	33	4
4	1	19	3	34	5
5	3	20	2		
6	3	21	5		
7	3	22	5		
8	4	23	3		
9	6	24	2		
10	4	25	7		
11	5	26	6		
12	5	27	4		
13	7	28	5		
14	5	29	5		
15	6	30	8		

Total habitantes	150
Densidad de población hab./vivienda	4,41

Fuente: elaboración propia.

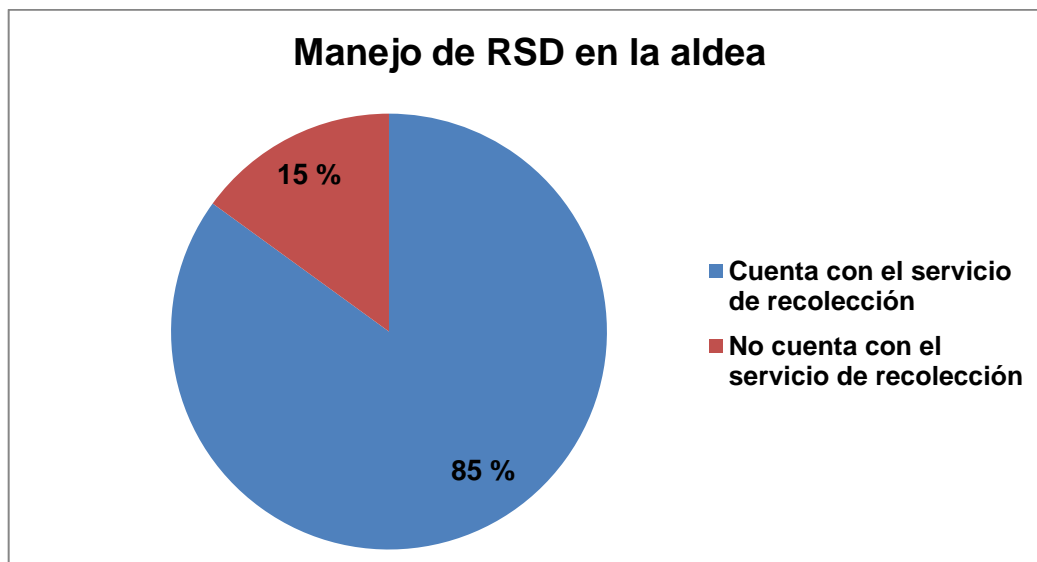
Tabla X. **Distribución resultados No. de habitantes por vivienda**



Fuente: elaboración propia.

- Información sobre servicios para desechos sólidos en la aldea
 - ¿Cuentan con sistema de recolección de RSD?: para evaluar si el entrevistado conoce sobre el manejo de RSD en su vivienda e identificar quienes cuentan con este servicio. De acuerdo a los resultados la mayoría indica contar con el servicio privado de recolección de RSD (85 %), el resto (15 %) responde que no; la frecuencia con que son retirados es de una vez por semana.

Figura 29. **Resultados manejo de RSD en la aldea**



Fuente: elaboración propia.

- ¿Cómo califica el servicio de recolección de RSD en la aldea?: de acuerdo con lo establecido el servicio es confiable y regular con poca incidencia de falla. La mayoría lo califica como bueno (90 %) indicando no tener problemas con el servicio, el resto (10 %) lo considera regular sugiriendo mejorar los horarios y capacitar al personal.
- Información sobre el manejo de residuos sólidos en la aldea
 - Es consciente de que los RSD causan impactos negativos a su salud: para conocer si el entrevistado identifica los riesgos relacionados con el manejo de los RSD; la mayoría (90 %) responde conocer este problema, el resto (10 %) indica no conocer sobre el tema.

- Conoce algún basurero no autorizado en la aldea: debido a la extensión territorial de la aldea, es fácil que los vecinos identifiquen su ubicación; el total de los entrevistados (100 %) responde si conocer.

El 50 % de los entrevistados indican conocer el destino final de los RSD generados en la aldea, identificando a Barberena o Chiquimulilla como el sitio de disposición final de los RSD.

- Cree que los RSD pueden reciclarse: el total de los entrevistados responden que sí, debido a su valor o por cuidar el ambiente. El 90 % de los entrevistados indica estar dispuesto a colaborar con la separación de los RSD en sus viviendas.
- Apoyaría la construcción de un relleno sanitario en la aldea: de acuerdo con los resultados el 80 % si apoyaría, el resto (20 %) indica que no debido a los olores y enfermedades que se pueden generar.

5.2. Generación de residuos

La generación de residuos sólidos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre. A continuación, se presentan los resultados, las tablas, las gráficas y los análisis relacionados con la generación de residuos en la aldea.

- Generación RSD diaria/vivienda: se refiere a los RSD generados en cada vivienda por muestreo, se presentan los valores promedio.

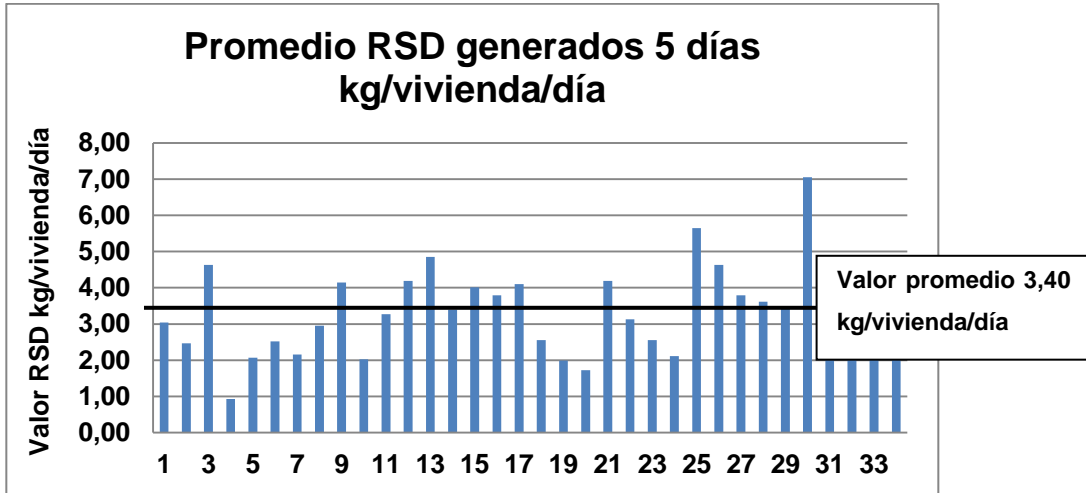
- Generación RSD vivienda/día: se refiere a los resultados de cada muestreo por vivienda.
- Promedio RSD generados en los cinco días de muestreo por vivienda.

