



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos, (ERIS)

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ÉNFASIS EN
RESIDUOS SUSCEPTIBLES A VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL, PARA LA
CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA**

Ing. Gustavo Adolfo Figueroa Campos

Ing. Luis Gabriel García Ramos

Asesorado por el M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ÉNFASIS EN
RESIDUOS SUSCEPTIBLES A VALORIZACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL, PARA LA
CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA SANITARIA

POR

ING. GUSTAVO ADOLFO FIGUEROA CAMPOS

ING. LUIS GABRIEL GARCÍA RAMOS

ASESORADO POR EL M.Sc. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matías Gil
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ÉNFASIS EN
RESIDUOS SUSCEPTIBLES A VALORIZACIÓN Y DISPOSICION FINAL, PARA LA
CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA**

Tema que nos fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, en el mes de agosto de 2013.



Ing. Gustavo Adolfo Figueroa Campos

gustavofigueroa84@gmail.com

100021066



Ing. Luis Gabriel Garcia Ramos

lgabriel_05@hotmail.com

200714315



ERIS - USAC



Guatemala, 04 de Noviembre de 2014

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

**GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ÉNFASIS EN
RESIDUOS SUSCEPTIBLES A VALORIZACIÓN Y DISPOSICION FINAL,
PARA LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA**

Presentado por los estudiantes:

**Ing. Gustavo Adolfo Figueroa Campos
Ing. Luis Gabriel García Ramos**

Les manifiesto que los estudiantes cumplieron en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria



ERIS - USAC



Guatemala, 05 de Noviembre de 2014

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, M.Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez, Colegiada No. 5284, al trabajo de los estudiantes Inga. Gustavo Adolfo Figueroa Campos e Ing. Luis Gabriel García Ramos, titulado: **GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ÉNFASIS EN RESIDUOS SUSCEPTIBLES A VALORIZACIÓN Y DISPOSICION FINAL, PARA LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JALAPA**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 5 días del mes de Noviembre de 2014.

Imprímase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

Mi mamá

Alba Marina Campos Polanco, por inspirarme a seguir superándome en todos los aspectos de mi vida y enseñarme que solo el esfuerzo y la dedicación conducen al éxito.

Mi familia

Abuelo, tíos, tías, primas y primos, por apoyarme en todos los aspectos de mi vida.

María Fernanda Santizo Aquino

Mi compañera en el camino, por brindarme apoyo y las palabras correctas que hacen que todos los momentos trasciendan significativamente.

Mis amigos

Por la oportunidad de aprender de ellos y por todas las convivencias compartidas.

Gustavo Adolfo Figueroa Campos

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas las bendiciones derramadas en mi vida, su inmenso amor al permitirme el calor de mi familia y por ser la guía de mi camino.
- Mis padres** José Luis García Ruano y Rosa Alcira Ramos de García, a quienes nunca existirán palabras para expresar mi infinito agradecimiento, ya que sin su ejemplo y sacrificio día con día no hubiese sido posible alcanzar esta meta.
- Mi hermana** Alcira Lindaly García Ramos; por su cariño y apoyo incondicional en todo momento.
- Mis abuelos paternos** Que con su cariño y sabios consejos me guiaron en el sentido del trabajo y la responsabilidad.
- Marisel Osorio Baños** Por su cariño y por hacerme la vida más feliz con su compañía.
- Mis amigos** Por todo el apoyo y convivencias que me brindaron a lo largo de todos los años de conocerlos.

Luis Gabriel García Ramos

AGRADECIMIENTOS A:

**Catedráticos de la
Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
(ERIS)**

Por su elevada capacidad científica y profesional, gracias por compartir sus conocimientos y por contribuir en nuestra formación.

**Nuestro asesor M.Sc.
Ing. Adán Pocasangre**

Por su incondicional apoyo y valiosa asesoría en la realización del presente trabajo de investigación.

Dr. Stewart Oakley

Por su valioso aporte y orientación en la realización del presente estudio.

**La Municipalidad de
Jalapa**

Especialmente al señor alcalde Elmer Leonidas Guerra Calderón, Marcos Adán Marroquín, Ing. Virgilio Mazariegos e Ing. Israel Castro, por brindarnos su colaboración y apoyo en el desarrollo de nuestro estudio.

**Diagnóstico Radiológico
de Jalapa (DIRAD)**

Dr. Nery Adolfo Campos Polanco, por su hospitalidad, disposición y apoyo financiero.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXV
HIPÓTESIS.....	XXVII
JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIARIOS.....	XXIX
VIABILIDAD	XXXI
ALCANCE	XXXIII
LIMITACIONES.....	XXXV
ANTECEDENTES.....	XXXVII
1. ÁREA DE ESTUDIO.....	1
1.1. Extensión territorial	2
1.2. Demografía.....	2
1.3. Condiciones de vida	3
1.4. Calidad de vida.....	4
1.5. Red de servicios	5
1.5.1. Servicio de agua	7
1.5.2. Servicios sanitarios.....	7
1.5.3. Recolección de desechos sólidos.....	8
1.5.4. Rastro Municipal	8
1.5.5. Energía eléctrica.....	8

2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	Manejo integral de desechos solidos	9
2.2.	Gestión de residuos sólidos	9
2.3.	Gestión integral de residuos sólidos.....	9
2.3.1.	Objetivos de la gestión integral de residuos sólidos	10
2.4.	Generación en la fuente	12
2.5.	Clasificación de los residuos sólidos por su origen	13
2.6.	Impacto de los residuos sólidos en la salud pública.....	15
2.7.	Impactos de los residuos sólidos en el medio ambiente	17
2.7.1.	Contaminación de los recursos hídricos.....	17
2.7.2.	Contaminación del suelo	18
2.7.3.	Contaminación atmosférica	19
2.7.4.	Contaminación del recurso paisajístico	19
2.8.	Almacenamiento	20
2.9.	Recolección y transporte.....	21
2.10.	Tratamiento	22
2.10.1.	Incineración	22
2.10.2.	Compostaje	23
2.10.2.1.	Relación carbono-nitrógeno	26
2.10.2.2.	Mezcla y siembra	27
2.10.2.3.	Contenido en humedad	28
2.10.2.4.	Mezcla/Volteo.....	29
2.10.2.5.	Temperatura.....	29
2.10.2.6.	Control de patógenos	30
2.10.2.7.	Requisitos de aire.....	30
2.10.2.8.	Control del pH	30
2.10.3.	Reciclaje.....	31
2.10.3.1.	Transformación de residuos sólidos	32

2.11.	Disposición final.....	33
2.11.1.	Relleno sanitario	33
2.11.2.	Comparación de métodos de disposición final de residuos sólidos.....	35
2.12.	Caracterización de los residuos sólidos.....	36
2.12.1.	Determinación del tamaño de la muestra	37
2.13.	Técnicas del muestreo.....	37
2.13.1.	Análisis físicos de los residuos sólidos	38
2.13.2.	Producción per cápita de residuos sólidos (PPC)...	38
2.13.3.	Prueba de densidad.....	39
2.13.4.	Determinación de la composición física de los residuos sólidos.....	40
2.13.5.	Determinación del potencial de hidrógeno (pH) de la muestra	42
2.13.6.	Determinación del porcentaje de humedad	42
2.14.	Determinación del porcentaje de cenizas	43
2.15.	Determinación de la carga contaminante de los residuos sólidos	44
2.16.	Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos	46
3.	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	49
3.1.	Problemática generada en el medio ambiente por la mala disposición de los residuos sólidos.....	49
3.2.	Manejo actual de los residuos sólidos	51
3.2.1.	Almacenamiento de residuos sólidos en el hogar...	52
3.2.2.	Recolección de residuos sólidos.....	53
3.2.3.	Recolección y transporte municipal	53
3.2.4.	Barrido de calles y áreas públicas	54

3.2.5.	Sistema de recolección privada.....	55
3.2.6.	Frecuencias de recolección.....	55
3.2.7.	Coberturas del manejo de los desechos sólidos en Jalapa.....	56
3.2.8.	Disposición final	57
3.2.9.	Manejo de los residuos sólidos hospitalarios	57
3.2.10.	Rastro y mercado municipal	58
3.2.11.	Reciclaje.....	58
4.	METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS	59
4.1.	Delimitación del área de estudio	59
4.2.	Premuestreo.....	59
4.2.1.	Determinación del tamaño real de la muestra de la caracterización	62
4.3.	Socialización del estudio	64
4.3.1.	Encuesta de socialización	65
4.3.2.	Equipo utilizado para caracterización de los residuos.....	66
4.4.	Período de muestreo.....	67
4.4.1.	Primer día.....	67
4.4.2.	Segundo día.....	68
4.4.3.	Tercer día.....	70
4.4.4.	Cuarto día.....	71
4.4.5.	Quinto día.....	71
4.4.6.	Disposición final de los residuos utilizados durante la caracterización	72
4.5.	Caracterización de residuos sólidos institucionales	72
4.6.	Caracterización de residuos sólidos comerciales.....	72

4.7.	Caracterización de residuos sólidos del barrido de calles	72
4.8.	Producción per cápita (ppc) de residuos solidos domiciliars.....	73
4.9.	Composición de los residuos sólidos domiciliars	74
4.10.	Densidad, potencial de hidrógeno, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas	76
4.11.	Relación carbono/nitrógeno y análisis químico de la materia orgánica.....	76
4.12.	Composición residuos sólidos institucionales.....	77
4.13.	Composición de residuos comerciales	78
4.14.	Barrido de calles.....	79
4.15.	Carga contaminante de los residuos sólidos	80
4.16.	Valorización de los residuos solidos.....	81
4.16.1.	Posibilidad de reutilización y reciclaje de aluminio	82
4.16.2.	Posibilidades de reutilización y reciclaje papel y carton.....	83
4.16.3.	Posibilidades de reutilización y reciclaje plásticos ..	83
4.16.4.	Posibilidades de reutilización y reciclaje vidrio	89
5.	MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PROPUESTO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA.....	91
5.1.	Generación.....	93
5.2.	Almacenamiento.....	95
5.3.	Recolección y transporte	96
5.3.1.	Rutas de recolección	96
5.3.2.	Transporte	104
5.4.	Centro de transferencia	105
5.5.	Tratamiento: reciclaje	105

5.6.	Contenido energético de los residuos sólidos urbanos	109
5.7.	Disposición final	111
5.8.	Relleno sanitario semimecanizado.....	112
5.8.1.	Diseño de celda diaria.....	113
5.8.2.	Diseño de trincheras y selección de equipo	118
5.8.3.	Diseño de relleno sanitario semimecanizado	118
5.8.4.	Tiempo de maquinaria para construir celdas.....	120
5.8.5.	Personal operativo de la planta de desechos y del relleno.....	122
5.8.6.	Cálculo hidráulico de cada proceso de conducción y tratamiento de lixiviados	124
5.8.6.1.	Descripción del sistema de drenaje para lixiviados.....	127
5.8.6.2.	Cálculo de laguna de lixiviados	128
5.8.6.3.	Tubería de drenaje del relleno sanitario.....	131
5.8.7.	Personal necesario y costos de la operación	131
5.9.	Sistema tarifario	136
5.10.	Aspectos legales relacionados directamente al manejo de los residuos sólidos	136
5.11.	Aspectos institucionales relacionados directamente al manejo de los residuos sólidos	137
5.12.	Educación sanitaria	137
5.13.	Líneas priorizadas	139
5.13.1.	Institucionalización y organización	139
5.13.2.	Participación social y empoderamiento comunitario.....	140
5.13.3.	Investigación	141

6.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO	143
	6.1.1. Seguridad y salud ocupacional	149
	6.1.2. Recolección, acomodo, compactación y enterramiento de los desechos.....	155
	6.1.3. Operación y mantenimiento de rutina	156
	6.1.4. Control ambiental.....	158
	6.1.5. Monitoreo ambiental	161
	6.1.6. Medidas higiénicas y de seguridad.....	162
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	165
	7.1. Premuestreo	165
	7.2. Producción per cápita (ppc).....	165
	7.3. Variación de la PPC durante los días de estudio.....	167
	7.4. Composición de los residuos sólidos domiciliarios	168
	7.5. Composición de los residuos sólidos institucionales	170
	7.6. Composición residuos sólidos comerciales	171
	7.7. Composición residuos sólidos provenientes del barrido de calles	173
	7.8. Consolidado de las características de los residuos sólidos según su origen	174
	7.9. Análisis de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos domiciliarios	176
	7.9.1. Análisis químicos	179
	7.9.2. Análisis de la carga contaminante generada por los residuos sólidos	181
	7.9.3. Análisis del contenido energético de los componentes de los residuos sólidos	182

7.10.	Diagnóstico de la ruta crítica de la gestión integral de residuos sólidos	183
7.10.1.	Barrido de calles.....	184
7.10.2.	Separación de los residuos sólidos	184
7.10.3.	Almacenamiento de los residuos sólidos	185
7.11.	Recolección y transporte de los residuos sólidos.....	186
7.11.1.	Tipo de recolección utilizada en Jalapa.....	186
7.11.2.	Problemática identificada por el uso de este tipo de recolección	187
7.11.3.	Trazado de rutas de recolección	190
7.11.4.	Frecuencia y horarios de recolección.....	190
7.11.5.	Transporte	190
	7.11.5.1. Transporte municipal.....	191
	7.11.5.2. Transporte privado	191
7.11.6.	Disposición final	191
7.12.	Proyección generación de residuos sólidos	192
7.13.	Marco legal.....	193
7.14.	Resultados de la encuesta	194
7.14.1.	Formas de disposición	194
7.14.2.	Frecuencia de recolección.....	195
7.14.3.	Costo promedio del servicio de recolección	195
CONCLUSIONES.....		197
RECOMENDACIONES		201
BIBLIOGRAFÍA.....		205
APÉNDICES.....		209
ANEXOS.....		213

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica Jalapa, Jalapa 2010	1
2.	Pirámide poblacional Jalapa, Jalapa 2010	3
3.	Etapas del manejo integral de residuos sólidos	11
4.	Metodología empleada para caracterización.....	36
5.	Almacenaje de residuos domiciliarios	52
6.	Camiones recolectores de basura.....	54
7.	Camión de recolección privada	55
8.	Coberturas de recolección de residuos sólidos	57
9.	Actividades de pesaje premuestreo	61
10.	Esquema de actividades caracterización	64
11.	Socialización con personal de la Municipalidad de Jalapa.....	65
12.	Bolsas codificadas según la vivienda de las cuales proceden	68
13.	Descarga y pesaje de bolsas	70
14.	Trabajos realizados en la caracterización	70
15.	Cuarteo y clasificación de los residuos sólidos domiciliarios	71
16.	Esquema de modelo de gestión integral de desechos sólidos.....	92
17.	Rutas de recolección.....	97
18.	Diagrama de flujo del proceso de reciclaje.....	106
19.	Llenado de trincheras.....	113
20.	Área expuesta y dimensiones de la celda diaria para el método de trinchera	118
21.	Población, generación de residuos y área total de trincheras por año para Jalapa, con P = 5 m	119

22.	Secuencia de relleno de trincheras para un año.....	120
23.	Boleta para el registro diario de desechos.....	152
24.	Boleta para la revisión de camiones con desechos sólidos peligrosos y residuos sólidos especiales	153
25.	Boleta para el registro y monitoreo de desechos descargados	154
26.	Variación de la PPC durante el estudio de caracterización	167
27.	Gráfico de composición promedio de los residuos sólidos domiciliarios en Jalapa	169
28.	Composición de los residuos sólidos institucionales en Jalapa	171
29.	Composición de los residuos sólidos comerciales del casco urbano de Jalapa	172
30.	Composición de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles en el casco urbano de Jalapa	174
31.	Tipo de recolección empleada en el municipio.	187
32.	Almacenamiento fuera de las viviendas.....	188
33.	Sitios inadecuados de disposición de residuos generados.....	189
34.	Limpieza de basureros clandestinos por parte de la Municipalidad y el MARN	189
35.	Gráfico de los porcentajes de disposición de residuos sólidos	194
36.	Frecuencia de recolección de residuos sólidos	195
37.	Gráfico de tarifa por servicio de recolección de residuos sólidos	196
38.	Disposición para asumir incrementos en la tarifa	196
39.	Mapa del municipio de Jalapa.	210
40.	Plano basureros clandestinos.....	211
41.	Encuesta caracterización	212