Tabla XI. **Resultados muestreos RSD aldea Los Esclavos**
(kg/vivienda/día)

Núm. casa	Núm. habitantes	Día núm. 1 Jueves	Día núm. 2 Viernes	Día núm. 3 Sábado	Día núm. 4 Domingo	Día núm. 5 Lunes	Promedio
1	4	0,881	4,409	4,410	3,086	2,425	3,042
2	4	1,543	3,307	1,763	3,087	2,646	2,469
3	5	5,512	5,293	4,409	3,307	4,630	4,630
4	1	0,881	0,661	1,102	0,440	1,543	0,925
5	3	1,102	2,866	1,984	2,646	1,763	2,072
6	3	1,763	1,323	1,543	3,988	3,969	2,517
7	3	1,323	1,984	2,866	1,543	3,086	2,160
8	4	3,087	4,630	1,763	1,984	3,307	2,954
9	6	5,732	3,087	2,204	5,732	3,969	4,145
10	4	1,984	1,323	2,425	1,984	2,423	2,028
11	5	3,307	1,984	3,087	3,969	3,988	3,267
12	5	3,768	3,307	3,969	5,292	4,630	4,193
13	7	4,630	4,630	5,512	4,630	4,850	4,850
14	5	3,528	3,307	3,528	3,527	3,086	3,395
15	6	3,307	4,409	3,969	4,851	3,527	4,013
16	6	2,866	2,866	4,189	3,988	5,071	3,796
17	6	3,969	3,748	3,969	4,189	4,630	4,101
18	4	2,425	2,646	1,543	3,307	2,866	2,557
19	3	1,984	1,763	2,205	1,984	1,984	1,984
20	2	1,102	1,984	1,543	2,204	1,764	1,719
21	5	3,969	4,189	3,086	4,189	5,512	4,189
22	5	3,086	3,087	3,748	2,866	2,866	3,131
23	3	1,987	3,307	3,086	1,764	2,645	2,558
24	2	1,984	1,323	1,763	3,087	2,425	2,116
25	7	7,717	3,307	3,748	9,040	4,409	5,644
26	6	5,512	4,189	3,968	4,410	5,071	4,630
27	4	1,984	3,086	3,086	9,040	1,763	3,792
28	5	3,528	2,866	4,409	3,528	3,748	3,616
29	5	4,630	2,204	3,528	3,087	3,748	3,439
30	8	9,480	6,394	4,189	7,497	7,717	7,055
31	3	1,764	1,984	3,086	3,968	3,969	2,954
32	2	1,984	2,205	2,205	3,087	3,086	2,513
33	4	2,645	1,543	3,969	1,323	3,748	2,646
34	5	3,087	5,291	1,984	3,748	3,307	3,483
RSD promedio diario (kg/día/vivienda)		108,051	104,502	103,838	126,372	120,171	3,40
Total kg		562,93					

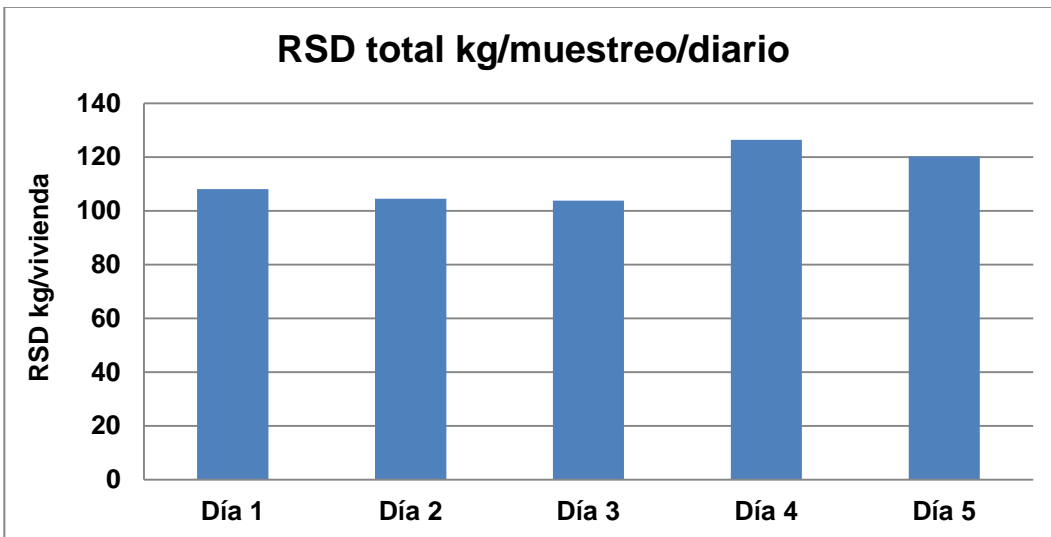
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Resultados promedio RSD 5 días



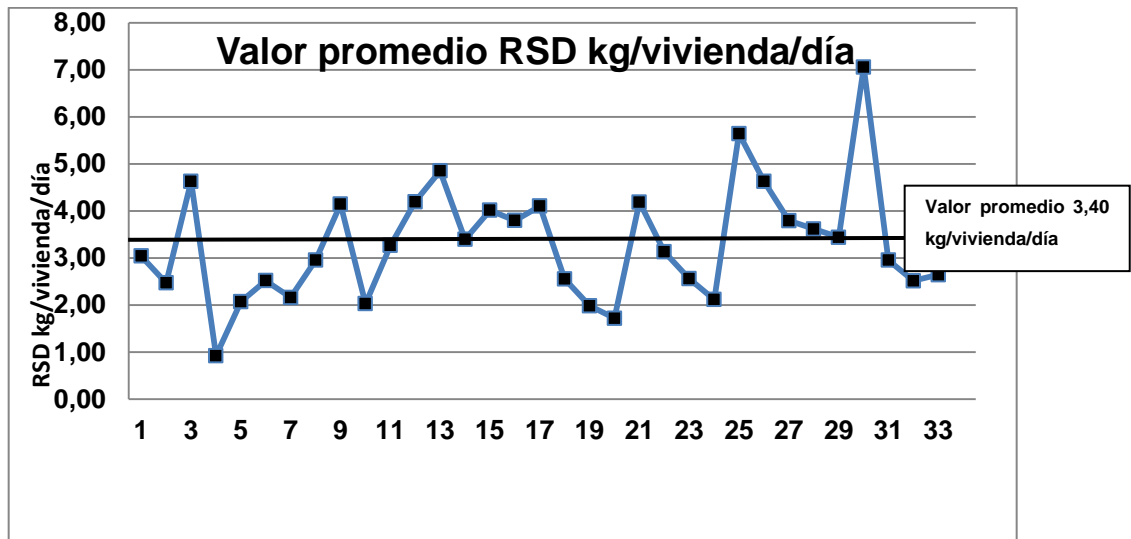
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Resultados RSD total por muestreo



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Resultados promedio RSD kg/vivienda/día



Fuente: elaboración propia.

- Producción *per cápita*: es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas; se refiere a la producción por persona (ppc) de RSD generados en cada vivienda por muestreo kg/hab./día.

Tabla XII. Resultados ppc aldea Los Esclavos (kg/hab./día)

núm. casa	Núm. habitantes	Día núm. 1 Jueves	Día núm. 2 Viernes	Día núm. 3 Sábado	Día núm. 4 Domingo	Día núm. 5 Lunes	Promedio ppc (kg/hab./5 días)
1	4	0,220	1,102	1,103	0,772	0,606	0.761
2	4	0,386	0,827	0,441	0,772	0,662	0.617
3	5	1,102	1,059	0,882	0,661	0,926	0.926
4	1	0,881	0,661	1,102	0,440	1,543	0.925
5	3	0,367	0,955	0,661	0,882	0,588	0.691
6	3	0,588	0,441	0,514	1,329	1,323	0.839
7	3	0,441	0,661	0,955	0,514	1,029	0.720

Continuación de la tabla XII.

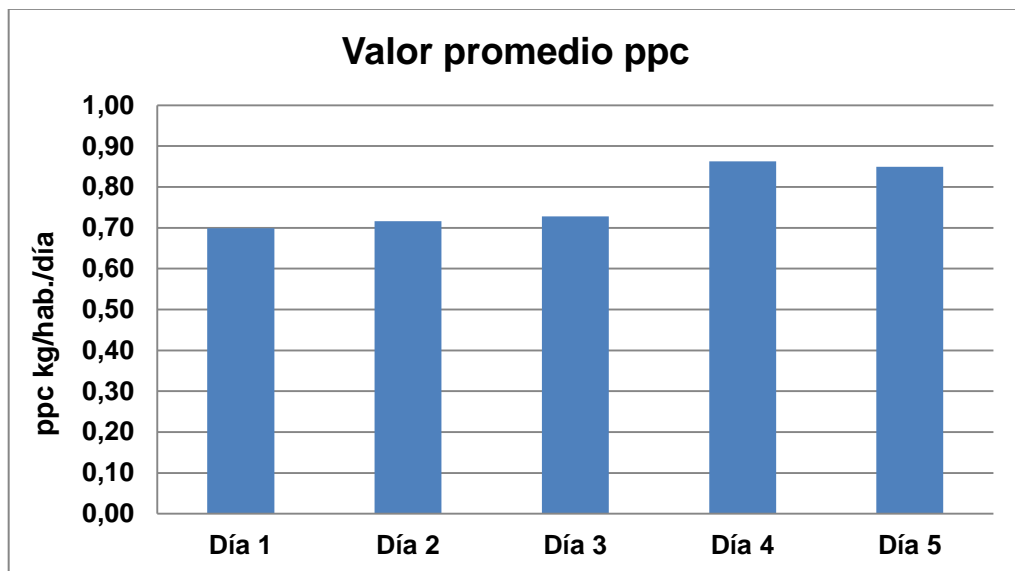
8	4	0,772	1,158	0,441	0,496	0,827	0.739	
9	6	0,955	0,515	0,367	0,955	0,662	0.691	
10	4	0,496	0,331	0,606	0,496	0,606	0.507	
11	5	0,661	0,397	0,617	0,794	0,798	0.653	
12	5	0,754	0,661	0,794	1,058	0,926	0.839	
13	7	0,661	0,661	0,787	0,661	0,693	0.693	
14	5	0,706	0,661	0,706	0,705	0,617	0.679	
15	6	0,551	0,735	0,662	0,809	0,588	0.669	
16	6	0,478	0,478	0,698	0,665	0,845	0.633	
17	6	0,662	0,625	0,662	0,698	0,772	0.684	
18	4	0,606	0,662	0,386	0,827	0,717	0.639	
19	3	0,661	0,588	0,735	0,661	0,661	0.661	
20	2	0,551	0,992	0,772	1,102	0,882	0.860	
21	5	0,794	0,838	0,617	0,838	1,102	0.838	
22	5	0,617	0,617	0,750	0,573	0,573	0.626	
23	3	0,662	1,102	1,029	0,588	0,882	0.853	
24	2	0,992	0,662	0,882	1,544	1,213	1.058	
25	7	1,102	0,472	0,535	1,291	0,630	0.806	
26	6	0,919	0,698	0,661	0,735	0,845	0.772	
27	4	0,496	0,772	0,772	2,260	0,441	0.948	
28	5	0,706	0,573	0,882	0,706	0,750	0.723	
29	5	0,926	0,441	0,706	0,617	0,750	0.688	
30	8	1,185	0,799	0,524	0,937	0,965	0.882	
31	3	0,588	0,661	1,029	1,323	1,323	0.985	
32	2	0,992	1,103	1,103	1,544	1,543	1.257	
33	4	0,661	0,386	0,992	0,331	0,937	0.661	
34	5	0,617	1,058	0,397	0,750	0,661	0.697	
Ppc kg/hab./día		0,699	0,716	0,728	0,863	0,849		
Promedio (kg/hab./día)		0,771						

Fuente: elaboración propia.

- Peso total RSD generados actualmente en la aldea Los Esclavos: de acuerdo con los resultados de la caracterización de RSD.
 - Población actual de 2 312 habitantes
 - Densidad de habitantes/vivienda = 4,41
 - Producción diaria RSD 112,60 kg
 - $P_{pc\text{promedio}} = 0,771 \text{ kg/hab./día}$

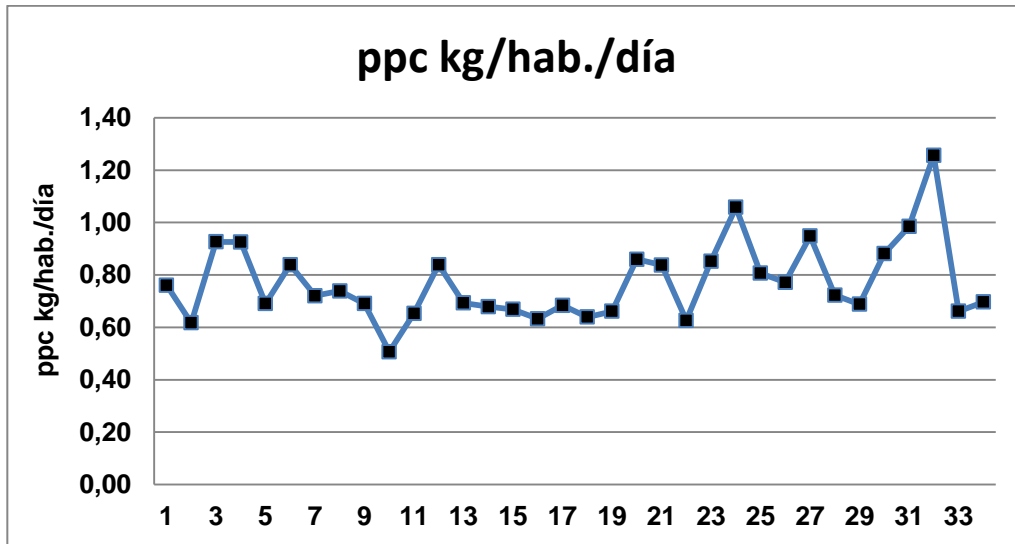
$$W_{\text{total 2019}} = 0,771 * 2\ 312 = 1\ 782,6 \text{ kg/día}$$

Figura 33. Resultados ppc promedio por muestreo



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Resultados ppc promedio por vivienda



Fuente: elaboración propia.

5.3. Composición física de los residuos

La determinación de la composición física de los residuos, permite determinar cuál es el porcentaje de los diferentes componentes presentes. La composición porcentual de los residuos sólidos se calcula dividiendo el peso de cada una de las categorías, entre el peso total de la muestra.

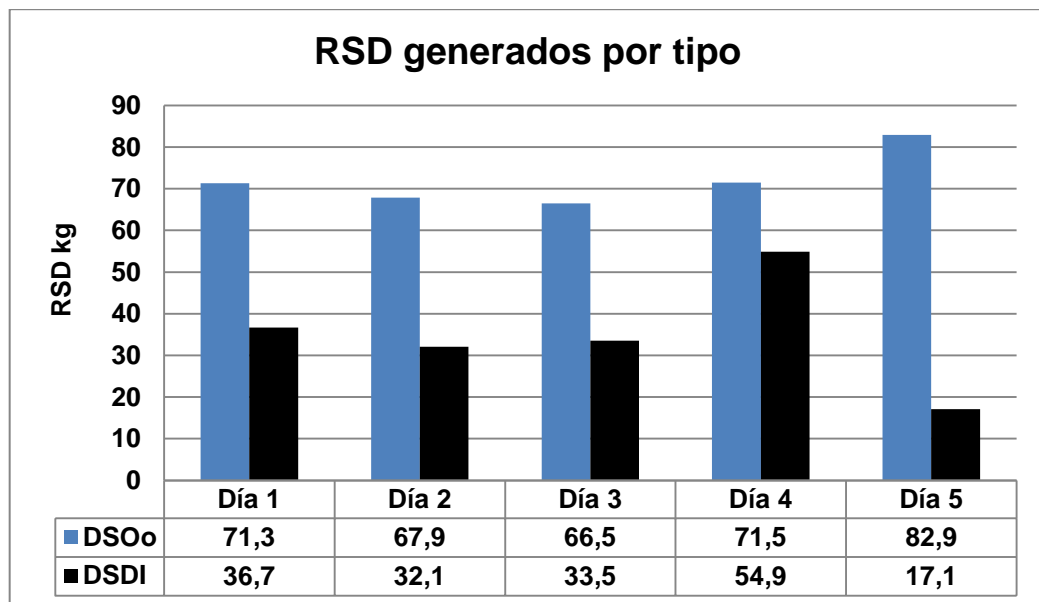
La composición física de los RSD de la aldea está caracterizada por su alto porcentaje de materia orgánica, lo que se traduce en un mayor contenido de humedad; el resto es papel, cartón, vidrio, metales, plásticos y material inerte, entre otros.