TABLAS

I.	Necesidades básicas insatisfechas Jalapa, Jalapa	4
II.	Características de una adecuada gestión de residuos sólidos	10
III.	Fuentes de residuos sólidos en la comunidad	14
IV.	Calidad promedio del abono de residuos orgánicos	24
V.	Consideraciones importantes de diseño para el proceso de compostaje aerobio	25
VI.	Contenido de nitrógeno y relaciones C/N nominales de materiales compositables seleccionados	27
VII.	Cuadro comparativo de los diferentes métodos de disposición final de los residuos sólidos	35
VIII.	Porcentajes de los compuestos de los residuos sólidos	44
IX.	Pesos atómicos de los elementos presentes en los residuos sólidos.....	45
X.	Valores típicos de contenido energético de los residuos sólidos urbanos.....	46
XI.	Resumen de basureros clandestinos ubicados en el municipio de Jalapa	50
XII.	Cobertura de recolección de los residuos sólidos.....	56
XIII.	Precios por reciclaje de productos.....	58
XIV.	Número de viviendas para el muestreo con base al riesgo α	60
XV.	Distribución de viviendas por localidad	62
XVI.	Distribución de viviendas por localidad según muestra	63
XVII.	Consolidado de resultados obtenidos durante la aplicación de la encuesta del muestreo.....	65

XVIII.	Producción de residuos sólidos por persona por día (PPC)	73
XIX.	Composición promedio de los residuos sólidos de origen domiciliario en el municipio de Jalapa	74
XX.	Composición de los residuos sólidos durante los diferentes días de caracterización.....	75
XXI.	Resultados de densidad, pH, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas.....	76
XXII.	Relación carbono/nitrógeno y análisis químico de la materia orgánica.....	77
XXIII.	Composición de los residuos sólidos de origen institucional	78
XXIV.	Densidad de los residuos sólidos de origen institucional.....	78
XXV.	Composición de los residuos sólidos de origen comercial	79
XXVI.	Densidad de los residuos sólidos de origen institucional.....	79
XXVII.	Composición de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles	80
XXVIII.	Determinación de la densidad de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles	80
XXIX.	Carga contaminante según el origen de los residuos sólidos.....	81
XXX.	Residuos susceptibles a valorización según origen	81
XXXI.	Categorías de residuos sólidos que pueden ser incluidas dentro de un programa de reducción en la fuente	93
XXXII.	Propuesta de reducción en la fuente, con un 5,5% incremental por año	94
XXXIII.	Reducción diaria de la disposición final de residuos sólidos domiciliarios, a través de valorización y reducción en la fuente.....	107
XXXIV.	Composición química de la reducción de la carga contaminante mediante el tratamiento del reciclaje.....	108

XXXV.	Reducción de la carga contaminante mediante el tratamiento del reciclaje.....	108
XXXVI.	Contenido energético de los residuos sólidos domiciliars.....	109
XXXVII.	Contenido energético de los residuos sólidos institucionales	109
XXXVIII.	Contenido energético de los residuos sólidos comerciales.....	110
XXXIX.	Contenido energético de los residuos sólidos del barrido de calles.....	110
XL.	Diseño del relleno sanitario de Jalapa, utilizando el método de trinchera con P=5m.....	114
XLI.	Tiempo de maquinaria	121
XLII.	Operación y rendimiento de mano de obra del relleno sanitario	123
XLIII.	Balance hídrico para determinar el lixiviado	129
XLIV.	Volumen mensual de lixiviados.....	130
XLV.	Costo de equipos y personal de un relleno sanitario semimecanizado.....	132
XLVI.	Costo infraestructura relleno sanitario semimecanizado.....	132
XLVII.	Consolidado de acciones a implementar en el modelo de gestión integral de los residuos sólidos.	133
XLVIII.	Manejo actual y GIRS	135
XLIX.	Actividades recomendadas en la operación de rellenos sanitarios	144
L.	Monitoreo ambiental	162
LI.	Valores de PPC para diferentes ciudades	166
LII.	Variación de la PPC durante el estudio de caracterización	167
LIII.	Comparación de la composición de los residuos sólidos domiciliars urbanos de Jalapa y otras ciudades de la región...	168
LIV.	Comparación residuos sólidos institucionales	170

L.V.	Composición residuos sólidos comerciales	172
L.VI.	Composición residuos sólidos provenientes del barrido de calles	173
L.VII.	Composición de los residuos sólidos según su origen	175
L.VIII.	Densidades residuos sólidos de Jalapa según su origen	176
L.IX.	Análisis físicos residuos sólidos domiciliarios	177
L.X.	Análisis físicos residuos sólidos comerciales, institucionales y barrido de calles	177
L.XI.	Valores recomendados para elaboración de compost.....	180
L.XII.	Análisis químicos de los residuos comerciales, institucionales y barrido de calles	180
L.XIII.	Comparación de la carga contaminante de los diferentes tipos de residuos sólidos según su origen	182
L.XIV.	Comparación del contenido energético de los diferentes tipos de residuos sólidos según su origen	183
L.XV.	Generación de residuos sólidos en Jalapa.....	183
L.XVI.	Generación diaria por barrido de calles.....	184
L.XVII.	Proyección de la generación de residuos sólidos en Jalapa hasta el 2020.....	193

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Q	Caudal
ρ	Densidad
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramo
Ha	Hectárea
hr	Horas
J	Joule
kg	Kilogramo
Kcal	Kilo calorías
Kj	Kilo Joule
lb	Libra
mm	Milímetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
n	Número de datos analizados
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje con base 100
T	Tonelada
V	Volumen

GLOSARIO

Aseo urbano	Conjunto de procesos y actividades que comprenden el manejo de los desechos sólidos en las comunidades.
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.
Biodegradable	Sustancia o material que puede ser descompuesto por microorganismos.
CDR	Combustibles derivados de residuos.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), es la Unidad de Saneamiento Básico del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional para las Américas de la

Organización Mundial de la Salud (OMS). Fue creado en 1968 y desde entonces funciona en Lima, Perú.

Compostaje

Descomposición controlada de los residuos orgánicos sólidos en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Puede ser en pilas, pilas estáticas o contenedores cerrados.

Concesión

Acuerdos por los cuales la empresa privada financia y, por un período de tiempo, es propietaria de las instalaciones (infraestructura y equipo). Estas instalaciones son utilizadas para el manejo de residuos sólidos a cambio de concesiones de una cantidad específica y calidad de manejo de residuos sólidos.

Gestión integral de residuos sólidos

Disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas.

Lixiviado

Líquido percolado a través de los residuos sólidos, en un relleno compuesto, principalmente por el agua de lluvia, humedad y descomposición orgánica, materiales disueltos y suspendidos.

OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
pH	Concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de una disolución.
PPC	Estimación de la producción promedio de residuos sólidos por persona, puede ser a nivel domiciliario, comercial, institucional, municipal, etc.
Relleno sanitario	Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos. Su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, controla la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del medio ambiente y proteger la salud de la población.
RSU	Residuos solidos urbanos.
Segregadores	Personas que trabajan informalmente en el negocio de la separación y venta de componentes de los residuos sólidos. Son llamados también: clasificadores, pepenadores, picadores, guajeros, recicladores, etc.

Tratamiento	Transformación física, química, biológica de los residuos sólidos para alterar sus características, proporcionando una mayor estabilidad o posibilidad de aprovechar su potencial.
Trinchera	Tratamiento de residuos sólidos que se usa cuando el nivel de las aguas freáticas es profundo y las pendientes del terreno son suaves; de ahí que las zanjas pueden ser excavadas con equipos de movimiento de tierra. Consiste en depositar los residuos en un extremo de la zanja recostándolo contra el talud; los trabajadores los esparcen y compacta en capas con herramientas de albañilería hasta formar una celda que al final de la jornada será recubierta con la tierra extraída de la zanja.
Vector	Portador o huésped intermedio de un parásito o virus que transmite el germen de una enfermedad a otro huésped.

OBJETIVOS

General

Proponer una gestión integral de residuos sólidos, implementando una reducción valorizable y establecer lineamientos adecuados para la disposición final.

Específicos

1. Caracterizar los residuos sólidos domésticos, comerciales, institucionales y barrido de calles de la cabecera departamental de Jalapa, determinando a su vez el porcentaje de reúso o reciclaje.
2. Analizar la carga contaminante y contenido energético que generan los residuos sólidos de la cabecera departamental de Jalapa.
3. Proponer la mejor alternativa para la disposición final de los residuos sólidos de la cabecera departamental de Jalapa.
4. Proponer la forma más adecuada de participación social, institucional y legal para el manejo de los desechos sólidos en la cabecera departamental de Jalapa

INTRODUCCIÓN

Los desechos sólidos son todos los que proceden de actividades humanas y de animales que son normalmente sólidos, que se desechan como inútiles o indeseados. El término incluye todo y abarca las masas heterogéneas de desechos de comunidades urbanas, lo mismo que acumulaciones más homogéneas de desechos agrícolas, industriales y minerales. En un ambiente urbano, la acumulación de desechos sólidos es una consecuencia directa de la vida.

La gestión integral de residuos implica la adopción de todas las medidas necesarias en las actividades de prevención, minimización, separación en la fuente, almacenamiento, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos, que se realizan de manera individual o interrelacionadas y en condiciones que procedan por el cuidado de la salud humana y el ambiente.

Actualmente se tiene contemplado la construcción de un relleno sanitario para la cabecera municipal de Jalapa, con la intención de mejorar el aspecto ambiental de los habitantes, teniendo como objetivo principal, darle un manejo adecuado al tratamiento de los residuos que produce el municipio. Por tal motivo surge la necesidad de contar con una gestión integral de residuos y desechos sólidos, el cual tiene como fin ser un instrumento guía en materia de residuos y desechos sólidos urbanos y establecer medidas de manejo bajo un enfoque preventivo, con el fin de controlar y minimizar los impactos ambientales que pudieran derivarse de un mal manejo de desechos sólidos derivados de las actividades diarias de la población de Jalapa.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión integral de los residuos sólidos es un problema que no ha sido abordado en el municipio de Jalapa, es común observar residuos sólidos en calles, parques, áreas verdes y, principalmente, en el mercado municipal, trayendo con esto quejas de la población por la mala recolección, tratamiento y disposición final que se presta en el municipio.

Debido al mal manejo de los residuos y aumento poblacional en la cabecera municipal de Jalapa, la cantidad de residuos y los basureros clandestinos va en aumento, generando contaminación ambiental y problemas de salud a la población, según informe de la sala situacional del Hospital Nacional Departamental "Nicolasa Cruz", una de las principales causas de morbilidad prioritarias en primeras consultas es la amigdalitis aguda no especificada con un total de 10 807,00 consultas anuales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la siguiente pregunta: ¿Con una adecuada gestión integral y valorización de los residuos sólidos del municipio de Jalapa, se obtendrá un 30 por ciento de reducción del peso generado anualmente?

HIPÓTESIS

Con una adecuada gestión integral y valorización de los residuos sólidos del municipio de Jalapa, se obtendrá un 30 por ciento de reducción del peso generado anualmente.

JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIARIOS

La falta de planificación, manejo adecuado de los desechos sólidos y tratamiento, hizo que la basura solamente se acumulara en el botadero municipal, quemándola o simplemente rellenándola. La Municipalidad de Jalapa tiene contemplado la construcción de un centro de valorización y el relleno sanitario municipal de Jalapa, con esto se eliminará el problema de los gases emanados por la basura, controlando la producción de lixiviados, y disposición de los residuos y desechos sólidos.

Este trabajo es importante, ya que el proyecto de la construcción de un centro de valorización y relleno sanitario debe contar con una guía para el manejo integral de residuos sólidos y conocer al mismo tiempo el porcentaje que puede ser aprovechado, esto con la finalidad de obtener un porcentaje de valorización de los residuos sólidos y aumentar la vida útil de la disposición final.

Con la aplicación de esta investigación se mejorarán las condiciones de salud, minimizando las enfermedades que más afectan a la población, las cuales según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala son: amigdalitis aguda no especificada, con un total de 10 807 personas y parasitosis intestinal con un total de 9 566.

Los principales beneficiarios de esta investigación serán:

La población afectada por el mal manejo y disposición final de los residuos sólidos y la Municipalidad de Jalapa: ya que a través del estudio se le darán las

herramientas necesarias para efectuar un mejor manejo de los residuos sólidos y poder conocer los residuos que se pueden valorizar a través de un tratamiento.

VIABILIDAD

La información que se origina en este trabajo de investigación, proporcionará a la Municipalidad de Jalapa una guía para el manejo integral de residuos sólidos, como también el porcentaje que puede ser aprovechado.

Se cuenta con el recurso financiero provisto por el Dr. Nery Adolfo Campos Polanco del Centro de Diagnóstico Radiológico (DIRAD) y la Municipalidad de Jalapa, para llevar a cabo todas las actividades derivadas de la caracterización de los residuos sólidos, también se cuenta con el apoyo del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de EMPAGUA-ERIS del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería ubicado en el edificio T-5 de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) provee el acceso a la bibliografía relacionada al tema y asesoramiento.

ALCANCE

El alcance del presente trabajo de investigación es la disponibilidad de información técnica sobre volumen de generación, características y composición física de los residuos sólidos en el área urbana, para proponer una gestión integral de residuos sólidos en el municipio de Jalapa.

LIMITACIONES

Falta de información de la Municipalidad de Jalapa en el tema de desechos sólidos.

Limitada información sobre operadores privados que prestan el servicio de desechos sólidos.

Falta de estudio socioeconómico, que permitiera efectuar la caracterización de acuerdo a los diferentes estratos sociales.

Falta de cooperación de la población al dar información sobre la vivienda, debido a la situación de seguridad de Jalapa.

El área de cobertura de la investigación se enfocará, exclusivamente al área urbana, debido a que es el porcentaje de población que más genera residuos sólidos en la cabecera municipal de Jalapa.

Tipo de análisis que se puede realizar en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de EMPAGUA-ERIS del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

ANTECEDENTES

La cabecera departamental de Jalapa ha experimentado en los últimos años un crecimiento urbano y comercial, trayendo un aumento en la demanda de servicios municipales, entre ellos el de recolección de residuos sólidos. Según el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) de Jalapa el 96 por ciento de las necesidades insatisfechas son por saneamiento ambiental, lo que evidencia la problemática en temas de tratamiento de aguas residuales y manejo de desechos sólidos. Como la mayor parte de los municipios de Guatemala, Jalapa dispone sus desechos en el botadero municipal sin ningún tipo de control o tratamiento.

La baja cobertura del servicio de recolección y la falta de un método adecuado para la disposición final, ha facilitado la proliferación de basureros clandestinos, generando en el municipio una mayor contaminación ambiental y un incremento en el número de personas con padecimientos o enfermedades relacionadas con el inadecuado manejo de los residuos.

La Municipalidad de Jalapa cuenta con la Dirección de Servicios Municipales encargada del manejo de los residuos sólidos, derivados de las actividades asociadas al barrido de calles, jardinería, limpieza de áreas verdes, eliminación de botaderos clandestinos y la administración del botadero municipal. El servicio de recolección domiciliar es prestado por cuatro empresas privadas de recolección que tienen una cobertura del 56 por ciento del total de viviendas en el área urbana.

El tema del manejo de los residuos sólidos no ha sido abordado a profundidad en Guatemala, sin embargo, la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria cuenta con una serie de estudios que ayudan a enriquecer la información acerca de este tema, los estudios son los siguientes:

- Relleno sanitario: análisis económico del equipo usado en la ciudad de Guatemala. Ruiz Quirós, Manuel Enrique, 1974.
- Disposición de desechos sólidos en la ciudad universitaria: Barraza. Cabezas, Mario, 1975.
- Análisis de la composición de las basuras en la ciudad de Guatemala para una posible reutilización. Del Cid Flores, Juan Rafael, 1975.
- Análisis sobre el sistema de recolección de desechos sólidos en una zona de la ciudad de Guatemala, tomando en cuenta los problemas de circulación. Vallecillo Chávez, María Lourdes, 1979.
- Evaluación preliminar del proceso de compostamiento en la planta de tratamiento de la Municipalidad de Guatemala. Tay Oroxom, José Manuel, 1984.
- Estudio de la eliminación de desechos sólidos en el Hospital Roosevelt de la ciudad de Guatemala. Wyss Orozco, Juan Rodolfo, 1984.
- Sistema de desechos sólidos en un área marginada de la ciudad de Guatemala. Santos Vigil, Amelia Elizabeth, 1986.