Tabla XIII. **Resultados generación diaria de RSD de acuerdo con su naturaleza**

	Día núm. 1 Jueves		Día núm. 2 Viernes		Día núm. 3 Sábado		Día núm. 4 Domingo		Día núm. 5 Lunes		Promedio	
Total RSD (kg/día)	108,05		104,50		103,84		126,40		120,17		112,6	
Tipo RSD	RSD _o	RSD _i	RSD _o	RSD _i	RSD _o	RSD _i	RSD _o	RSD _i	RSD _o	RSD _i	RSD _o	RSD _i
Peso por tipo de RSD kg/día (%)	71,3 (66,3%)	36,7 (33,7%)	67,9 (61,8%)	32,1 (38,2%)	66,5 (64,3%)	33,5 (35,7%)	71,5 (56,6%)	54,9 (43,4%)	82,9 (69,4%)	17,1 (30,6%)	72,0 (63,9%)	34,9 (36,1%)

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **RSD totales por tipo**



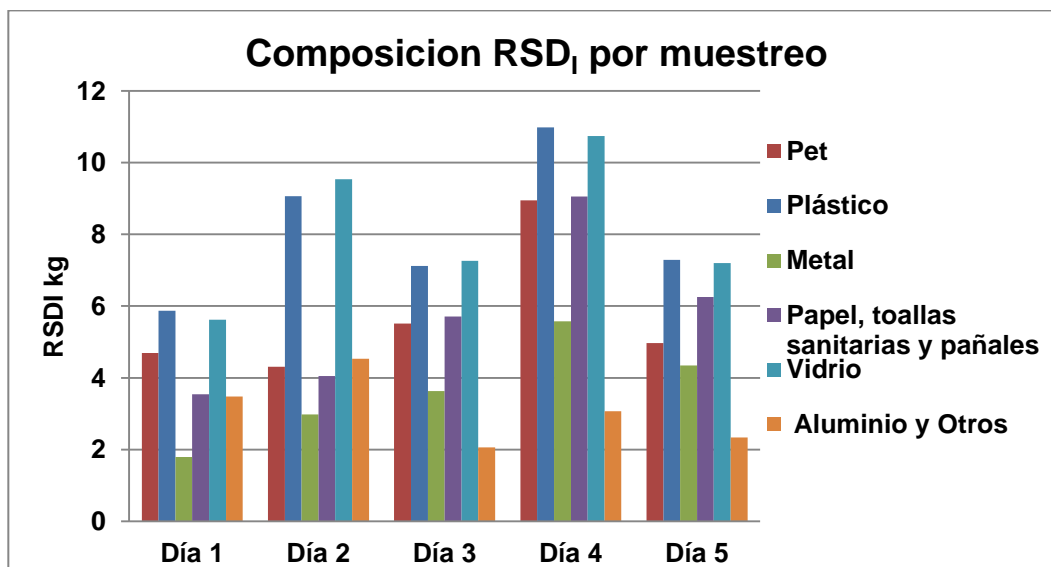
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Resultados clasificación RSD_i kg/día

Tipo RSD	Peso (kg) Día 1	Peso (kg) Día 2	Peso (kg) Día 3	Peso (kg) Día 4	Peso (kg) Día 5	Promedio kg (%)
Plástico	5,873	9,062	7,115	10,979	7.289	8,06
Pet	4,696	4,313	5,516	8,948	4.970	5,69
Metal	1,798	2,980	3,629	5,572	4.344	3,66
Cartón	3,349	5,426	4,635	6,532	4.417	4,87
Papel, toallas sanitarias y pañales	3,544	4,050	5,713	9,058	6.258	5,72
Vidrio	5,617	9,537	7,266	1,737	7.201	6,27
Aluminio y otros	3,482	4,536	2,064	3,071	2.336	3,10
Total por día	28,359	39,904	35,935	54,897	36,815	

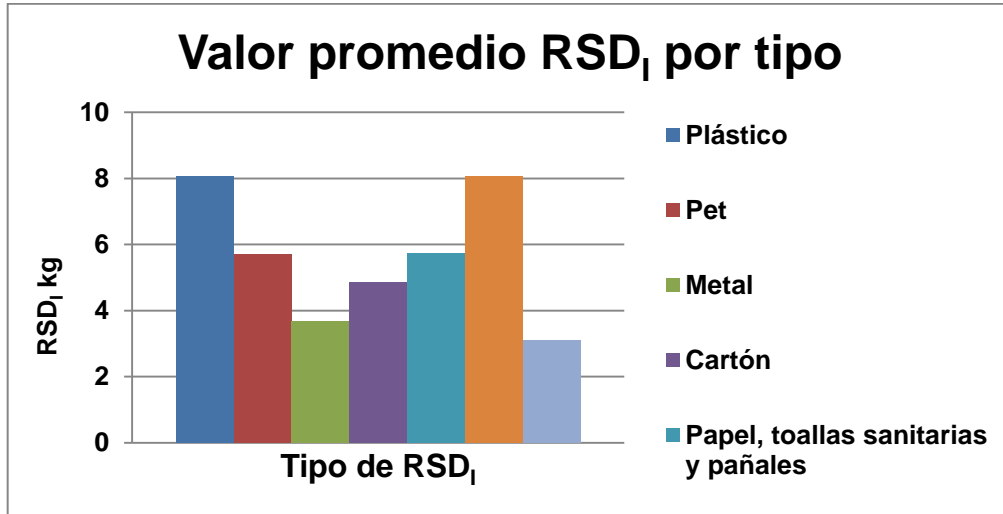
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Composición RSD_i por tipo y muestreo



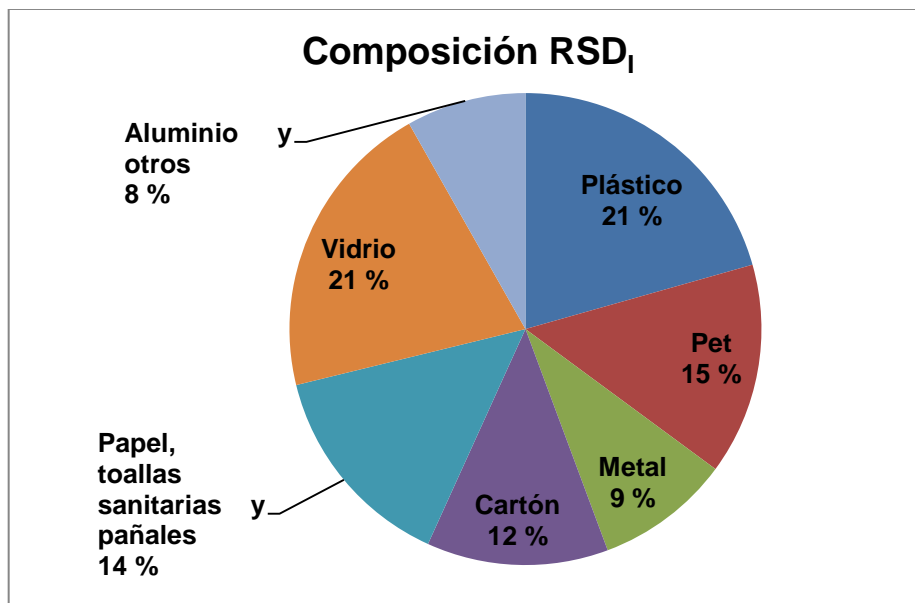
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Resultados promedio RSD_i por tipo



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Composición RSD_i aldea Los Esclavos



Fuente: elaboración propia.

5.4. Peso específico de los residuos sólidos

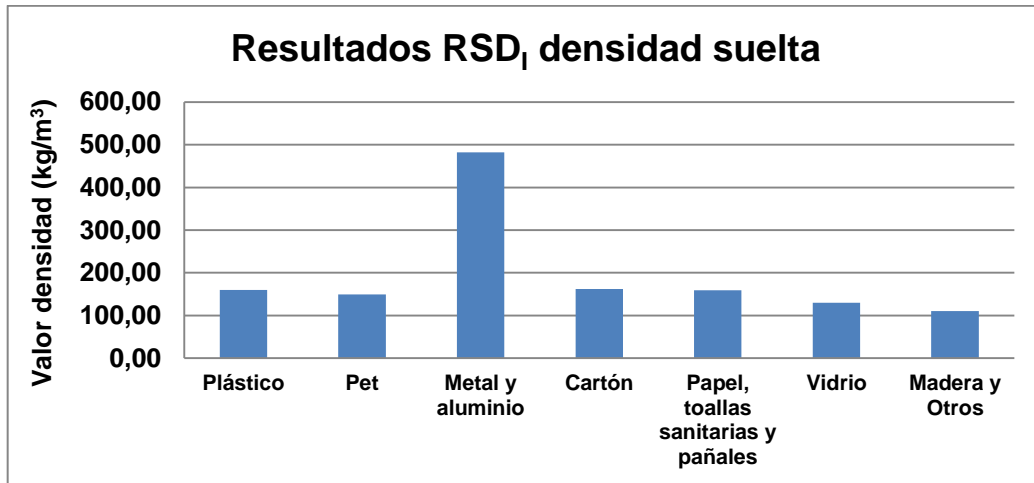
A continuación, se presentan las tablas y gráficas relacionadas con el peso específico de los RSD de la aldea.

Tabla XV. Resultados densidad RSD

Tipo RSD		Peso RSD (kg)	Volumen suelto (m³)	Volumen compactado (m³)	Densidad suelta (kg/m³)	Densidad compactada (kg/m³)
RSD _i	Plástico	30,437	0,190	0,140	160,194	217,407
	Pet	28,443	0,190	0,145	149,700	196,158
	Metal y aluminio	18,323	0,038	0,030	482,180	610,766
	Cartón	24,359	0,150	0,120	162,390	202,991
	Papel, toallas sanitarias y pañales	28,623	0,180	0,150	159,016	190,820
	Vidrio	40,358	0,310	0,220	130,187	183,445
	Madera y Otros	15,489	0,140	0,100	110,635	154,89
RSD _o	Materia Orgánica	357,890	2,900	2,200	123,410	162,677

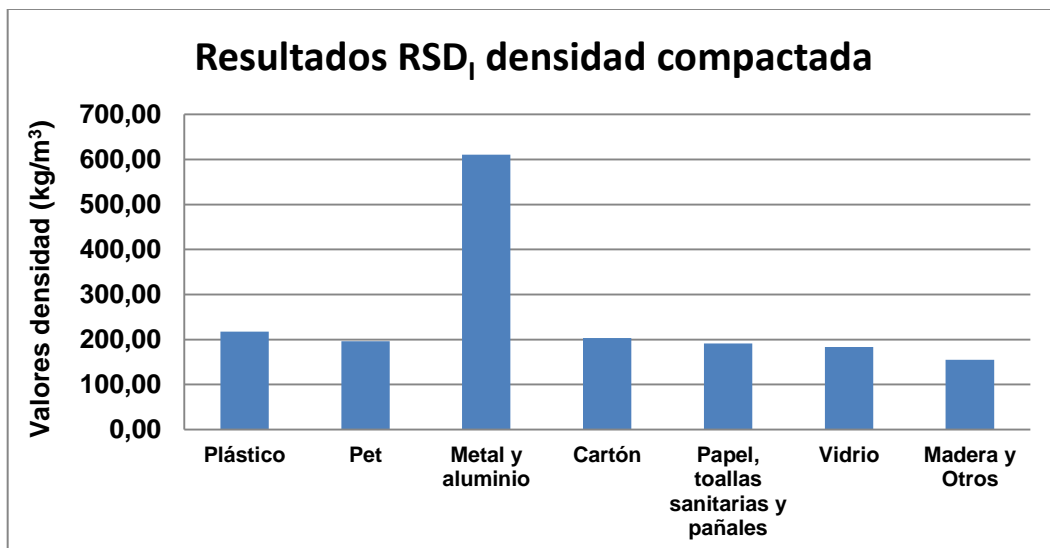
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Resultados densidad suelta RSD_i



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Resultados densidad compactada RSD_i



Fuente: elaboración propia.

5.5. Porcentaje de humedad

Se aprecia que la materia orgánica de los RSD presenta un alto grado de humedad; al tratar dichos residuos da lugar a la formación de un volumen considerable de lixiviados. Los resultados permiten evaluar el tipo de vehículo empleado para la recolección y transporte de los residuos.

El promedio calculado del contenido de humedad en los residuos orgánicos de la aldea Los Esclavos es del 244,77 %.

5.6. Ubicación de lugar adecuado para su utilización como relleno sanitario

En Guatemala, la mayoría de municipalidades tienen problemas en el manejo y gestión de los RSD y sus pocas técnicas para un manejo, tratamiento y disposición final adecuada. Por esta razón, se realiza esta propuesta que puede servir como guía para mejorar la situación del manejo y disposición final de los RSD en la aldea Los Esclavos, municipio de Cuilapa para evitar problemas con el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

De acuerdo con los resultados del estudio y la caracterización de los RSD en la aldea Los Esclavos, se consideran las siguientes opciones como las más viables para la disposición final de los RSD:

- El botadero semicontrolado o controlado puede ser el primer paso para el manejo adecuado de los RSD en la aldea; estará ubicado donde el público no pueda verlo y, por lo tanto, se puede controlar más fácilmente el acceso y su operación.

- Para su operación es necesario un vigilante u operador en la entrada. Son necesarias instalaciones de drenaje para el control de agua pluvial, cercas con puertas y caseta de control en la entrada.
- El relleno sanitario manual es una alternativa técnica y económicamente factible, en beneficio de la población de la aldea, que no tienen la forma de adquirir equipo pesado para construir y operar un relleno sanitario convencional. Esta técnica de operación manual solo requiere equipo pesado para la adecuación del sitio, para la construcción de la vía interna, la preparación de la base de soporte o la excavación de zanjas y la extracción de material de cobertura de acuerdo con el avance y método de relleno, los demás trabajos pueden realizarse con los propios trabajadores.

Para el éxito de la propuesta es fundamental que la población de la aldea Los Esclavos sea consciente de los beneficios que le reporta construir un relleno sanitario; las autoridades y la comunidad en general deben tener presente que se requieren recursos para el diseño, el desarrollo y la operación y el mantenimiento del proyecto.