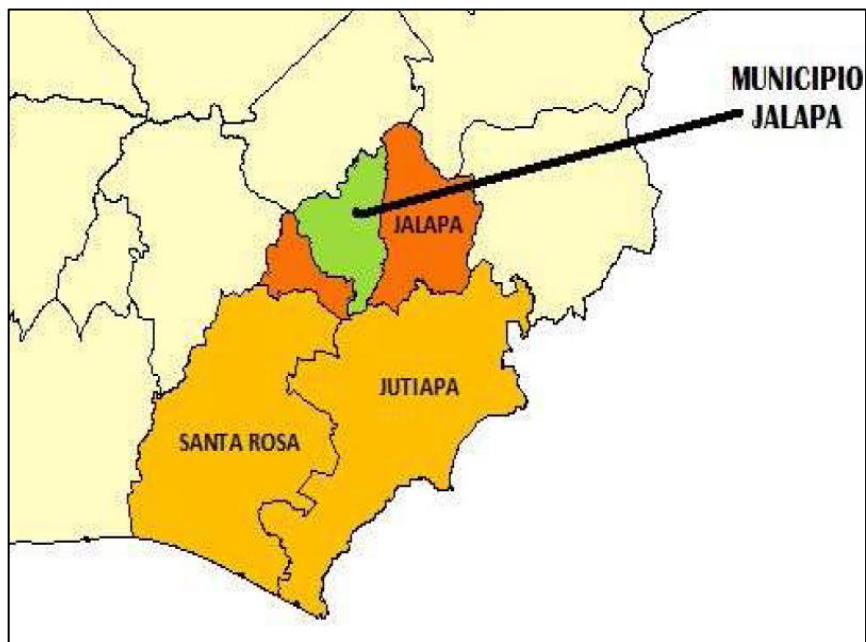
- Estudio de recolección y disposición de los desechos sólidos del municipio de Sumpango, Sacatepéquez. Moreno Ponce, León Julio, 1991.
- Caracterización de los desechos sólidos del mercado municipal de Antigua Guatemala. Reyes Vásquez, Alcibíades, 1994.
- Manejo integral de los desechos sólidos en San Lucas Sacatepéquez. Domínguez de Franco, Viccelda María; Franco Cruz, Noriel Alfredo, 1996.
- Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque. Lewis, Gilroy Francis; Matías Palacios, Ronald David, 2005.
- Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pínula, Raudales Osorto Rommel Josué, Grádiz Cáceres Marvin Ovidio, 2012.

Específicamente para el departamento de Jalapa no se tienen estudios relacionados al tema de los desechos solidos

1. ÁREA DE ESTUDIO

Jalapa se constituye en uno de los 7 municipios del departamento, de la región IV suroriente de Guatemala. La cabecera municipal dista de la ciudad capital vía Sanarate a 102 kilómetros. y vía Jutiapa a 172 kilómetros. (IGN 2000), El municipio está localizado a 1 362 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 14° 38' 02" y longitud 89° 58' 52"; geográficamente limita al norte con Guastatoya (El Progreso); al este con San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón (Jalapa); al sur con San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla (Jalapa) y al oeste con Sanarate, Sansare (El Progreso) y Mataquescuintla (Jalapa) (IGN 2000).

Figura 1. **Ubicación geográfica Jalapa, Jalapa 2010**



Fuente: Cooperativa El Recuerdo. *Planificación territorial*. p.5.

1.1. Extensión territorial

Según el IGN (2000) establece que el municipio tiene una extensión territorial de 544 kilómetros cuadrados, mientras que el Instituto Nacional de Estadística (INE 2002) le atribuye una extensión de 686 kilómetros cuadrados. De acuerdo a los datos del INE, Jalapa abarcaría el 33,7 por ciento del área total del departamento.

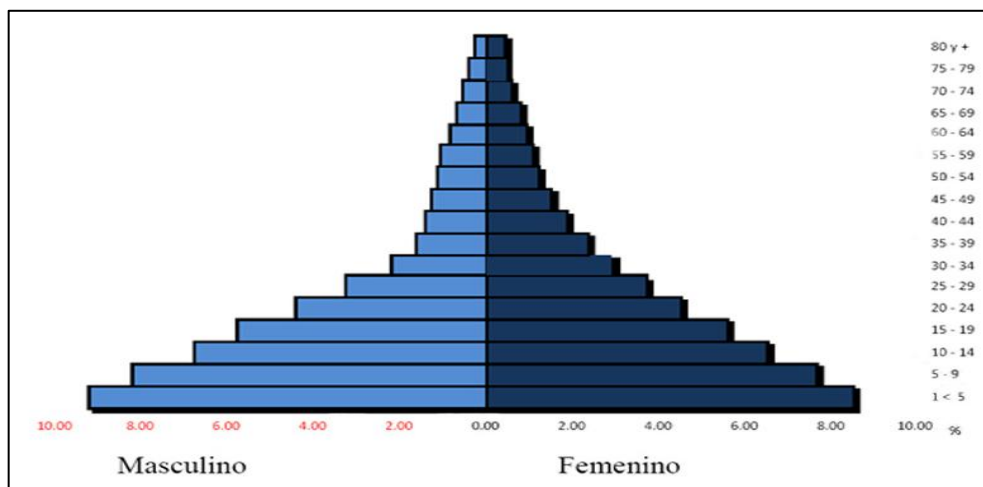
1.2. Demografía

Según el XI Censo de Población y VI de Habitación del Instituto Nacional de Estadística (INE 2002), Jalapa tiene una población censada de 105 796 habitantes, siendo el 44 por ciento de la población del departamento. Al 2010 se estima para el municipio de Jalapa una población de 138 740 habitantes (INE 2002), proyectándose un crecimiento poblacional anual del 3,1 por ciento aproximadamente.

La densidad poblacional del municipio estimada para 2010 es de 202 habitantes por kilómetros cuadrados, y es una de las más altas del departamento. La mayor concentración poblacional se da en el casco urbano y la montaña Xalapán, habiendo una menor concentración poblacional en Ladinós Pardos y la zona del volcán Jumay.

La población de Jalapa está concentrada en comunidades rurales (63 %), tan solo un 37 por ciento de la población vive en el casco urbano.

Figura 2. Pirámide poblacional Jalapa, Jalapa 2010



Fuente: INE 2002.

1.3. Condiciones de vida

En el municipio de Jalapa, la tasa oficial de pobreza general es de 68,7 por ciento, y la tasa de pobreza extrema es de 28,1 por ciento (SEGEPLAN, 2006). Con relación al ODM, la meta municipal para el 2015 es de 13,6 con una brecha de -14,5 (SEGEPLAN 2010).

El índice de desarrollo humano (IDH) de Jalapa es de 0,589, tiene un bajo índice de salud (0,614), de educación (0,580) e ingresos (0,572), (PNUD 2005), caracterizando la falta de oportunidades de desarrollo en el municipio, y sobre todo en las comunidades rurales.

Las zonas más postergadas de color rojo en la tabla I son las comunidades más alejadas del casco urbano, ubicadas en la Montaña Xalapan y Norte del Municipio, donde predomina la agricultura de subsistencia.

1.4. Calidad de vida

El índice de calidad de vida (SEGEPLAN 2008), ubica a Jalapa en el número 168 de 332 municipios del listado nacional, con un nivel de vida media. La tabla I muestra la distribución de necesidades básicas insatisfechas (NBI) en el municipio de Jalapa por MR en relación a las 98 MR del departamento de Jalapa. En verde se identifican las 24 MR con mejor desarrollo, en amarillo hasta MR 48, con desarrollo regular, en naranja hasta MR 72 con deficiencia de necesidades básicas, y en rojo las MR con alta precariedad y subdesarrollo.

Tabla I. **Necesidades básicas insatisfechas Jalapa, Jalapa**

MICROREGION	POB INE 2002	COCODE	ALDEA	CASERIO	FINCA	PARAJE	CATURBANA	Necesidades Básicas Insatisfechas				
								Mujeres Analfabetas	Situación de Vivienda	Saneamiento	Desnutrición Crónica	NBI
1. CASCO URBANO JALAPA	30,408	8	0	0	0	0	22	83%	9%	96%	22%	2
2. PERIFERIA LLANO GRANDE	3719	5	1	8	1	0	3	73%	30%	70%	38%	20
3. PERIFERIA ACHIOTES JUMAY	1777	4	1	2	0	0	1	70%	32%	78%	21%	10
4. CHAGUIITE	3,222	3	1	6	1	0	0	63%	69%	59%	50%	49
5. SAN JOSE	1085	5	2	4	1	0	0	69%	44%	54%	34%	31
6. SAN MIGUEL MOJON	2527	8	4	5	0	2	0	60%	70%	56%	37%	50
7. LA PASTORIA	2,801	3	2	2	2	0	0	47%	71%	38%	61%	73
8. AZUCENAS	3313	11	6	10	0	0	0	48%	76%	76%	59%	64
9. EL ASTILLERO	1358	4	3	4	1	0	0	51%	82%	88%	61%	62
10. VAREJONES	1950	8	4	13	3	0	0	49%	81%	50%	63%	80
11. MIRAMUNDO	2,593	4	2	5	0	0	0	52%	73%	64%	73%	72
12. EL BOSQUE	1825	4	1	3	0	0	0	48%	85%	68%	62%	77
13. BUENA VISTA	1,910	3	1	3	0	0	0	46%	79%	79%	76%	70
14. LA TOMA/TATASIRIRE	2,549	10	1	10	0	0	0	66%	72%	54%	45%	48
15. EL PARAISO	3,642	4	1	4	0	0	0	43%	85%	75%	66%	75
16. LA FUENTE	4,554	4	1	6	0	0	0	41%	83%	56%	58%	83
17. SASHICO	3297	7	1	6	0	0	0	56%	77%	92%	65%	55
18. PATAGALANA	2,545	4	0	5	0	0	0	63%	65%	92%	58%	32
19. LAGUNA DEL PITO	2,274	4	0	5	0	1	0	53%	73%	84%	56%	51
20. EL RODEO	2,922	2	1	2	0	0	0	61%	77%	87%	65%	53
21. HIERBABUENA	1,617	4	1	3	0	0	0	54%	81%	87%	69%	63
22. LOS IZOTES	2,590	3	1	2	0	0	0	53%	78%	85%	58%	58
23. SAN JOSE CARRIZAL	2,099	3	1	3	0	0	0	48%	69%	72%	54%	59
24. PALO VERDE	4,042	4	1	4	0	0	0	41%	76%	71%	70%	71
25. SANSIRISAY	2184	3	0	3	0	0	0	31%	86%	92%	75%	74
26. LA PAZ	3351	5	1	4	0	0	0	70%	60%	73%	25%	22
27. EL DURAZNO	5,772	7	1	6	0	0	0	65%	75%	64%	42%	46
28. SAN YUYO	3,616	4	1	3	0	0	0	63%	42%	32%	24%	36
POBLACION DISPERSA	254	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL JALAPA	105,796	138	40	131	9	3	26	65%	49%	80%	52%	

Fuente: Cooperativa El Recuerdo, *Planificación territorial 2010*. p.15.

Se puede observar que la región urbana y periurbana de Jalapa tiene buen grado de satisfacción de sus necesidades básicas, mientras que las comunidades de la Montaña Xalapán (Sansirisay, Patagalana, Hierbabuena, Palo Verde) son las que menor desempeño presentan.

1.5. Red de servicios

El municipio de Jalapa cuenta con dos Distritos Municipales de Salud, siendo el Distrito I Jalapa, con una cobertura de 86 414 habitantes y el Distrito VIII Sanyuyo con una cobertura de 47 618 habitantes (MSPAS 2008). La memoria de labores del MSPAS de 2008 indica que el 45 por ciento de la población (59 843 habitantes) es cubierto por los servicios institucionales del MSPAS, constituido por 2 centros de Salud y 7 puestos de Salud; mientras que el 55 por ciento restante (74 189 habitantes), por las prestadoras de servicios de salud (PSS) Cooperativa El Recuerdo y Proyecto Cactus, en el marco del Programa de Extensión de Cobertura (PEC), no habiendo comunidades sin acceso a servicios de salud. El municipio de Jalapa cuenta con los siguientes servicios del MSPAS:

- Hospital Nacional departamental “Nicolasa Cruz”, ubicado en la cabecera municipal, con atención de especialidades médicas.
- Hospital Oftalmológico, administrado por la Misión cubana, anexo al Hospital Nacional. o centro de Salud tipo B, en la cabecera departamental.
- Centro de Atención Permanente (CAP) en aldea Sanyuyo, con horario ampliado de atención las 24 horas del día, los 7 días de la semana.
- 7 puestos de Salud en las aldeas Azucenas, San Miguel Mojón, Laguneta, San José Carrizal y Sansirisay, y recién establecidos en Los Izotes y Buena Vista.

- 30 centros de convergencia con atención permanente por auxiliar de enfermería, de los cuales hay 18 centros administrados por la Cooperativa El Recuerdo (Astillero, Bosque, Guacamayas, Miramundo, Paraiso, Divisadero, Duraznal, Llanitos, Patagalana, Toma, Sansurutate, La Lagunilla, Palo Verde, Laguna de Itzacoba, Palo Verde, Hierbabuena, Sashico, La Paz y Laguna del Pito) y 12 centros por Asociación CACTUS (El Chagüite, Quebraditas, El Rodeo, Araizapo, El Durazno, El Roblar, Talquezal, La Pastoria, Los Limares, Arloroma, Guaje y La Fuente de la Montaña) en el marco del Programa de Extensión de Cobertura.

El municipio de Jalapa cuenta además, con los siguientes servicios de salud:

- IGSS: en la cabecera departamental hay consultorio del IGSS con encamamiento y servicio de atención por accidentes, enfermedad común y maternidad, con atención de especialidades médicas. Se cuenta con un terreno para construcción de un hospital del IGSS.
- Centro de rehabilitación FUNDABIEN, que asiste a la población con capacidades especiales del departamento.
- Centro de recuperación nutricional administrado por la Fundación Castillo Córdoba.
- 38 farmacias, 75 clínicas médicas particulares y 4 sanatorios privados, siendo muy variada y extensa la oferta de servicios privados de salud en el municipio.

1.5.1. Servicio de agua

En el municipio de Jalapa, el último censo indica que el 81,9 por ciento de hogares cuentan con fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable (INE 2002). Tomando en cuenta que el ODM nacional es lograr que el 82 por ciento de hogares tengan acceso a agua potable en 2015, se puede constatar que Jalapa contribuyó a alcanzar dicha meta. Sin embargo, aún existe 3 641 familias que no cuentan con servicio de agua potable. En el taller sobre Análisis de Medio Ambiente, los participantes manifestaron la deficiencia de los sistemas de agua y la contaminación del agua a causa de la falta de clorificación. Se identificó que las MR con más deficiencia en agua son el casco urbano, Los Izotes, San José Carrizal, El Bosque, La Pastoría y Achiotes Jumay.

1.5.2. Servicios sanitarios

En el municipio de Jalapa, apenas el 37,6 por ciento de hogares tiene acceso a servicios de saneamiento mejorado, con su servicio sanitario conectado a una red de drenajes, a una fosa séptica o con excusado lavable; mientras que el 20 por ciento no cuentan con ningún tipo de servicio sanitario (INE 2002). Solo el casco urbano y aldea Sanyuyo cuentan con servicio de drenajes, siendo descargadas las aguas servidas sin ningún tratamiento a los ríos que pasan por la periferia de estos lugares poblados. Para contribuir a alcanzar la ODM en materia de saneamiento básico en Jalapa debería de conectarse más de 5 000 hogares en los siguientes 5 años. Un paso intermedio podría ser un programa de letrización para unas 4 000 familias, para que todas puedan tener al menos un servicio sanitario, para lo cual se debería priorizar las comunidades de Sansirisay, Quebraditas, La Pastoría, Pata Galana, Sanyuyo, San José Carrizal y El Mojón.

1.5.3. Recolección de desechos sólidos

La extracción de basura se da únicamente en el casco urbano, a través de cuatro empresas privadas, que recolectan los desechos familiares y de mercado y los conducen al botadero municipal donde son enterrados sin el manejo adecuado. El botadero municipal se encuentra en el casco urbano, ubicado en el Cementerio Municipal y es causa de muchos problemas ambientales. Las comunidades rurales no cuentan con servicio de recolección de la basura.

El 31% de la población tira la basura en cualquier lugar (INE 2002), por lo que se requiere de programas educativos para prevenir y manejar de manera apropiada los desechos sólidos.

1.5.4. Rastro Municipal

Jalapa cuenta con un rastro Municipal en el casco urbano del municipio, contando con personal que mantiene limpio el lugar. Los desechos líquidos son dirigidos al río sin ningún tipo de manejo, actualmente se está construyendo otro rastro municipal con mejores condiciones de infraestructura y tratamiento de los desechos líquidos.

1.5.5. Energía eléctrica

El último censo (INE 2002), indica que el 81 por ciento de hogares del municipio contaban con el servicio eléctrico. Las viviendas del casco urbano reciben el servicio de la Empresa Eléctrica Municipal y las comunidades rurales son atendidas por la empresa DEORSA, con deficiencia en energía eléctrica las microregiones de Quebraditas, La Pastoría, El Mojón, Los Izotes y San José Carrizal.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Manejo integral de desechos solidos

Los residuos sólidos comprenden todos aquellos objetos, materiales, productos o sustancias, resultantes del consumo o uso de un bien 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. El origen y la composición de los residuos sólidos generados en una comunidad dependen, en gran medida de su localización geográfica, del tipo de uso que se le da al suelo, nivel de acceso socioeconómico, costumbres y clima.

2.2. Gestión de residuos sólidos

Es la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, economía, ingeniería, conservación, estética, otras consideraciones ambientales, y responde a las expectativas públicas.

2.3. Gestión integral de residuos sólidos

De acuerdo con Tchobanoglous, la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnología y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos. El manejo integral de residuos sólidos sigue

las etapas que se describen en la figura 3. Además debe incluir, en la medida de lo posible, las siguientes características que se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Características de una adecuada gestión de residuos sólidos**

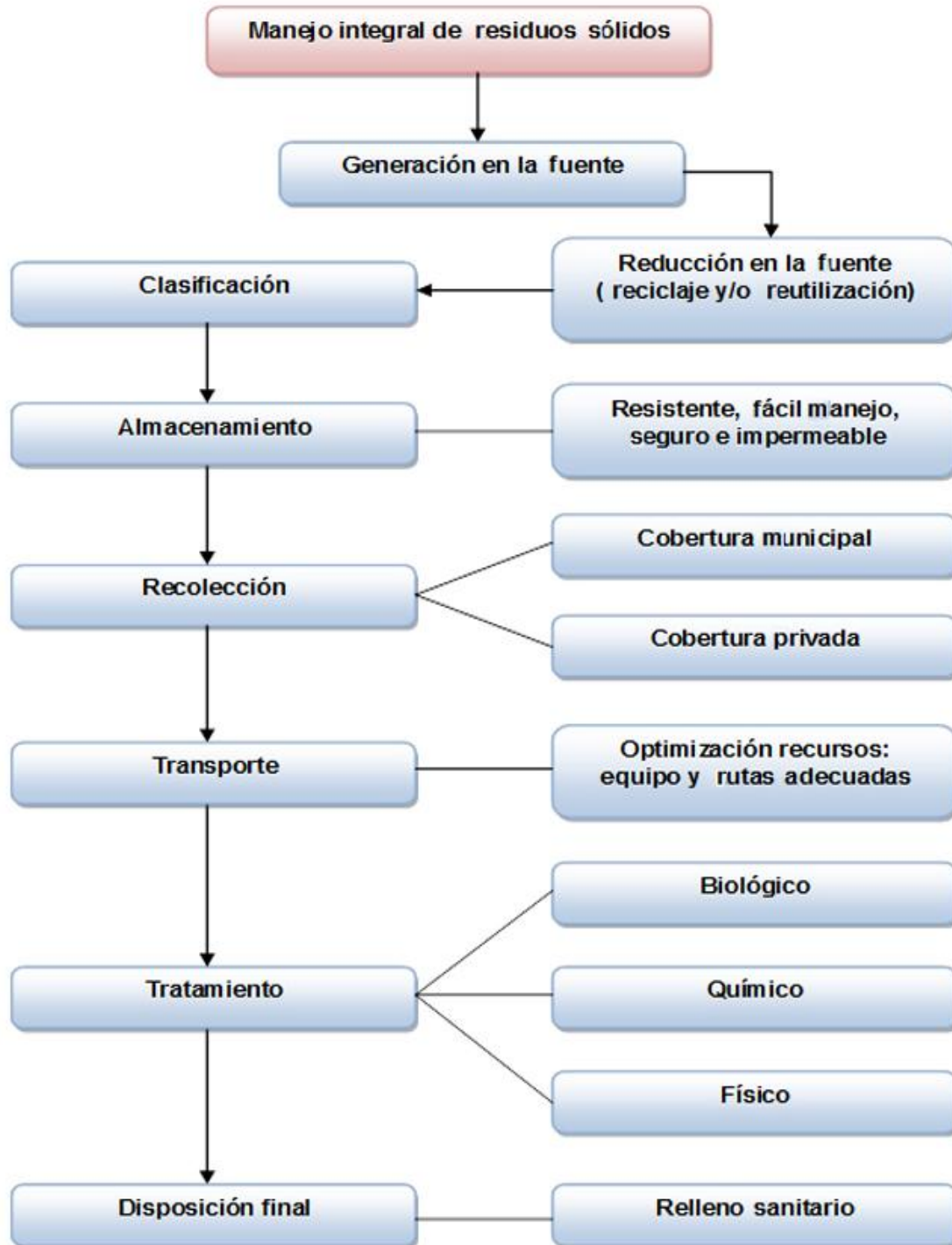
Aspecto	Descripción
Técnico	Fácil implementación; operación y mantenimiento; uso de recursos humanos y materiales de la zona; desde la producción hasta la disposición final.
Social	Fomenta los hábitos positivos de la población y desalienta los negativos; promoviendo la participación organizativa de la comunidad.
Económico	Costos de implementación, operación, mantenimiento y administración al alcance de la población que debe pagar el servicio.
Organizativo	La administración y gestión del servicio debe ser simple y dinámica; además de ser racional.
Salud	Debe contemplar un programa mayor de prevención de enfermedades infecciosas.
Ambiental	Evita impactos ambientales negativos que pueden afectar el suelo, agua y aire.

Fuente: CEPIS/OPS/OMS, 1997. *Guía para el manejo de los residuos sólidos*. p.33.

2.3.1. Objetivos de la gestión integral de residuos sólidos

El objetivo primordial de la gestión de residuos sólidos es proteger la salud de la población y promover la conservación del medio ambiente. Lo anterior es posible cuando las comunidades cuentan, no solo con una buena cobertura del servicio, sino también con una adecuada educación sanitaria que permita manejar apropiadamente cada etapa del proceso, desde la generación misma en la fuente hasta la disposición final del residuo.

Figura 3. **Etapas del manejo integral de residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Generación en la fuente

Los residuos sólidos surgen de las diferentes actividades que desarrollan los seres humanos en su vida cotidiana, de ahí que su volumen y características varíen de una ciudad a otra, de conformidad con el tipo de actividad económica, características geográficas y sociales propias de la región. De manera general, las fuentes de generación de residuos sólidos son: viviendas, mercados, ferias, hospitales, colegios, mataderos, agricultura, ganadería, entre otros.

La gestión integral de residuos sólidos plantea la reducción en la fuente, como la forma más eficaz de disminuir los costos asociados al manejo de los residuos y los impactos ambientales derivados de estos. La reducción de los residuos puede ser lograda mediante el diseño, la fabricación y el envasado de productos con un material tóxico mínimo, un volumen mínimo de material, o una vida útil más larga. En las viviendas, instalaciones comerciales o industriales puede ser lograda mediante la compra selectiva de productos y el reúso o reciclaje.

Ya sea que se desee diseñar o mejorar un sistema de residuos sólidos o limpieza pública, se requiere considerar tres características:

- **Producción por habitante:** permite estimar la producción total de desechos sólidos producidos en determinado lugar y tiempo.
- **Densidad:** estimar el tipo y volumen de recipientes, botes de basura o contenedores y la frecuencia de recolección; calcular la capacidad de vehículos de recolección; determinar los requerimientos de área para el relleno sanitario.

- Composición física (química): evaluar la factibilidad de opciones como reciclaje, compostaje e incineración.

2.5. Clasificación de los residuos sólidos por su origen

Aunque puede desarrollarse un número variable de clasificaciones sobre los orígenes de los residuos sólidos, las siguientes son categorías útiles:

- Doméstico
- Comercial
- Institucional
- Construcción y demolición
- Servicios municipales
- Zonas de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Industrial
- Agrícola

La tabla III muestra los diferentes tipos de residuos generados de acuerdo a su origen

Tabla III. Fuentes de residuos sólidos en la comunidad

Fuente	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Doméstica	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, etc.; unifamiliares y multifamiliares	Residuos de; comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas en la calle, especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, bienes de la línea blanca, residuos de jardín recogidos separadamente, baterías, pilas, aceite, neumáticos), domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, especiales. (Ver párrafo superior), residuos peligrosos.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(comercial)
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad, etc.
Servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento)	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques, playas, otras zonas de recreo.	Residuos especiales, basura, barreduras de la calle, recortes de árboles y plantas, de cuencas, generales de parques, playas y zonas de recreo.
Plantas de tratamiento; incineradoras municipales	Agua residuales y procesos de tratamiento industrial, etc.	Residuos de plantas de tratamiento, compuestos principales de fangos.

Continuación de la tabla III.

Fuente	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Residuos sólidos urbanos	Todos los citados	Todos los citados
Industrial	Construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición, etc.	Residuos de; procesos industriales, materiales de chatarra etc., no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, especiales, residuos peligrosos.
Agrícolas	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas, etc.	Residuos de comida, agrícolas, basura, peligrosos.

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.112.

2.6. Impacto de los residuos sólidos en la salud pública

Existe una estrecha relación entre el deterioro de la salud pública y el inadecuado manejo de los residuos sólidos. Es normal que aquellas personas que entran en contacto directo o indirecto con los residuos sólidos puedan verse mayormente expuestas a contraer diferentes tipos de enfermedades, siendo el personal encargado de la recolección y los recicladores el grupo mayormente afectado.

Si bien es cierto, algunas enfermedades no pueden ser atribuidas al contacto de los humanos con los residuos sólidos, la existencia cada vez mayor de vertederos a cielo abierto proporciona el alimento y hábitat propicio para la

reproducción de ratas, moscas, cucarachas, mosquitos, y otros vectores transmisores de enfermedades, como: fiebre tifoidea, salmonellosis, disenterías, intoxicaciones alimenticias, diarreas, malaria, dengue, fiebre amarilla, entre otras.

Debe recordarse además, que los contaminantes biológicos y químicos derivados de los residuos sólidos, pueden ser transportados a través del aire, el agua y el suelo, contaminando de esta forma los alimentos y las fuentes de agua, de las cuales se abastecen las personas.

El inadecuado manejo de los residuos sólidos en vertederos a cielo abierto, permite además, que la materia orgánica al biodegradarse o quemarse, desprenda gases orgánicos volátiles, tóxicos y algunos potencialmente carcinógenos, así como subproductos típicos de la biodegradación (metano, sulfuro de hidrógeno y bióxido de carbono). El viento y el humo generado de la quema afecta además, el sistema respiratorio de las personas que viven en las casas ubicadas en las cercanías de los vertederos.

En la mayor parte de los países del área centroamericana, no existen sistemas adecuados de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, de manera que las personas encargadas de efectuar este trabajo se ven expuestas a contraer diferentes tipos de enfermedades. Es bastante común que los residuos peligrosos provenientes de hospitales o industrias sean descargados junto con los residuos domésticos comunes, lo cual supone un riesgo bastante elevado para aquellas personas que se dedican al reciclaje. La falta de medidas de prevención, equipo adecuado, de hábitos de higiene facilita, por tanto, el desarrollo de enfermedades en dichos sectores de la población.

2.7. Impactos de los residuos sólidos en el medio ambiente

El crecimiento poblacional que experimentan las zonas urbanas; ha traído consigo un aumento en la generación de residuos sólidos, dificultando de esta forma su adecuada disposición y provocando una serie de impactos negativos en el medio ambiente. Resulta lógico pensar que el efecto más visible del impacto de los residuos sólidos en el medio ambiente sea por tanto, el deterioro estético y del paisaje natural. Los residuos sólidos contaminan el recurso hídrico, emiten malos olores y polvos irritantes, deterioran los suelos, facilitan la existencia de incendios entre otros, de aquí la importancia de su adecuado manejo.

2.7.1. Contaminación de los recursos hídricos

El inadecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos contamina el recurso hídrico superficial y subterráneo, dificultando su empleo para el consumo humano, el riego de cosechas o cualquier otra actividad que necesite el empleo de este recurso.

La presencia de basuras, bolsas, colchones, escombros y en general, cualquier elemento que pueda represar el cauce normal de un río o una quebrada, puede afectar el flujo normal del agua. En casos muy particulares como en crecientes repentinas o en épocas de alto invierno, la presencia de gran cantidad de residuos, provoca el represamiento de los cauces, produciendo inundaciones que afectan a las familias aledañas a estos cuerpos de agua, dañando zonas de cultivo e impactando negativamente a la zona.

El vertido incontrolado de residuos sólidos en cuerpos superficiales, facilita además, el incremento de la carga orgánica, generando compuestos que

acidifican el agua, eliminan el oxígeno vital para la vida de las especies acuáticas y hace que las aguas para consumo humano se contaminen y generen problemas de salud. Dichos fenómenos permiten además, el incremento en los niveles de nutrientes, dando lugar a la formación de algas que contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de agua, generan malos olores y deterioran gravemente el aspecto estético.

La presencia de residuos afecta además, las costas y playas, amenazando la flora y la fauna marina, el turismo y las actividades económicas relacionadas a estas zonas, como: la pesca y la recreación, entre otros. El inadecuado manejo de los lixiviados provenientes de vertederos a cielo abierto, permite que estos se infiltren en el suelo, contaminando los acuíferos con sustancias tóxicas que incrementan los costos de tratamiento de estas fuentes.

2.7.2. Contaminación del suelo

Este es el recurso que directamente se ve afectado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, ya que el ser humano los ha depositado a través de los años en botaderos no controlados. Su contaminación ocurre a través de diferentes elementos como los lixiviados, que se filtran a través del suelo, afectando la productividad del mismo y acabando con la microfauna que habita en él (lombrices, bacterias, hongos, musgos, entre otros.), lo cual lleva a la pérdida de productividad del suelo, aportando así a incrementar el proceso de desertificación del suelo. La presencia constante de basura en el suelo evita la recuperación de la flora de la zona afectada e incrementa la presencia de plagas y animales que causan enfermedades, como las ratas, cucarachas, moscas y zancudos.

2.7.3. Contaminación atmosférica

Los residuos sólidos en su proceso de descomposición generan malos olores y gases como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Estos ayudan a incrementar el efecto invernadero en el planeta, aumentando la temperatura y generando el deshielo en los polos. Este proceso de descomposición se puede controlar con una correcta disposición de los residuos sólidos a través de su incineración tecnificada, de la ubicación de los residuos en rellenos sanitarios y/o botaderos especializados. También los residuos sólidos pueden afectar el aire, cuando estos son quemados de manera descontrolada, generando humo y material en pequeñas partículas, los cuales afectan el sistema respiratorio de los seres humanos.

2.7.4. Contaminación del recurso paisajístico

Aunque no es uno de los recursos más renombrados, es uno de los más afectados por la incorrecta disposición de los residuos sólidos, ya que la constante presencia de basura en lugares expuestos; causa un deterioro al paisaje, afectando la salud humana, ya que genera: estrés, dolor de cabeza, problemas psicológicos, trastornos de atención, disminución de la eficiencia laboral, mal humor, entre otros.

Estos efectos obstruyen el desarrollo laboral y afecta la calidad de vida, impide que haya armonía con el entorno y afecta a la comunidad en general. El creciente desarrollo urbano y, por ende la gran concentración poblacional del país, ha generado un deterioro del paisaje y calidad de vida, por la falta de cultura en cuanto al manejo de los residuos sólidos.

2.8. Almacenamiento

Durante esta etapa, los residuos sólidos son retenidos en un lugar seguro, en el cual no causen contaminación al medio ambiente, desarrollo de fauna nociva o mal aspecto; hasta que sean entregados al servicio de recolección. (Pocasangre, Adán. *Presentación de manejo de residuos sólidos ERIS 2013*).

Las características de los recipientes destinados al almacenamiento de los residuos sólidos, están determinados por una serie de factores como:

- Protección a la salud
- Volumen, densidad y características de los residuos sólidos
- Sistema de recolección utilizado
- Frecuencia de recolección

Es necesario además, que los recipientes destinados para el almacenamiento cuenten con las siguientes características:

- De fácil manejo y mantenimiento.
- Fabricados en un material resistente.
- Contar con una tapa ajustada que evite el acceso de moscas y roedores.
- Contar con asas laterales para facilitar su manejo.
- No deben de ser inflamables.
- Deben ser impermeables.
- No deben tener bordes o aristas afilados.

2.9. Recolección y transporte

Las actividades de recolección y transporte tienen como objetivo la evacuación de los residuos sólidos de la fuente de generación, a fin de que estos sean dispuestos en una instalación de procesamiento de materiales, un centro de transferencia, reciclaje o disposición final.

Los servicios de recolección representan alrededor del 50 por ciento de los costos en el manejo de los residuos sólidos, de aquí la importancia de su adecuada operación (Tchobanoglous, George, et al. *Gestión Integral de residuos sólidos*).

Los servicios de recolección de residuos sólidos requieren del empleo de diferentes tipos de vehículos, de acuerdo con las características de la población y de los residuos. De esta forma pueden ser empleados desde carretas y vehículos tipo picop en pequeñas comunidades, hasta camiones compactadores con sistema de recogida automatizada en las grandes ciudades. La eficiencia en los servicios de recolección no solo está determinada por el tipo de vehículo utilizado, dependerá también de otros factores importantes como el correcto trazado de las rutas, la frecuencia de recolección, el método de recolección empleado entre otros.