Los principales factores para la selección del lugar adecuado para su utilización como relleno sanitario, incluyen aspectos medio ambientales, económicos, políticos, técnicos y geotécnicos, entre otros. Para la propuesta se tomaron en consideración las condiciones actuales en la aldea Los Esclavos y las proyecciones de crecimiento urbano y poblacional en el lugar

En la práctica es difícil encontrar un terreno que cumpla con todos los criterios, hay que escoger el mejor terreno teniendo en cuenta los recursos y las condiciones de la aldea. El diseño físico del relleno debería incluir una zona de

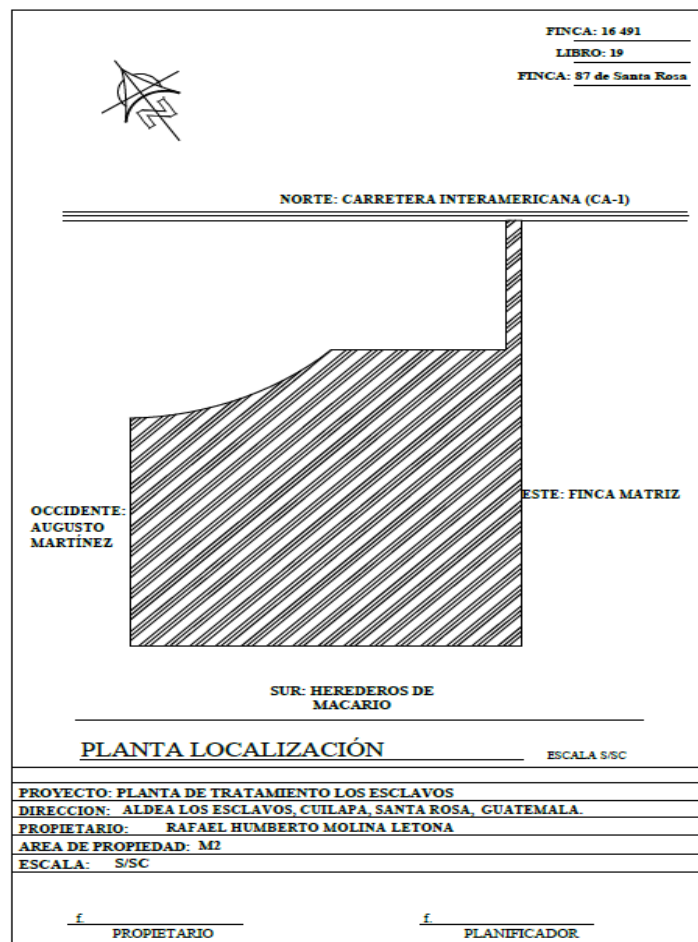
separación, preferiblemente cercado o sembrado con vegetación, entre el sitio y las poblaciones cercanas.

Se propone un terreno ubicado en el kilómetro 67,5 de la carretera Interamericana, a un kilómetro del casco urbano de la aldea y del río Los Esclavos, con las siguientes características:

- La distancia al casco urbano de la aldea es suficientemente corta para que el transporte de los RSD al relleno sea económico. El costo de transportar equipo pesado de vez en cuando al sitio puede ser significativo si el relleno está ubicado demasiado lejos del casco urbano.
- El terreno se encuentra cerca de la carretera pavimentada, lo que permite el transporte fácil y económico de los RSD, además previene el deterioro en el equipo.
- La topografía del terreno cuenta con pendientes entre el 2 % al 4 % con algunas profundidades y elevaciones particulares localizadas en el lugar. Un terreno plano es apropiado para el método de trinchera, y terreno accidentado o quebrado es apropiado para los métodos de área o cañón. Dado que los dos métodos de construcción tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.
- En el lugar existe vegetación consistente en arbustos y matorrales así como algunos árboles, con un suelo con granulometría fina y baja permeabilidad. En las cercanías del terreno existe material adecuado para la cobertura, de fácil extracción y suficiente para la vida útil del diseño.

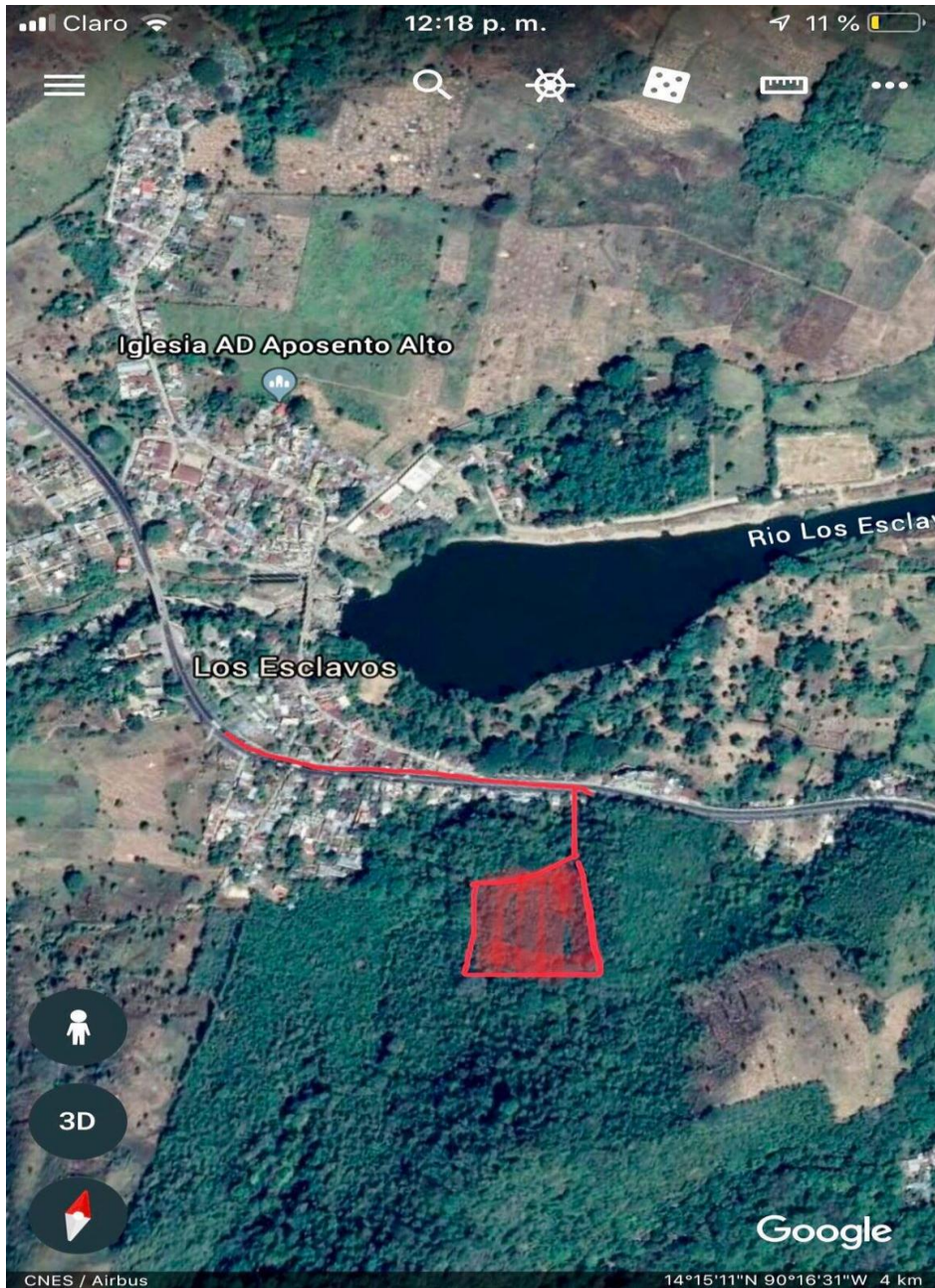
- El nivel freático en la zona donde se ubica el terreno es de alrededor de 50 metros; es importante conocer la hidrología del sitio para establecer los canales naturales del drenaje y escurrimiento, para así evitar corrimientos de residuos y la contaminación del agua superficial y subterránea. El sistema de drenaje consiste en una red horizontal de zanjas rellenas de piedra, con el objetivo de captar el flujo del lixiviado entre los diferentes estratos de desechos ya dispuestos en la zanja.