En Guatemala, la frecuencia promedio de recolección de residuos sólidos es de dos días por semana, lo cual está determinado en gran medida por la producción per cápita por persona. Las formas en que la recolección es efectuada son:

- En la esquina
- En la acera

- Puerta a puerta
- Patio trasero

En ningún caso se deben dejar los residuos sólidos sin recolectar por más de una semana, ya que esto permite la proliferación de insectos (moscas) y malos olores. En mercados, la frecuencia de recolección debe ser diaria. Los horarios de recolección dependerán, a su vez, de las características del tránsito, de la topografía y forma física de la ciudad.

2.10. Tratamiento

Es la penúltima etapa en el ciclo de manejo de los residuos sólidos, tiene por objetivo principal disminuir el riesgo de producir contaminación y proteger la salud. Algunos métodos de tratamiento de residuos sólidos son:

- Incineración
- Compostaje
- El reciclaje y reutilización
- La transformación

2.10.1. Incineración

Es un proceso de tratamiento en el cual los desechos sólidos son sometidos a un proceso de combustión completa a altas temperaturas, durante un tiempo de retención adecuado, obteniendo de esta forma un material inerte con un volumen relativamente inferior al del producto inicial. Facilita el tratamiento de los residuos sólidos en núcleos urbanos, en los cuales la disponibilidad de terrenos para la construcción de rellenos sanitarios es

limitada, sin embargo, los costos asociados a este proceso son relativamente elevados.

El principal impacto adverso de la incineración, es la potencial contaminación atmosférica representada por la generación de gases y cenizas de la combustión, incluyendo la emisión de dióxinas y furanos que pueden afectar a la salud humana. Por ello, los sistemas deben ser bien operados y los efluentes gaseosos controlados (por ejemplo, filtros electrostáticos y lavadores de gases), además se deben cumplir con las normas de emisión vigentes.

Aunque, más costosos que los rellenos sanitarios, su adopción se justifica en circunstancias especiales, como tratar desechos hospitalarios peligrosos. La factibilidad de la incineración depende de aspectos como: las características de los desechos sólidos, los costos de transporte, costos comparados con otras formas de tratamiento y disposición final.

2.10.2. Compostaje

También conocido como estabilización biológica de residuos, es un proceso controlado por el cual los residuos orgánicos son tratados y se descomponen, dando como resultado un abono con características de un suelo vegetal que se puede utilizar en tierras agrícolas, bosques y jardines. Este abono provee nutrientes esenciales a las plantas, entre ellos: el nitrógeno, fósforo y potasio. Ver valores recomendados en la tabla IV.

Tabla IV. **Calidad promedio del abono de residuos orgánicos**

Parámetro	Unidad	Rango ¹	Rango ²
pH	-	-	5-7
Contenido de humedad	-	-	50-60
Fósforo	%	0,2-1,5	-
Potasio	%	0,4-1,3	-
Manganeso	ppm	430-600	-
Nitrógeno	%	0,6-1,7	-
Materia orgánica	%	20-40	-
Relación C:N	-	-	20-25 : 1

Fuente: CEPIS/OPS/OMS, *Guía para el manejo de los residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales*. p.123. TCHOBANOGLOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.112.

Además, mejora la estructura física del suelo al incrementar su capacidad para retener agua y contribuye al desarrollo de una importante flora microbiana; que mejora su calidad orgánica. El compostaje se puede preparar con maquinaria y equipo mecanizado o con métodos manuales. Aunque el compostaje es una excelente práctica, desde el punto de vista del aprovechamiento de los desechos, se debe tener en cuenta la existencia de un mercado y garantizar la calidad del abono para evitar la contaminación de los productos agrícolas con metales pesados. Algunas sustancias permanecen en el suelo y se acumulan hasta niveles fitotóxicos, bajo repetidas aplicaciones del abono.

El compostaje es una alternativa recomendada para ciudades pequeñas y medianas, localizadas en zonas agrícolas que pueden utilizar el abono con ventajas económicas, por reducción de productos usados como acondicionador de suelos.

Tabla V. **Consideraciones importantes de diseño para el proceso de compostaje aerobio**

Ítem	Observaciones
Tamaño de partícula	Para obtener resultados óptimos, el tamaño de los residuos debería estar entre 25 y 75 mm.
Relación carbono-nitrógeno (C/N)	Las relaciones carbono-nitrógeno iniciales (por masa) de entre 25 y 50 son óptimas para el compostaje aerobio. Con relaciones más bajas se emite amoníaco. También se impide la actividad biológica con relaciones más bajas. Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.
Mezcla y siembra	El tiempo de compostaje puede reducirse mediante la siembra con residuos sólidos parcialmente descompuestos, aproximadamente del 1 al 5 por 100 en peso. También pueden añadirse fangos de aguas residuales a los residuos sólidos preparados. Cuando se añaden los fangos, el contenido en humedad final es la variable fundamental.
Contenido en humedad	El contenido en humedad debería estar entre el 50 y el 60 por 100 durante el compostaje. El valor óptimo parece el 55 por 100.
Mezcla /Volteo	Para prevenir el secado, encostramiento y la canalización de aire, el material que está compostándose debería ser mezclado o volteado regularmente, o cuando sea necesario. La frecuencia de la mezcla o volteo dependerá del tipo de compostaje.
Temperatura	Para obtener mejores resultados, la temperatura debería mantenerse entre 50 y 55 °C durante los primeros días y entre 55 y 60 °C para el resto del período de compostaje activo. Si la temperatura sube por encima de 66 °C, la actividad biológica se reduce significativamente.
Control de patógenos	Si se lleva a cabo correctamente, se pueden destruir todos los patógenos, hierbas malas y semillas, durante el compostaje. Para conseguir esto, la temperatura debe mantenerse entre 60 y 70 °C durante 24 horas.
Requisitos de aire	La cantidad teórica de oxígeno necesario puede estimarse mediante una ecuación, el aire por lo menos con el 50 por 100 de la concentración del oxígeno inicial restante debería llegar a todas las partes del material que está compostándose para conseguir resultados óptimos, especialmente en los sistemas mecánicos.
Control del pH	Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7,5. Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debería sobrepasar un valor de 8,5

Continuación de la tabla V.

Control de descomposición	de	El grado de descomposición puede estimarse mediante la medición de la bajada final de temperatura, el grado de la capacidad de autocalentamiento, la cantidad de materia orgánica descomponible y resistente en el material compostado, la subida en el potencial redox, la absorción de oxígeno, el crecimiento del hongo <i>Chaetomium gracilis</i> , y el ensayo almidón-Yodo.
Necesidades terreno	de	Las necesidades de terreno para una planta con una capacidad de 50 t/d serán de 6.000 a 8.000 m ² . El área de terreno necesario para una planta mayor será menor en relación a t/d.

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.773.

2.10.2.1. Relación carbono-nitrógeno

El factor ambiental más importante del compostaje es la relación carbono-nitrógeno (relación C/N). El rango óptimo para la mayoría de los residuos orgánicos esta entre 20 y 25 a 1. Como se muestra en la tabla VI, los fangos tienen relaciones C/N bajas, mientras que los residuos de jardín, tales como hojas, y los periódicos, tienen relaciones C/N están basadas en los pesos secos totales del carbono y nitrógeno, y no en el peso seco de la fracción biodegradable del material orgánico. En general, todo el nitrógeno orgánico presente en la mayoría de los compuestos orgánicos llegará a estar disponible, mientras que no todo el carbono orgánico será biodegradable. Según el material residual en cuestión, la relación C/N calculada sobre una base de pesos totales de carbono y nitrógeno podría ser equivocada, especialmente en aquellos casos en los que todo el nitrógeno disponible es biodegradable, pero solamente una porción de carbono orgánico es biodegradable (por ejemplo lignina en papel residual). Así, suponiendo el nitrógeno está disponible, la relación C/N de la fracción orgánica de los RSU puede variar desde aproximadamente 34 hasta 60 según el carbono disponible sea parcial o totalmente biodegradable. La mezcla de un residuo con un contenido alto en

carbono y bajo en nitrógeno (lignina en papel de periódico), con un residuo alto en nitrógeno (residuos de jardín) se utilizan para lograr relaciones óptimas para el compostaje.

2.10.2.2. Mezcla y siembra

Los dos factores que pueden afectar a la mezcla de fracción orgánica de los RSU para el compostaje son la relación C/N y el contenido en humedad. Normalmente se requiere el análisis en laboratorio para determinar cómo deberían mezclarse diversos materiales orgánicos para su compostaje aerobio. Si la fracción orgánica de los RSU contiene cantidades significativas de papel u otros sustratos ricos en carbono se pueden mezclar otros materiales orgánicos, como los residuos de jardín, estiércol o fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales para proporcionar una relación C/N casi óptima. Se pueden mezclar las proporciones correctas de materiales que están demasiado húmedos y muy secos, para seguir un contenido en humedad óptimo. Siembra implica la adición de un volumen de cultivo microbiano suficientemente grande para efectuar la descomposición más rápida del material receptor.

Tabla VI. **Contenido de nitrógeno y relaciones C/N nominales de materiales comportables seleccionados**

Material	Porcentaje N	Relación C/N _b
Residuos de procesamiento de comida		
Residuos de fruta	1,52	34,8
Residuos mezclados de mataderos	7,0 - 10,0	2,0
Pieles de patatas	1,5	25,0
Estiércoles		
Estiércol de vaca	1,7	18,0
Estiércol de caballo	2,3	25,0

Continuación de la tabla VI.

Estiércol de cerdo	3,75	20,0
Estiércol de aves de corral	6,3	15,0
Estiércol de oveja	3,75	22,0
Fangos		
Fangos digeridos activados	1,88	15,7
Fangos crudos activados	5,6	6,3
Madera y paja		
Residuos de aserraderos	0,13	170,0
Paja de avena	1,05	48,0
Serrín	0,10	200,0 - 500,0
Paja de trigo	0,3	128,0
Madera (pino)	0,07	723,0
Papel		
Papel mezclado	0,25	173
Papel de periódico	0,05	983
Papel marrón	0,01	4 490
Revistas comerciales	0,07	470
Correo basura	0,17	223
Residuos de jardín		
Recortes de césped	2,15	20,1
Hojas (caídas recientemente)	0,5 - 1,0	40,0 - 80,0
Biomasa		
Jacinto de agua	1,96	20,9
Hierba de bermuda	1,96	24

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.775.

2.10.2.3. Contenido en humedad

El contenido en humedad óptimo para el compostaje aerobio está en el rango del 50 al 60 por 100. La humedad puede ajustarse mediante la mezcla de componentes o la adición de agua, cuando el contenido en humedad del compost cae por debajo del 40 por 100, se reducen la velocidad de fermentación.

2.10.2.4. Mezcla/Volteo

La mezcla inicial de los residuos orgánicos es esencial para incrementar o disminuir el contenido en humedad hasta un nivel óptimo. Se puede utilizar la mezcla para conseguir una distribución más uniforme de nutrientes y microorganismos. El volteo del material orgánico durante el proceso de compostaje es un factor operacional muy importante para mantener la actividad aerobia. Como el volteo puede depender del contenido en humedad las características de los residuos o las necesidades de aire, es imposible especificar una frecuencia mínima de volteo o número de vueltas en términos generales. Para un residuo orgánico que tiene una humedad máxima del 66 por 100 y un periodo de compostaje de 15 días, se ha sugerido la primera vuelta en el tercer día. Desde entonces, en adelante se debería voltear cada dos días hasta un total de 4 o 5 vueltas.

2.10.2.5. Temperatura

Los sistemas de compostaje aerobios pueden funcionar en ambas regiones de temperatura, o bien en el mesofílico, 30 a 38 °C (85 a 100 °F) o bien en el termofílico, 55 a 60 °C (131 a 140 °F). La subida de temperatura observada en residuos de fermentación se produce por las reacciones exotérmicas asociadas con el metabolismo respiratorio. En los sistemas de compostaje con pilas estáticas aireadas y en bioreactores, se puede regular la temperatura, supervisándola y controlando la corriente de aire. Para el compostaje en hileras, solamente pueden controlarse la temperatura indirectamente, variando la frecuencia de volteo, basándose en las mediciones de temperatura. En general, la temperatura de la pila caerá de 5 a 10 °C después de su volteo, pero dentro de unas horas volverá a su nivel anterior.

Las temperaturas de las hileras descienden de 10 a 15 días, cuando se oxida el material orgánico fácilmente biodegradable.

2.10.2.6. Control de patógenos

La destrucción de organismos patógenos es un elemento importante de diseño en el proceso de compostaje, porque afectará al perfil de temperatura y al proceso de aireación. Se pueden eliminar todos los microorganismos patógenos dejando que el material que está fermentándose llegue a una temperatura de 70 °C durante 1 o 2 horas. La Agencia para la Protección Ambiental (EPA) USA, ha requerido normativas específicas de tiempo-temperatura para el control de los patógenos en los sistemas de compostaje. Estas condiciones son fáciles de cumplir en los sistemas de compostaje que funcionan correctamente.

2.10.2.7. Requisitos de aire

En los procesos de aireación forzada, tales como sistema de pila estática aireada en biorreactores, el requerimiento total de aire y tasa de flujo de aire son parámetros esenciales de diseño.

2.10.2.8. Control del pH

Este control es otro parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos. El valor de pH, como la temperatura del compost varían con el tiempo durante el proceso de compostaje. El pH inicial de la fracción orgánica de los RSU está normalmente entre 5 y 7. El pH del material fermentado variará según el perfil pH-tiempo. En los primeros días de compostaje, el pH cae a 5 o menos. Durante esta etapa la masa orgánica

está a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos, y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples, que causan la caída del pH. Después de, aproximadamente tres días, la temperatura llega a la etapa termofílica y el pH empieza a subir hasta, aproximadamente 8 o 8.5 para el resto del proceso aerobio. El valor del pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor en el rango de 7 a 8 en el compost maduro. Si el grado de aireación no es adecuado, se producirán condiciones anaerobias, el pH caerá hasta, aproximadamente 4-5, y el proceso de compostaje se retrasará.

2.10.3. Reciclaje

Constituye una de las actividades fundamentales en la gestión integral de residuos sólidos, implica el desarrollo de ciertas actividades:

- Separación y recogida de materiales residuales.
- Preparación de materiales para su posterior procesamiento o reutilización.
- Reutilización, reprocesamiento y nueva fabricación de productos.

El reciclaje es un factor importante para ayudar a reducir la demanda de recursos y la cantidad de residuos que requieren la evacuación mediante el vertido.

En el área centroamericana, el reciclaje es una actividad relativamente reciente, se desarrolla básicamente en el mercado informal donde se encuentra integrado por pequeños recolectores ambulantes y segregadores, que obtienen los residuos y los proporcionan a una serie de intermediarios para su

reaprovechamiento. Los principales componentes que se reciclan en el área son los productos de papel, cartón, vidrio, aluminio y plástico. En las áreas rurales, el reciclaje de materia orgánica constituida por restos de comida o maleza puede ser útil para la elaboración de compost utilizado en la agricultura.

Antes de comenzar un proyecto de reciclaje, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Volumen y tipo de desecho sólido que se desea reciclar
- Tecnología de reciclaje
- Costos de inversión inicial, operación y mantenimiento
- Uso y demanda de los productos reciclados
- Precio de los productos reciclables

2.10.3.1. Transformación de residuos sólidos

La transformación de los residuos sólidos implica la alteración física, química o biológica de los residuos con el fin de:

- Mejorar la eficacia de las operaciones de sistemas de gestión de residuos.
- Recuperación de materiales reutilizables y reciclables.
- Recuperación de productos de conversión, energía en forma de calor y biogás combustible.

La transformación de los residuos sólidos se constituye como una alternativa viable para el correcto reaprovechamiento de los recursos disponibles, disminuyendo a su vez, los impactos negativos generados por el alto consumismo y requerimiento de materias primas cada vez más escasas.

2.11. Disposición final

Constituye la última etapa de la gestión integral de los residuos sólidos, en la cual la fracción no reciclable o reaprovechable, así como aquellos residuos provenientes de la recuperación de productos y generación de energía, deben quedar dispuestos de manera adecuada, de conformidad con la legislación nacional en materia de protección de la salud pública y el medio ambiente.

Las principales formas, en los cuales son dispuestos los residuos sólidos son:

- Relleno sanitario
- Incineración (cenizas)

Otras formas de disponer los residuos sólidos son: la quema al aire libre, la disposición en vertederos a cielo abierto o mediante el vertido en corrientes de agua, sin embargo, dichas prácticas tienen efectos negativos sobre el medio ambiente, contribuyendo además, al deterioro de la salud pública.

2.11.1. Relleno sanitario

Es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, que requiere de la utilización de áreas de terreno debidamente impermeabilizado, para la colocación de capas de desecho, las cuales 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

El método constructivo y la operación de un relleno sanitario están determinados, 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 el relleno sanitario de superficie se cubren los desechos con tierra en la misma superficie del terreno, mientras que en el relleno sanitario de ladera se trata de aprovechar las depresiones o taludes naturales para disponer los desechos sólidos.

En los tres tipos de rellenos sanitarios se construyen celdas en donde se compacta y entierran los desechos sólidos que reciben. Las principales operaciones que se realizan en un relleno sanitario son:

- Recepción de desechos sólidos
- Formación de una celda diaria
- Compactación de la celda
- Recubrimiento de tierra
- Compactación de la celda

El relleno sanitario previene que las personas, animales, vectores que transmiten enfermedades entren en contacto con los desechos sólidos y evita que estos contaminen el ambiente. Esta técnica de confinamiento, también se puede usar para disponer de aquellos desechos que, por sus características representan un riesgo mayor a la salud y al ambiente, como los desechos peligrosos de los centros de Salud. A este se le llama relleno sanitario de seguridad.

2.11.2. Comparación de métodos de disposición final de residuos sólidos

En la tabla VII se hace un análisis comparativo de las ventajas y problemas que conlleva la utilización de cada uno de los métodos de disposición final de residuos sólidos.

Tabla VII. **Cuadro comparativo de los diferentes métodos de disposición final de los residuos sólidos**

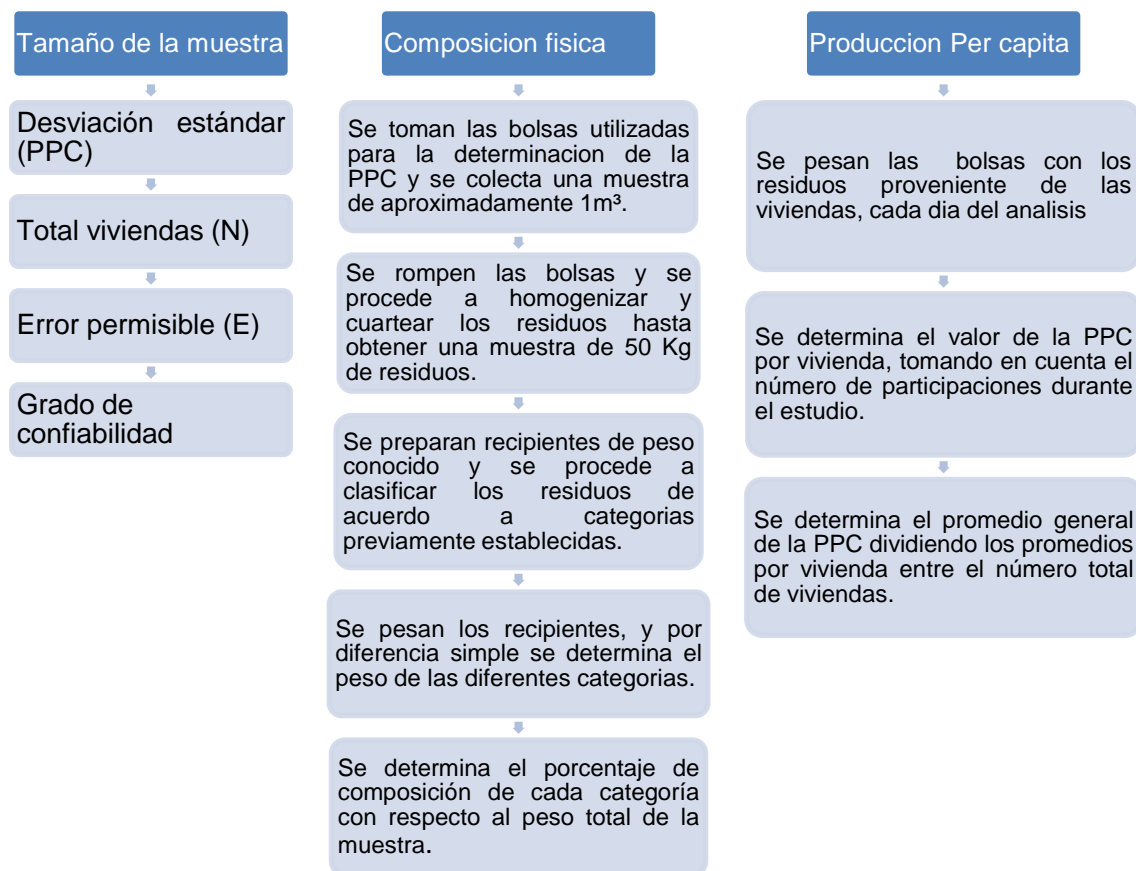
Técnica	Ventaja	Problemas
Relleno sanitario	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de zonas degradadas 	<ul style="list-style-type: none"> Exige extensas áreas aisladas.
	<ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de gases 	<ul style="list-style-type: none"> Características geológicas especiales.
Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de volumen. 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de los suelos y vegetación por la presencia de metales pesados.
	<ul style="list-style-type: none"> Producción de acondicionadores de suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos valores de nitrógeno, fósforo y potasio.
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de pesos y volúmenes. 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación atmosférica.
	<ul style="list-style-type: none"> Descontaminación biológica. 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados costos de operación y mantenimiento.
Reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de los materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos ocupacionales inherentes a la recuperación informal de materiales reciclables.
	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de energía. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de desechos. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Sostenibilidad ambiental 	

Fuente: Banco interamericano de desarrollo. *Guía para la evaluación de impacto ambiental para proyectos de residuos sólidos municipales*. p.40.

2.12. Caracterización de los residuos sólidos

Existen diferentes metodologías para realizar 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. Dicha metodología se explica ampliamente en la figura 4.

Figura 4. Metodología empleada para caracterización



Fuente: elaboración propia.

2.12.1. Determinación del tamaño de la muestra

La caracterización de los residuos sólidos requiere de una muestra que sea representativa del universo de la población, es por ello que, la determinación de su tamaño reviste gran importancia. Una muestra de gran tamaño puede conducir al gasto innecesario de recursos, por el contrario, una muestra demasiado pequeña puede no ser representativa o proporcionar resultados erróneos. Para la obtención del tamaño de la muestra mediante el método del Dr. Sakurai se emplea la siguiente fórmula:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1.96}\right)^2 + \left(\frac{V^2}{N}\right)}$$

Donde

n: tamaño de la muestra

V: desviación estándar, valor que corresponde a la producción per cápita (PPC).

E: error permisible, este valor oscila entre el 1 % al 15 % de la PPC.

N: número total de viviendas de la comunidad

Nota: adicionalmente es necesario establecer un grado de confiabilidad.

2.13. Técnicas del muestreo

La cantidad y la composición de los residuos sólidos que son llevados a los sitios de disposición final, generalmente difieren, de la que estos presentan al momento en que se efectúan las tareas de recolección. Lo anterior es debido a que durante las diferentes etapas en el manejo de los residuos sólidos se da

el reciclaje y recuperación de materiales como: el papel, cartón, plásticos, metales, vidrio y textiles, entre otros.

El punto, en el cual son tomadas las muestras dependerá, por tanto de la etapa de manejo que se desee analizar, para el caso cuando lo que se quiere es determinar la capacidad de los recipientes de almacenamiento domiciliar o su potencial de reciclaje o reutilización lo ideal será obtener las muestras en el origen, ya que se asegura la integridad de la muestra. Por el contrario, cuando lo que se desea es estimar la capacidad de los camiones recolectores o los rellenos sanitarios, la muestra más representativa será la que es llevada al sitio de disposición final. Teniendo en cuenta que el estudio plantea el análisis de las diferentes etapas en el manejo integral de los residuos sólidos domiciliarios, las muestras a analizar serán las generadas en la fuente.

2.13.1. Análisis físicos de los residuos sólidos

Un residuo es definido según el estado físico en que se encuentre. Existen, por lo tanto, tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos, es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manejo asociado.

2.13.2. Producción per cápita de residuos sólidos (PPC)

Para la estimación de la producción per cápita de residuos sólidos se efectúa el pesaje de cada una de las bolsas obtenidas durante un día de recolección, anotando el valor en una lista con el número de habitantes correspondiente a cada vivienda. Este procedimiento se realiza durante los n días efectivos para la caracterización (debe recordarse que se desprecia el

primer día de recolección), obteniéndose el promedio de la PPC de la siguiente forma:

$$PPC(\text{kg}/(\text{p. día})) = \frac{\text{peso día 1} + \text{peso día 2} + \dots + \text{peso día n}}{n \times \text{No. de personas por vivienda}}$$

El resultado anterior permite obtener la producción per cápita por persona por día, para cada una de las viviendas. El valor promedio de la PPC para el total de las viviendas muestreadas se obtiene de la siguiente forma.

$$PPC(\text{Kg}/(\text{p. día})) = \frac{\sum \text{PPC promedio de las viviendas}}{\text{No. total de viviendas}}$$

2.13.3. Prueba de densidad

La determinación de la densidad de los residuos sólidos se hace de forma diaria, de conformidad con el siguiente procedimiento:

- Preparar un recipiente para contener los residuos sólidos y la balanza para efectuar el pesaje.
- Pesar el recipiente vacío y tomar sus dimensiones para calcular su volumen.
- Colocar en el recipiente una porción de muestra de residuos sólidos, teniendo precaución de no ejercer presión. Se deja caer al piso desde una altura de 10 centímetros con el objetivo de llenar los espacios que pudiesen haber quedado vacíos, repitiendo esta actividad 3 veces. Se prosigue de la misma forma hasta llenar al ras el recipiente.

- Pesar el recipiente con la muestra de residuos y por diferencia de pesos se determina el peso de los residuos.
- Se determina la densidad dividiendo el peso de los residuos sólidos entre el volumen del recipiente.

$$D = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Donde

D = densidad de los residuos sólidos (kg/m³)

P1= peso del recipiente (kilogramos)

P2= peso del recipiente conteniendo la muestra de residuos sólidos

V = volumen del recipiente (metro cúbico)

2.13.4. Determinación de la composición física de los residuos sólidos

La prueba de composición física permite determinar cuál es el porcentaje de los diferentes componentes presentes en los residuos sólidos.

Se determina con el siguiente procedimiento:

- Preparar una superficie plana con un área adecuada para la manipulación de las muestras.
- Romper las bolsas y depositar los residuos sobre la superficie. Se cortan aquellos desperdicios de madera y cartón hasta conseguir un tamaño de 15 centímetros por 15 centímetros o menos.

- Una vez que se han roto todas las bolsas, se procede a mezclar los residuos hasta que la muestra sea homogenizada, mediante el método de cuarteo.
- Dividir la muestra en cuatro partes y unir los dos extremos opuestos, descartando los dos restantes, se mezcla nuevamente siguiendo el procedimiento de cuarteo hasta obtener una muestra de unos 50 kilogramos aproximadamente.
- Con la muestra obtenida, se procede a la clasificación de los diferentes componentes presentes en los residuos sólidos. Se preparan para tal actividad diferentes recipientes etiquetados con las diferentes categorías a ser analizada (papel y cartón, plástico, residuos de comida, aluminio, duroport, textiles, vidrio, madera, papel higiénico y aluminio). Pesarse cada uno de los recipientes antes de comenzar con la clasificación.
- La clasificación se desarrolla de forma manual, depositando los residuos en el recipiente correspondiente.
- Una vez terminada la clasificación se determina el peso de los diferentes componentes por simple diferencia, entre el peso del recipiente conteniendo la muestra y el recipiente vacío.
- Determinar la composición porcentual de los residuos sólidos dividiendo el peso de cada una de las categorías, entre el peso total de la muestra.
- Los trabajos de determinación de la composición física, deben efectuarse lo más rápido posible, ya que durante el proceso los residuos pierden humedad. En consecuencia, un menor tiempo conduce a una mayor exactitud en los resultados.
- La determinación de la composición física se efectuó durante 5 días consecutivos, obteniendo de esta forma los promedios correspondientes a cada una de las categorías previamente establecidas.

2.13.5. Determinación del potencial de hidrógeno (pH) de la muestra

El procedimiento para la determinación del pH se describe a continuación:

- Pesar, aproximadamente 10 gramos de residuos sólidos triturados, teniendo en cuenta el porcentaje de los distintos componentes y eliminando los materiales inorgánicos como: metal, vidrio, ladrillos, tierra, etc., y colocarla en un vaso de precipitado.
- Diluir los 10 gramos de residuos con 20 a 30 centímetros cúbicos de agua destilada, de forma que el agua cubra la muestra totalmente.
- Agitar vigorosamente la muestra y dejarla en reposo durante 30 minutos.
- Medir el pH de los residuos sólidos.

2.13.6. Determinación del porcentaje de humedad

Se utiliza el método de secado al horno, ya que es el más exacto y consiste en:

- Preparar cápsulas de porcelana, secándolas hasta obtener el peso constante durante 2 horas a 120 grados centígrados. Al cabo de este tiempo se introducen en un desecador, se enfrían y se pesan hasta el peso constante (Por gramos).
- Pesar 50 gramos de muestra triturada, teniendo en cuenta el porcentaje de los distintos componentes o subproductos de los residuos sólidos y eliminando los materiales inorgánicos como: metal, vidrio, ladrillos, tierra, etc. Se introducen los materiales pesados y triturados en la cápsula sin comprimir el material. Pesar la cápsula que contiene la muestra triturada de basura (P1, gramos).

- Introducir la cápsula así preparada en una estufa a 60–75 grados centígrados durante 24-48 horas, con el fin de eliminar toda la humedad de la muestra. Al cabo de este tiempo, introducir en un desecador, enfriar y pesar hasta el peso constante (P2, gramos).
- Calcular el porcentaje de humedad de la basura.
 - Gramos de muestra húmeda = (P1-Po)
 - Gramos de muestra seca = (P2-Po)
 - Gramos de agua = (P1-Po)-(P2-Po) = (P1-P2)

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \times 100$$

2.14. Determinación del porcentaje de cenizas

Para determinar el porcentaje de cenizas de los residuos sólidos se efectúan los siguientes pasos:

- La cápsula que contiene la muestra secada a 60-75 grados centígrados, se quema con un mechero.
- Meter la cápsula así tratada en la mufla durante 2 horas a 800 grados centígrados. Al cabo de este tiempo, introducir en un desecador, enfriar y pesar hasta peso constante (P3, gramos).
- Calcular el porcentaje de cenizas de los residuos sólidos con la siguiente fórmula:
 - Gramos de muestra seca = (P2-Po)
 - Gramos de cenizas = (P3-Po)

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P_3 - P_0}{P_2 - P_0} \times 100$$

2.15. Determinación de la carga contaminante de los residuos sólidos

Cada residuo sólido, sin importar su origen o forma, tiene una composición química específica, la cual indicará su grado de contaminación (carga contaminante). La carga contaminante de los residuos sólidos puede variar dependiendo su forma de disposición o exposición al medio que lo rodea.

Tabla VIII. **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, etc.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.760.

La carga contaminante se estima de la siguiente forma:

- Verificar si se trata de una muestra seca o húmeda
- Determinar el peso de la muestra (seco y/o húmedo)
- Separar la muestra según su componente (orgánico, papel, cartón, plástico, etc.)
- Determinar el peso de cada componente (según el porcentaje existente en cada segmento de los residuos sólidos). Preferiblemente en seco.
- Calcular la carga de cada elemento según su peso atómico (trasladando de kilogramos a moles) y sumarla:
 - $\text{Moles} = \text{peso (kilogramo elemento} \times 1\,000) / \text{peso atómico.}$
 - Simplificar la ecuación utilizando como base el nitrógeno (N) o el azufre (S), dividiendo o multiplicando los valores obtenidos para que sean igual a 1 (N o S).
 - Escribir la ecuación (puede hacerse con datos secos o húmedos).

Tabla IX. **Pesos atómicos de los elementos presentes en los residuos sólidos**

Componente	Peso atómico (g/mol)
Carbono	12,00
Hidrógeno	1,01
Oxígeno	16,00
Nitrógeno	14,00
Azufre	32,00

Fuente: *Tabla periódica de los elementos.*

2.16. Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos

El contenido energético de los componentes orgánicos en los residuos sólidos urbanos se pueden determinar:

- Utilizando una cadena a escala real como calorímetro
- Empleando una bomba calorimétrica de laboratorio
- Por cálculo, si se conoce la composición elemental

Por las dificultades que existen para instrumentar una caldera a escala real, la mayoría de los datos sobre el contenido de energía de los componentes orgánicos de los residuos sólidos urbanos están basados en los resultados de ensayos con una bomba calorimétrica. Los datos típicos del contenido energético y de los rechazos inertes de los componentes de residuos domésticos se representan en la tabla X.