Figura 41. **Plano de localización de terreno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Ubicación del terreno propuesto



Fuente: Google Earth. www.earth-google.com. Consulta: 29 de julio de 2018.

La determinación de los parámetros necesarios para el diseño es un tema complejo, debido a la gran variedad de factores que interfieren como: la gran heterogeneidad de la basura y su variación con respecto a las condiciones climáticas de cada región, la obtención de muestras representativas de las condiciones *in situ*.

Deben de estudiarse las propiedades mecánicas relacionadas con la estabilidad de taludes en el terreno, como la compresibilidad y la resistencia al corte; para esto, se puede recurrir a técnicas de laboratorio y ensayos tradicionalmente empleados en geotecnia. Se recomienda que al final de su vida útil, el relleno clausurado sea transformado en zona verde con pasto y arbustos de raíces cortas.

5.6.1. Área necesaria

La estimación de las necesidades volumétricas del terreno se basa en el valor de producción per cápita determinado 0,771 kg/hab./día, se espera obtener una compactación de 0,2 (T/m³) con una altura de 4 metros, con un período de diseño de 20 años, de acuerdo al tamaño del terreno disponible y el método de operación del relleno (relleno sanitario manual).

- Proyección RSD generados: se considera un período de 20 años (2019 – 2039) para la proyección de la población y el total de RSD generados (ver tabla XIII).

$$P_f = P_o * (1 + R)^n$$

Donde:

- Pf = población futura
- Po = población actual
- r = tasa de crecimiento
- n = período de diseño

$$P_f = 2312(1 + 0,0240)^{20} = 3\,715 \text{ habitantes}$$

- Volumen de desechos sólidos

Tabla XVI. Proyección, población y W_{total} RSD generados, aldea Los Esclavos período 2019 - 2039

Fecha	Población	Total RSD generados por día (kg/día) $W_{\text{total}} = 0,771 * \text{Población}$	Total RSD generados por año (T/año) $W_{\text{total año}} = W_{\text{total}} * \text{Población}$
2019	2 312	1 782,6	650,6
2024	2 603	2 007,0	732,6
2029	2 931	2 260,0	825,0
2034	3 300	2 544,1	929,0
2039	3 715	2 864,5	1 046,0

Fuente: elaboración propia.

- Material de cobertura: tiene la función de evitar vectores y reducir los olores que se puedan generar; su volumen depende del área de superficie del relleno por cubrir y el espesor de la capa de material. Para el cálculo se propone utilizar una proporción de:

4(RSD): 1(material cobertura)

5.6.2. Caseta de control

Es uno de los principales componentes del relleno sanitario independientemente del método que se utilice, ahí se registran las actividades de operación, se registran todos los datos en los libros de operación. La caseta sirve como almacenaje de herramientas, ropa, botiquín, y de baño con ducha.

El registro de los sólidos que ingresan es fundamental para calcular el peso y volumen de los desechos, para llevar un récord de comportamiento de la producción diaria, mensual y anual en la toma de decisiones en la operación. El monitoreo de los RSD descargados es fundamental para establecer los costos mensuales y anuales que se llevan a cabo en el relleno.

5.6.3. Operación y mantenimiento del relleno sanitario

La instalación del relleno debe tener un plan de operación con una secuencia de llenado definida, el que deberá ser revisado anualmente en el caso que las cantidades y características de los RSD que llegan al relleno hayan cambiados, y como resultado la operación necesitaría ajustes.

Para efectuar las labores de operación y mantenimiento de una manera eficiente se debe contar con personal calificado, además:

- Los trabajadores y los operadores de equipo pesado necesitan capacitación en la operación de rellenos sanitarios, la construcción de celdas, trincheras, y niveles, y la construcción de zanjas para lixiviados y chimeneas para biogás.
- Los operadores de maquinaria especialmente requieren capacitación orientada en la construcción de celdas diarias, compactación de desechos y aplicación de cobertura.
- Personal de vigilancia y seguridad para que personas no autorizadas o animales domésticos o silvestres entren el sitio.

Las actividades de operación y mantenimiento de rutina dentro del relleno sanitario deben incluir:

- La revisión de los camiones, la zona de descarga de la celda diaria y la zona de almacenamiento.
- La entrada del sitio debe mantenerse cerrada cuando está fuera de operación.
- El mantenimiento y reparación de maquinaria.
- La construcción y mantenimiento de vías internas.
- La construcción y limpieza de canales de drenaje de escurrimiento y la laguna de sedimentación.

- La disposición final de los residuos almacenados (peligros o especiales). Si el relleno permite la entrada de estos desechos de manejo especial, se debe cobrar al usuario el costo requerido para su manejo adicional.

Para la operación y mantenimiento del relleno sanitario, es necesario atender las siguientes recomendaciones sanitarias:

- Todos los trabajadores deben recibir capacitación en primeros auxilios, seguridad y salud ocupacional.
- Contar siempre con una fuente de agua limpia, jabón y cloro.
- La caseta de control debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, tela adhesiva, algodón, alcohol, mercromina o similar, una solución detergente, desinfectante, tijeras, pinzas y un repelente para mosquitos e insectos. También, debe contar con extintores y un teléfono.
- El trabajador debe disponer de guantes y botas de hule, casco de trabajo, protectores de orejas, y al menos dos trajes de trabajo. Todas las prendas utilizadas en la instalación deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
- Siempre que se vaya a comer o beber, los operarios se deben lavar las manos con agua limpia y jabón; evitar en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que ponga en contacto a la comida con algún elemento que haya estado en contacto con residuos contaminados.

- Todas las herramientas de trabajo deben lavarse con agua limpia antes de ser guardadas después de haberlas usado.
- Los cortes, arañazos y contusiones que pueda sufrir el trabajador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- Si el sitio dispone de electricidad, y el trabajador debe ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, debería asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén siempre secos.
- La entrada del sitio debe mantenerse cerrada cuando está fuera de operación. Se deberían recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados.
- El trabajador debe vacunarse contra el tétanos, fiebre tifoidea y otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. También debe someterse a un chequeo médico periódico.
- Todos los trabajadores deben recibir capacitación en primeros auxilios, seguridad y salud ocupacional, seguridad de uso de maquinaria pesada, control de incendios, identificación de desechos peligrosos, y control y limpieza de derrames de desechos peligrosos.

5.6.4. Monitoreo y control ambiental

El monitoreo y control ambiental son parte de la operación de rutina del relleno, se incluyen los residuos dispersos, polvo, malos olores, vectores, erosión, lodos, incendios, biogás y lixiviados, entre otros. Es importante que después de construir un relleno sanitario se tomen una serie de medidas

relacionadas con la prevención de riesgos potenciales para la calidad del ambiente.

- Se controlan los residuos dispersos por su recolección diaria y enterramiento en la celda diaria al fin del día.
- El mejor método para controlar el polvo generado por los camiones es la aplicación de agua.
- Los malos olores generados en el relleno sanitario provienen de los residuos que entran, los depositados y el biogás.
- Se controlan los vectores domésticos como: perros y ganado a través de uso de cercos y puertas en la entrada. Se controlan todos los vectores silvestres a través del uso diario de cobertura.
- La presencia de lodos durante la época de lluvia hace necesario tomar medidas para su control, de manera que las vías de acceso estén disponibles.
- Se debe monitorear el agua subterránea y superficial que pasa por el relleno, para estar seguros que el lixiviado proveniente del relleno no está causando contaminación.
- Se deben monitorear los límites del relleno para estar seguro que el gas metano no está migrando lateralmente en el subsuelo y acumulando en concentraciones explosivas o incendiarias.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron los residuos sólidos domiciliarios de la aldea Los Esclavos, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa, con base en la metodología simplificada propuesta por Kunitoshi Sakurai y publicada por el CEPIS, que se basa en identificar las fuentes de generación de residuos sólidos, estratificar las muestras de acuerdo con el criterio escogido, socializar el estudio, determinar el tamaño de la muestra, recolectar las muestras y determinar en laboratorio la clasificación de los residuos sólidos.
2. De acuerdo con los resultados vertidos en el desarrollo del trabajo, se obtuvo que los residuos sólidos generados *per cápita* corresponden a 0,771 kg/hab/día.
3. Los residuos sólidos generados dentro de la aldea Los Esclavos se dividen en: 72,0 kg/día (63,9 %) de residuos sólidos domiciliarios orgánicos y 34,9 kg/día (36,1 %) de residuos sólidos domiciliarios inorgánicos.
4. En relación con la clasificación del material inorgánico de los residuos sólidos domiciliarios, se divide de la siguiente manera:
 - 21,0 % de plástico
 - 15,0 % de Pet
 - 1,0 % de metal
 - 13,0 % de cartón

- 15,0 % de papel, toallas sanitarias y pañales
- 17,0 % de vidrio
- 18,0 % de aluminio y otros

RECOMENDACIONES

1. Reducir las fuentes de generación de residuos sólidos, a través del reuso y reciclaje de los componentes presentes en los residuos.
2. Realizar un plan de gestión ambiental para el manejo de residuos sólidos con ayuda de las autoridades municipales, prohibiendo el almacenamiento de residuos sólidos dentro de las áreas públicas (vías, parques, banquetas y terrenos baldíos, entre otros), elaborando programas de concientización para informar y socializar con la población acerca de los impactos negativos a la salud humana y al medio ambiente, por la inadecuada disposición de los residuos sólidos.
3. A los estudiantes universitarios y autoridades administrativas de la Escuela de Ingeniería Civil y Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a realizar estudios de caracterización física de los residuos sólidos de diversos de aldeas o municipios que actualmente carecen de dicha información, con el objetivo de crear una especie de mapa que sirva a los tomadores de decisión para gestionar adecuadamente la disposición de los residuos sólidos domiciliarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁNGEL ENRÍQUEZ, Teresa Alejandra. *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios del Condominio Villas de La Meseta, San Lucas Sacatepéquez, departamento de Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 188 p.
2. BONIVENTO, Sandra y Anet. *Guía para la implementación de la metodología de formulación de los planes de gestión integral de residuos sólidos "PGRIS", estudio de caso*. Colombia: Práctica empresarial, 2005. 121 p.
3. CANTANHEDE, Álvaro; SANDOVAL, Leandro. *Rellenos sanitarios manuales*. [en línea]. <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/tecapropiada/desinfec/rellenos_sanitarios.htm>. [Consulta: 15 de julio de 2018].
4. CARE Internacional-Avina. *Programa unificado de fortalecimiento de capacidades. Módulo 9: gestión integral de residuos sólidos (GIRS)*. Ecuador: Andarele, 2012. 192 p.
5. COLOMER MENDOZA, Francisco Antonio; IZQUIERDO GALLARDO, Antonio. *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. México: Limusa, 2007. 319 p.

6. CODEDE municipio de Cuilapa y SEGEPLAN. *Plan de desarrollo Cuilapa, Santa Rosa 2011 – 2025*. Guatemala: Segeplan, 2010. 297 p.
7. CODEDE departamento de Santa Rosa, SEGEPLAN y Dirección de Planificación Territorial. *Plan de desarrollo departamental PDD departamento de Santa Rosa, Guatemala*. Guatemala: Segeplan, 2011. 198 p.
8. DACARET FERRÚS, Raquel. *Valorización del puente Los Esclavos mediante desarrollo turístico*. Guatemala: Universidad del Istmo, 2010. 200 p.
9. EGUIZÁBAL LEÓN, Ana Rebeca. *Caracterización de desechos sólidos domiciliarios en Colonia Los Naranjales, Zona 4, Municipio de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 120 p.
10. IGN. *Diccionario geográfico nacional*. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 2000. 393 p.
11. Instituto Nacional de Estadística, INE. *Caracterización departamental Santa Rosa 2013*. Guatemala: Gobierno de Guatemala, 2014. 200 p.
12. IUCN. *Derecho ambiental en Centroamérica*. Costa Rica: BMZ, 2009. 120 p.

13. GARCÍA CANTORAL, J. *Centro comercial municipal, municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 136 p.
14. GRÁDIZ CÁCERES, Marvin Ovidio; RAUDALES OSORTO, Rommel Josué. *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pínula*. Tesis de maestría (ERIS). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 247 p.
15. GRAJEDA SANTISTEBAN, Carlos Rafael. *Caracterización de residuos sólidos municipales en El Progreso, Guatemala, y propuesta de gestión integral de residuos*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2015. 185 p.
16. MORENO PRADENA, Luis Alfredo. *Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos*. Chile: Universidad del Bío – Bío, 2013. 64 p.
17. RODRÍGUEZ ORDOÑEZ, M. *Centro deportivo municipal. Cuilapa, Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 110 p.
18. SÁEZ, Alejandrina; URDANETA G., Joheni A. *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Venezuela: Universidad del Zulia Maracaibo, 2014. 140 p.

19. SAKURAI, Kunitoshi. *Método sencillo del análisis de residuos sólidos. Hoja de divulgación técnica*. Ecuador: CEPIS/OPS, 2000. 100 p.
20. Sección de Estadísticas Ambientales (INE). *Compendio estadístico ambiental de Guatemala, 2015*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística (INE), 2007. 275 p.
21. TCHOBANOGLIOUS, George. *Gestión integral de residuos sólidos*. España: McGraw-Hill, 1994. 760 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Boleta, encuesta

Trabajo de Graduación CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA LA ALDEA LOS ESCLAVOS, CUILAPA, SANTA ROSA		Fecha: 29/02/2005 No. de boleta: 90
--	--	--

I. Información general

1. Edad 30 años
2. Sexo Masculino
3. Tiempo de vivir en la vivienda 30 años
4. Cuántas personas viven en su hogar 3 personas
5. ¿Según los ingresos económicos totales en su hogar, usted se considera dentro de un nivel económico? Alto Medio Bajo
6. ¿De qué forma dispone sus desechos domiciliarios?
Servicio de recolección
La quema
La entierra
Otro

II. Información servicios desechos sólidos

1. ¿Cuenta con un sistema de recolección de desechos domiciliarios (basura)?
 Sí No
Si su respuesta es sí, ¿este sistema es privado o municipal? Privado Municipal
2. ¿Cuál es el monto mensual del servicio? Q 40.00
3. ¿con que frecuencia son recolectados los desechos sólidos (basura)?
Todos los días
Un día sí y un día no
 Una vez a la semana
Dos veces a la semana
Otro
4. ¿Con qué frecuencia el sistema de recolección de desechos no cumple su labor?
Diario
Dos veces por semana
Cada quince días
Una vez al mes
Otro
5. ¿Cuál es su opinión del servicio de recolección?
 Bueno
Regular
Malo

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

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Fotos, ensayo de contenido de humedad RSD**



Fuente: elaboración propia.