Tabla X. **Valores típicos de contenido energético de los residuos sólidos urbanos**

Componentes	Energía, Kcal/kg		
	Rango	Típico	
Orgánicos			
Residuos de comida	833	1 667	1 111
Papel	2 778	4 444	4 000
Cartón	3 333	4 167	3 889
Plásticos	6 667	8 889	7 778
Textiles	3 611	4 444	4 167
Goma	5 000	6 667	5 556
Cuero	3 611	4 722	4 167
Residuos de jardín	546	4 444	1 556

Continuación de la tabla X.

Madera	4 167	4 722	4 444
Orgánicos misceláneos	-	-	-
Inorgánicos			
Vidrio	28	56	33
Latas de hojalata	56	278	167
Aluminio	-	-	-
Otros metales	56	278	167
Suciedad, cenizas, etc	556	2 778	1 667
Residuos sólidos urbanos	2 222	3 333	2 778

Fuente: TCHOBANOGLOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*. p.97.

Si no se puede disponer de valores de poder calorífico, los valores aproximados del poder calorífico para los materiales individuales de los residuos pueden determinarse mediante el uso de la ecuación Dulong modificada.

$$\frac{KJ}{kg} = \left[145C + 610 \left(H_2 - \frac{1}{8} O_2 \right) + 40S + 10N \right] * 2,326$$

3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El manejo de los residuos sólidos en la República de Guatemala y por ende en la cabecera departamental de Jalapa, área del estudio, carecen de lineamientos precisos para lograr una buena gestión o mejoras sustanciales en el manejo del mismo. La cabecera departamental de Jalapa carece de marco legal que regule el manejo de los residuos sólidos, por lo que se requiere un mayor compromiso de las autoridades locales para tratar esta problemática. En el momento actual, únicamente se atienden otros servicios como el agua potable y manejo de aguas residuales. Vale la pena destacar, que un manejo inapropiado de los residuos sólidos, genera impactos negativos en la salud y el ambiente.

3.1. Problemática generada en el medio ambiente por la mala disposición de los residuos sólidos

En la actualidad, en el municipio de Jalapa, el problema más evidente y fácilmente observable es la proliferación de botaderos clandestinos. Los residuos depositados directamente sobre la superficie de estos sitios generan los siguientes problemas:

- Facilita la contaminación del suelo.
- Permite que perros, gatos y roedores entren en contacto con las bolsas. Durante este contacto la mayor parte de las bolsas son rotas por dichos animales, disgregando los residuos en toda la superficie.
- Permite que el lixiviado generado en la descomposición de la materia orgánica se infiltre en el suelo contaminando las fuentes subterráneas.

Tabla XI. **Resumen de basureros clandestinos ubicados en el municipio de Jalapa**

No	Direcciones o referencia de la ubicación de basureros clandestinos	Coordenadas
1	Puente Las Guzmán	N 14° 37' 57.0'' W 089° 58' 49.3''
2	Colonia Barrientos	N 14° 38' 33.9'' W 089° 59' 27.6''
3	8va. avenida y 2da, calle 2ªC zona 1.	N 14° 38' 20.7'' W 089° 58' 49.0''
4	Camino a caserío El Sitio	N 14° 38' 51.7'' W 089° 58' 55.5''
5	3ra. calle entre 4ta. y 5ta. avenidas zona 2, barrio San Francisco.	N 14° 34' 45.3'' W 089° 59' 38.7''
6	2da. calle "c" entre 7ma. y 8va. avenida zona 1	N 14° 38' 20.1'' W 089° 58' 52.2''
7	Final 7ª. calle "A" zona 1, colonia la Cañada.	N 14° 38' 36.0'' W 089° 59' 13.1''
8	Carretera hacia Arloroma (periférico)	N 14° 36' 40.1'' W 089° 59' 44.7''
9	Carretera hacia los Achiotes, a un costado del Campo de aviación	N 14° 38' 46.9'' W 089° 59' 21.4''
10	Carretera hacia potrero Carrillo a 1,1 km de carretera asfaltada Las Crucitas.	N 14° 41' 08.1'' W 090° 00' 33.9''
11	Carretera hacia potrero Carrillo a 1,4 km de carretera asfaltada Las Crucitas.	N 14° 41' 17.3'' W 090° 00' 37.3''
12	Carretera hacia potrero Carrillo a 2,4 km de carretera asfaltada Las Crucitas.	N 14° 41' 40.6'' W 90° 00' 32.6''
13	Final de la 3ra. avenida, frente a edificio de la PMT.	N 14° 38' 21.5'' W 89° 59' 05.3''

Fuente: elaboración propia.

3.2. Manejo actual de los residuos sólidos

La extracción de basura se da únicamente en el casco urbano, a través de cuatro empresas privadas, que recolectan los desechos familiares y de mercado y los conducen al basurero municipal, donde son enterrados, sin manejo adecuado. El basurero municipal se encuentra en el casco urbano, ubicado en el Cementerio Municipal y es causa de muchos problemas ambientales. Las comunidades rurales no cuentan con servicio de recolección de la basura.

El 31 por ciento de la población tira la basura en cualquier lugar (INE 2002), por lo cual se requiere de programas educativos para prevenir y manejar de manera apropiada los desechos sólidos.

Los servicios que presta la unidad de limpieza municipal son los siguientes:

- Carreteras, calles y callejones
- Instalaciones municipales
- Cuadrilla de chapeo
- Jardinización de áreas verdes

Para lo anterior, el servicio de limpieza está integrado por 73 personas distribuidas de la siguiente forma:

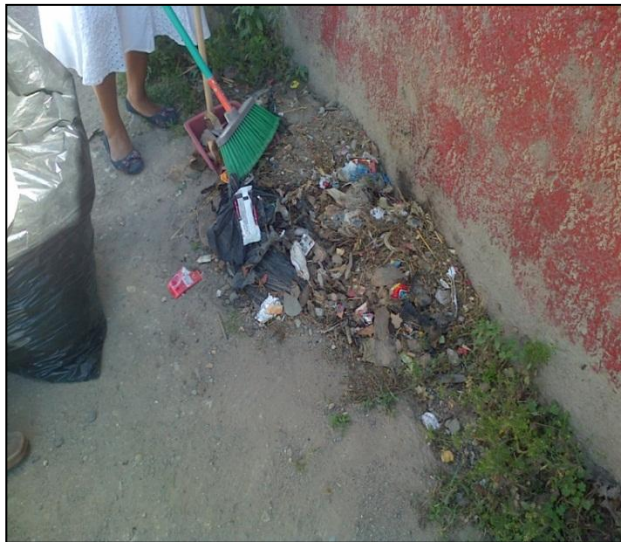
- Jefe de Departamento de Limpieza (1)
- Pilotos (3)
- Ayudantes de camión (9)
- Conserjes (30)
- Jardineros (5)

- Barrenderos (25)

3.2.1. Almacenamiento de residuos sólidos en el hogar

En el municipio de Jalapa, 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. El embalaje de los residuos se realiza, en la mayor parte de los casos, utilizando bolsas plásticas, no obstante algunas personas almacenan directamente sus residuos en los depósitos antes descritos, vertiéndolos directamente sobre los camiones el día que se presta el servicio. Dicha situación incrementa el tiempo empleado por los operadores durante la recolección, además de aumentar la posibilidad de que el residuo pueda dispersarse a causa del viento, esto especialmente en aquellos camiones que no cuentan con un cajón cerrado.

Figura 5. Almacenaje de residuos domiciliarios



Fuente: 2da. calle "c" entre 7ma. y 8va. avenida zona 1, Jalapa, Jalapa.

3.2.2. Recolección de residuos sólidos

La recolección es efectuada sin que exista un método estándar aplicado a la totalidad de las viviendas. Los procedimientos que se emplean con mayor frecuencia se describen a continuación:

- Se entra al inmueble a vaciar el contenido de los recipientes de basura sobre lienzos de plástico o costales.
- Tocar la puerta y la persona saca la basura y la entrega.
- La basura se coloca afuera sobre la acera y el recolector pasa recogiéndola.
- El recolector toca la bocina y salen las personas a entregar su basura.
- Dejan colgadas las bolsas en algún lugar para el recolector.

La recolección de los residuos institucionales se lleva a cabo sin que exista un horario específico, se incluyen dentro de este proceso la recolección en las escuelas del municipio, el edificio de la Municipalidad, residuos comunes del centro de Salud y la Policía Nacional Civil.

3.2.3. Recolección y transporte municipal

La Municipalidad cuenta con el siguiente equipo para transportar los residuos generados en las tareas de recolección domiciliar y barrido de calles:

- Camiones compactadores (1) capacidad 12 m³
- Camiones (3), capacidad 12 m³

Actualmente, de las aproximadamente 11 479 casas del municipio, la Municipalidad no presta el servicio de recolección domiciliar, el cual es prestado por empresas privadas de recolección de desechos sólidos.

Figura 6. **Camiones recolectores de basura**



Fuente: zona 4 nueva terminal de buses, Jalapa, Jalapa.

El monto actual de las empresas privadas por el servicio de recolección es de 25,00 quetzales mensuales.

3.2.4. Barrido de calles y áreas públicas

La Municipalidad se encarga del barrido de las calles principales del municipio, así como de los residuos provenientes de los parques e instituciones públicas. Los residuos del barrido son llevados en las carretas de tracción manual a puntos estratégicos donde son descargados a mano, en los camiones recolectores de la Municipalidad. Una vez que los residuos han sido recolectados son llevados hasta el basurero municipal.

3.2.5. Sistema de recolección privada

Como se mencionó con anterioridad, la recolección y transporte de los residuos sólidos en el municipio Jalapa es llevada a cabo por empresas de carácter privado, siendo estas:

- SEGURA (4 camiones)
- CARAOVE (3 camiones)
- El Éxito (1 camión)
- POP (1 camión)

Estas empresas efectúan un pago anual de Q.400,00 por cada camión y Q.25,00 por camión que entra al basurero municipal.

Figura 7. Camión de recolección privada



Fuente: cabecera departamental de Jalapa, Jalapa.

3.2.6. Frecuencias de recolección

Las frecuencias de recolección en el municipio de Jalapa varían de acuerdo al operario que la realiza, por ejemplo, la recolección privada se realiza

3 veces por semana, el servicio se hace por medio de la técnica de puerta en puerta, ya que no existen estaciones de transferencia o contenedores para agilizar esta labor.

3.2.7. Coberturas del manejo de los desechos sólidos en Jalapa

Este manejo en el municipio de Jalapa, de parte de la Alcaldía Municipal se basa nada más en el barrido de calles, algunas instituciones y su disposición final en el botadero municipal. Las coberturas de estos dos gestores del manejo de los residuos sólidos se detallan en el cuadro siguiente:

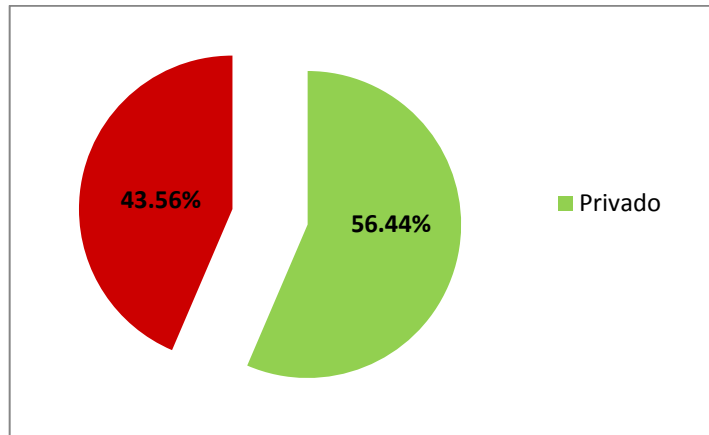
Tabla XII. **Cobertura de recolección de los residuos sólidos**

Operador	Casas servidas	% de Cobertura
Privado	6 479,00	56,44
Sin cobertura	5 000,00	43,56

Fuente: Municipalidad de Jalapa.

Como se puede observar en los porcentajes de cobertura de recolección brindados por los operadores privados en el municipio de Jalapa, existe un déficit de 43,56 por ciento, generando los problemas identificados anteriormente y a la vez, da lugar a realizar prácticas inadecuadas como la quema, vertidos a cuerpos de agua, entre otros, ocasionando un mayor impacto negativo al ambiente y a la salud de las personas.

Figura 8. Coberturas de recolección de residuos sólidos



Fuente: Municipalidad de Jalapa.

3.2.8. Disposición final

El botadero municipal se encuentra dentro del Cementerio Municipal, donde el camión del tren de aseo traslada y vierte los desechos sólidos, los cuales son enterrados; sin embargo, sigue siendo un foco de plagas y contaminación para los lugares poblados vecinos.

3.2.9. Manejo de los residuos sólidos hospitalarios

El municipio de Jalapa cuenta con un Área de Salud y Hospital Nacional departamental, destinados a brindar atención a la población del municipio. Las actividades que demanda dicha atención dan lugar a la generación de residuos sólidos comunes y residuos que, por su alta peligrosidad requieren de un manejo especializado. Para lo anterior el Distrito de Salud utiliza los servicios de la empresa ECOTERMO, quien efectúa la recolección, transporte y disposición final de los residuos generados.

Tanto el Área de Salud como el Hospital Nacional departamental de Jalapa no cuentan con un reglamento que regule el manejo interno y almacenamiento temporal de los residuos sólidos hospitalarios, lo cual supone un alto riesgo para la salud de los trabajadores, pacientes y visitas.

3.2.10. Rastro y mercado municipal

Los residuos generados en el mercado y Rastro Municipal son recolectados de lunes a sábado por los vehículos de la Municipalidad. Los sábados se presenta el mayor volumen de generación en el Rastro Municipal, los cuales son dispuestos en el botadero municipal.

3.2.11. Reciclaje

En Jalapa no se cuenta con empresas que se encarguen del reciclaje, el cartón, papel, plástico, aluminio y hierro se recolectan y se trasladan hacia centros de acopio que actúan como intermediarios, ya que la mayor parte del producto reciclado es enviado hacia el municipio San José Pínula, Jalapa y otra a la ciudad capital. Los precios que se pagan por los productos se detallan en la tabla XIII.

Tabla XIII. Precios por reciclaje de productos

Material	Precio (Q/lb)*
Plástico	0,60
Hierro	0,75
Vidrio	0,05
Papel	0,15
Cartón	0,15
Nota: tasa de cambio mayo 2012 (\$.1=Q.7,80).	

Fuente: elaboración propia.

4. METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Implementar mejoras o diseñar sistemas de manejo y tratamiento de residuos sólidos en una localidad, implica la necesidad de conocer las características de esos residuos, su tasa de generación, así como su composición y densidad; lo cual es indispensable para determinar el método de almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final más adecuado.

La manera ideal de obtener esta información es a través de un estudio de caracterización de residuos sólidos, para lo cual se obtienen muestras de un determinado número de viviendas, que deberán ser representativas del universo de la población.

4.1. Delimitación del área de estudio

El estudio se enfocó en el análisis de los residuos sólidos de tipo domiciliar del área urbana de Jalapa, ya que estos constituyen el más alto porcentaje de generación en el municipio. Pese a lo anterior, también se efectuó un pequeño análisis de los residuos institucionales y comerciales, así como lo referente al barrido de calles.

4.2. Premuestreo

El fin primordial de efectuar el premuestreo de los residuos sólidos, es determinar un valor de la producción per cápita por día (PPC) que permita a su vez estimar el número total de viviendas donde se coleccionarán las muestras.

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizaron los criterios establecidos en la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, (Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, determinación de la generación.). La Norma hace referencia en la selección de un riesgo “ α ” con que se realiza el muestreo, el cual depende de los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad
- Calidad técnica del personal participante
- Facilidad para realizar el muestreo
- Características de la localidad a muestrear
- Exactitud de la báscula por emplear

Tabla XIV. **Número de viviendas para el muestreo con base al riesgo α**

Riesgo (α)	Tamaño de la muestra (n)
0,05	115
0,1	80
0,2	50
0,3	20

Fuente: Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, *Protección al ambiente contaminación del suelo, residuos sólidos municipales*, Determinación de la generación. p.64.

Teniendo en cuenta el poco conocimiento que tenía la comunidad y las limitantes, más que todo operacionales, se determinó que el riesgo para este muestreo preliminar podría andar entre el 0,20 a 0,30. Estimándose un riesgo de 0,283 e interpolando los datos de la tabla XIV, se encontró que el valor de las viviendas a muestrear era de 25.

El muestreo fue realizado entre los días 27, 28 y 29 de noviembre de 2013, desarrollándose las siguientes actividades:

- Identificación de las viviendas
- Socialización del muestreo
- Aplicación de encuesta
- Recolección y transporte de muestras
- Determinación de la PPC

El resultado más relevante, después de realizadas las actividades anteriores, fue la determinación de la PPC, obteniéndose un valor de 0,42 kilogramo/persona-día.

Figura 9. **Actividades de pesaje muestreo**



Fuente: zona 4 nueva terminal de buses, Jalapa, Jalapa.

4.2.1. Determinación del tamaño real de la muestra de la caracterización

Para la obtención del tamaño de la muestra mediante el método del Dr. Sakurai, es necesario conocer los siguientes datos:

- Desviación estándar: valor que corresponde a la producción per cápita (PPC). En este estudio mediante el premuestreo se obtuvo un valor de 0,42 kilogramos/persona-día (420 gramos/persona-día)
- Error permisible: este valor oscila entre el 1 al 15 por ciento de la PPC. Específicamente en este caso se utilizará el 15 por ciento, de manera que se obtiene un error de 63 gramos/persona-día.
- Grado de confiabilidad: se asumirá un 95 por ciento.
- Número de casas del municipio de Jalapa: el total de viviendas se muestra en la tabla XV, con el objetivo de que la muestra sea representativa, se hará una subdivisión de acuerdo al tipo de localidad.

Tabla XV. **Distribución de viviendas por localidad**

Zona	Casas	%
1	3 347	29,16
2	4 370	38,07
3	891	7,76
4	528	4,60
5	1 188	10,35
6	429	3,74
7	561	4,89
11	165	1,44
Total	11 479	100

Fuente: Empresa de Agua Municipal, Municipalidad de Jalapa. 2013.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se empleará la siguiente fórmula para el cálculo de la muestra:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{V}{N}\right)^2}$$

Donde

n = número de muestras a tomar aleatoriamente.

V = desviación estándar de la variable Xi (Xi = PPC de la vivienda i en gramos/persona-día).

E = error permisible en la estimación de PPC en gramos/persona-día

N = número total de viviendas definido.

$$n = \frac{420^2}{\left(\frac{63}{1,96}\right)^2 + \left(\frac{420}{11\ 479}\right)^2} = 168,23 = 169$$

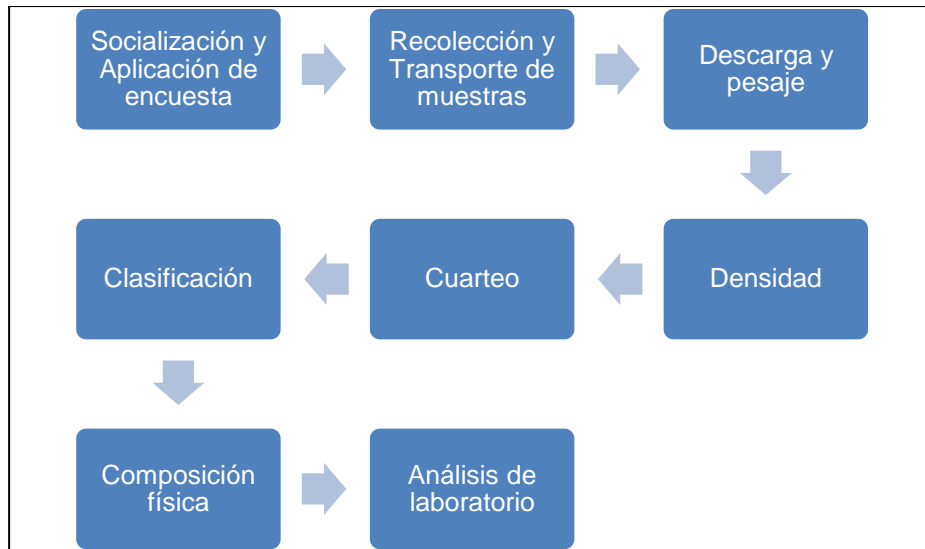
Tabla XVI. **Distribución de viviendas por localidad según muestra**

Zona	Casas	%
1	49	29,16
2	64	38,07
3	13	7,76
4	8	4,60
5	17	10,35
6	6	3,74
7	8	4,29
11	2	1,44
Total	169	100

Fuente: elaboración propia.

Caracterización de los residuos sólidos en Jalapa.

Figura 10. **Esquema de actividades caracterización**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Socialización del estudio

Este se realizó entre los días 28 y 20 de abril de 2014, contando con el apoyo de la Municipalidad y la colaboración de los operadores privados, quienes se comprometieron a no recolectar los residuos en las viviendas participantes durante el período de muestreo. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación de las viviendas
- Socialización del estudio de caracterización con cada jefe de familia
- Aplicación de encuesta
- Entrega de bolsas plásticas para recolección de muestras

Figura 11. **Socialización con personal de la Municipalidad de Jalapa**



Fuente: Municipalidad de Jalapa.

4.3.1. Encuesta de socialización

Los resultados de la aplicación de la encuesta efectuada en noviembre del 2013, durante el premuestreo se presentan en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Consolidado de resultados obtenidos durante la aplicación de la encuesta del premuestreo**

Descripción	Resultado
1. Habitantes por vivienda	
Promedio	4,58 hab
2. Formas de disposición de residuos sólidos	
Recolección camión municipal	0,00%
Recolección camión privado	56,44%
Otro	43,56%
3. Frecuencia de recolección de residuos sólidos	
1 día de por medio	0,00%

Continuación de la tabla XVII.

3 veces por semana	53,00%
2 veces por semana	47,00%
1 día a la semana	0,00%
4. Costo promedio de la tarifa de recolección	
Q 10 a 20	0,00%
Q 20 a 30	100,00%
Q 30 a 40	0,00%
mas de Q 40	0,00%

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Equipo utilizado para caracterización de los residuos

La Dirección de Servicios Municipales, brindó todo el apoyo necesario para la recolección y transporte de las muestras durante los días de caracterización. El total del recurso empleado fue el siguiente:

- Recurso humano
 - 8 recolectores
 - 4 pilotos

- Equipo de bioseguridad
 - 18 mascarillas
 - 9 pares de guantes

- Equipo
 - Camión compactador

- Camión (Cap. 2 toneladas)
- 2 balanzas
- 1 000 bolsas plásticas negras de 37"x29"
- 180 *sticker*
- 3 palas
- 3 escobas
- nylon
- 8 recipientes plásticos

4.4. Período de muestreo

Se realizó durante cinco días consecutivos, comprendidos entre el 11 y 15 de agosto de 2014. Mediante la PPC obtenida durante el premuestreo (0,42 kg/h/día), se proyectó que se trabajaría, aproximadamente, con media tonelada diaria de residuos, de manera que se requirió de un espacio físico amplio, donde se pudieran desarrollar de manera eficiente las labores de descarga, pesaje y análisis de composición física. Debido a factores como: seguridad, espacio requerido y cercanía de viviendas, la Municipalidad optó por proveer un terreno dentro de las instalaciones de la nueva terminal de buses ubicada en la zona 5 del municipio, esta se encuentra vacía, solo cuenta con oficinas de la Municipalidad, por lo que el área se adaptó adecuadamente para realizar el estudio de caracterización.

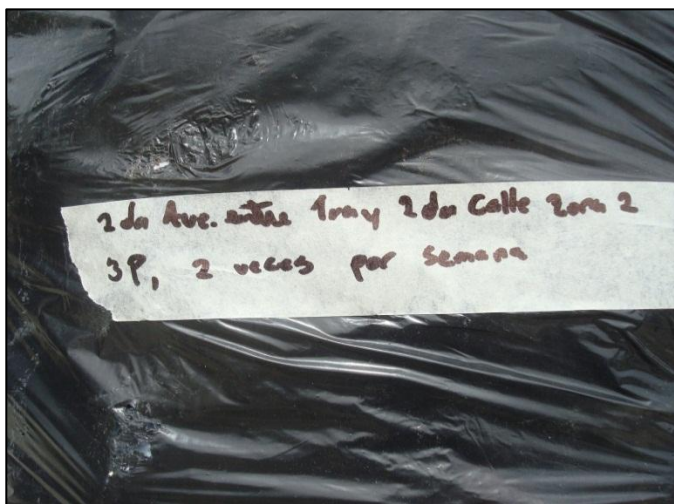
4.4.1. Primer día

Se explicó a los colaboradores de la Municipalidad los lineamientos necesarios para realizar de manera eficiente las actividades de recolección y transporte de los residuos sólidos. Asimismo se expusieron las técnicas a

utilizar para la determinación de la densidad, composición física y producción per cápita.

Se procedió a la recolección casa por casa, retirando las bolsas conteniendo los residuos producidos durante los días 11 al 15 de agosto de 2014. Una vez retiradas, se proporcionó una nueva bolsa para depositar el material producido durante el día.

Figura 12. **Bolsas codificadas según la vivienda de las cuales proceden**



Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Segundo día

Se contó con una participación de 125 viviendas, correspondientes al 74 por ciento de la muestra seleccionada. Algunos de los aspectos que limitaron la participación durante los primero dos días de caracterización fueron los siguientes:

- La diferencia de horarios entre el recorrido de los operarios privados y el personal técnico de la Municipalidad. Dicha situación generó confusión entre la población, facilitando que en algunas viviendas se entregarán las bolsas a los recolectores privados.
- El inicio de las labores de recolección fue a las 8 horas, por lo que en algunas viviendas no había ninguna persona que proporcionara las bolsas conteniendo las muestras.

Una vez que los residuos sólidos fueron recolectados, se trasladaron hacia el área de la nueva terminal de buses, donde se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Pesaje de las bolsas: se efectuó teniendo en consideración el número correlativo que portaba cada una de las bolsas, a fin de anotarlos de conformidad con la vivienda de la cual procedía. Al final del pesaje se obtuvo una producción total de 511,70 kilogramos de residuos correspondientes a las 99 viviendas participantes durante este día.
- 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, disminuyendo de esta forma la alteración de la muestra.
- Determinación de la densidad y composición física de los residuos sólidos.

Adicionalmente se preparó una muestra para la determinación del pH, porcentaje de humedad y de cenizas. Dichos análisis fueron realizados en el Laboratorio de química y microbiología sanitaria Dra. Alba Estela Tabarini Molina, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 13. Descarga y pesaje de bolsas

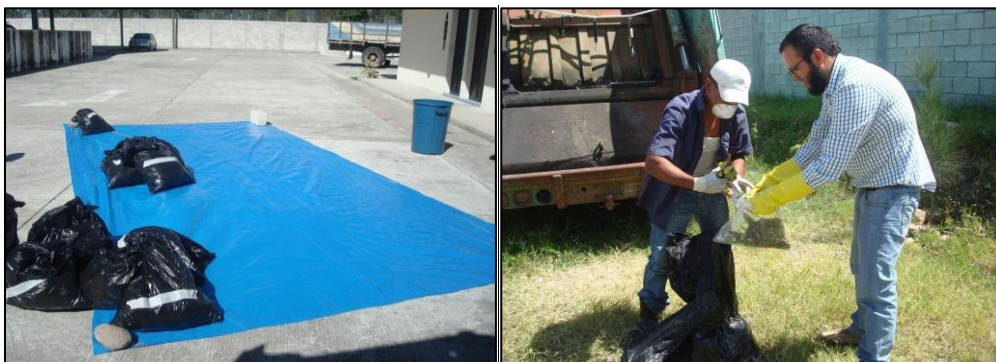


Fuente: zona 4 nueva terminal de buses, Jalapa, Jalapa.

4.4.3. Tercer día

La participación fue de 107 viviendas, correspondientes a un 63,30 por ciento de la muestra seleccionada, obteniéndose una producción total de 316,00 kilogramos. Se recolectaron muestras de materia orgánica durante toda la semana de caracterización, para poder tener una muestra homogénea y representativa; posteriormente se trasladaron al laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el objetivo de determinar si esta era apta para la elaboración de compost.

Figura 14. Trabajos realizados en la caracterización



Fuente: zona 4 nueva terminal de buses, Jalapa, Jalapa.

4.4.4. Cuarto día

La participación fue de 96 casas, equivalente al 56,80 por ciento del total de la muestra, se obtuvo una producción total de 338,60 kilogramos.

Figura 15. **Cuarteo y clasificación de los residuos sólidos domiciliarios**



Fuente: zona 4 nueva terminal de buses, Jalapa, Jalapa.

4.4.5. Quinto día

La recolección se desarrolló de forma normal, sin que se presentara inconveniente alguno. Se explicó a las familias que ese día culminaban las tareas de recolección y análisis propios de la caracterización, agradeciendo el apoyo brindado a lo largo de la semana. No fue necesaria la entrega de la bolsa plástica por ser este el último día de análisis. La participación total fue de 125 viviendas, representando el 73,96 por ciento del espacio muestral. La producción obtenida fue de 388,83 kilogramos.

4.4.6. Disposición final de los residuos utilizados durante la caracterización

Las muestras analizadas fueron descartadas en forma diaria, siendo estas trasladadas desde el área de la terminal nueva de buses, hasta el botadero a cielo abierto que cuenta la Municipalidad de Jalapa para la disposición final de los residuos sólidos.

4.5. Caracterización de residuos sólidos institucionales

La caracterización de los residuos sólidos institucionales, se llevó a cabo en coordinación con el Departamento de Limpieza, para esto se tomaron muestras provenientes del edificio de Gobernación Departamental, Policía Nacional Civil, Municipalidad, Presidio de hombres y mujeres.

4.6. Caracterización de residuos sólidos comerciales

Pese a que el estudio se enfocó en el manejo de los residuos sólidos de tipo domiciliario, se tuvo la oportunidad de analizar una muestra de los residuos sólidos de tipo comercial, que son producidos en la cabecera municipal. Para esto se incluyeron comercios como: mercado, comedores, abarroterías, tiendas, entre otros.

4.7. Caracterización de residuos sólidos del barrido de calles

Esta se llevó a cabo en coordinación con el tren de limpieza municipal, para ello se tomaron muestras provenientes de las calles principales de la cabecera municipal.

Las muestras de los residuos Institucionales, comerciales y del barrido de calles, fueron colectadas el lunes 11 de agosto en un horario de 7 a 13 horas. Se trasladaron a la terminal nueva de buses, ubicado en la zona 5 del municipio, donde se llevó a cabo la caracterización. El trabajo se centró en la determinación de la densidad, composición física y toma de muestra de materia orgánica para la determinación parámetros químicos de los residuos sólidos.

4.8. Producción per cápita (ppc) de residuos solidos domiciliars

Los resultados de la producción per cápita por vivienda se presentan en el anexo III. Dichos valores son indispensables para la determinación del promedio de la producción per cápita a nivel domiciliar, los cuales se ven reflejados la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Producción de residuos sólidos por persona por día (PPC)

Descripción	Valor
Tamaño de la muestra (n)	169
PCC promedio (Kg./hab./día)	0,66
Desviación estándar	0,44
Límite inferior (Kg./hab./día)	0,59
Límite superior (Kg./hab./día)	0,73
Máximo (Kg./hab./día)	3,83
Mínimo (Kg./hab./día)	0,08
Tamaño mínimo de la muestra	96

Fuente: elaboración propia.

4.9. Composición de los residuos sólidos domiciliarios

La determinación de las fracciones de composición de los residuos sólidos se realizó, clasificándolos en las siguientes categorías:

- Papel y cartón
- Plástico
- Pet
- Restos de comida
- Duroport
- Textiles y hule
- Vidrio
- Papel higiénico y pañales
- Madera

Tabla XIX. **Composición promedio de los residuos sólidos de origen domiciliar en el municipio de Jalapa**

Categorías	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	6,12	11,20
Plástico	5,50	10,06
Pet	1,00	1,83
Restos de comida	19,00	34,76
Metales	1,50	2,74
Duroport	1,00	1,83
Textiles y hule	8,17	14,94
Vidrio	2,33	4,27
Papel higiénico y pañales	10,04	18,37
Total	54,67	100,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Composición de los residuos sólidos durante los diferentes días de caracterización**

Categorías	Martes		Miércoles	
	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	9,00	13,85	3,75	6,94
Plástico	7,50	11,54	4,00	7,41
Pet	4,00	6,15	2,00	3,70
Restos de comida	22,00	33,85	18,50	34,26
Metales	1,50	2,31	0,50	0,93
Duroport	1,50	2,31	1,00	1,85
Textiles y hule	6,00	9,23	12,50	23,15
Vidrio	2,50	3,85	2,50	4,63
Papel higiénico y pañales	11,00	16,92	9,25	17,13
Madera	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	65,00	100,00	54,00	100,00

Categorías	Jueves		Viernes	
	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	5,62	11,13	6,12	10,84
Plástico	5,00	9,90	5,50	9,73
Pet	2,50	4,95	2,83	5,01
Restos de comida	16,50	32,67	19,00	33,63
Metales	2,50	4,95	1,50	2,65
Duroport	0,50	0,99	1,00	1,77
Textiles y hule	6,00	11,88	8,17	14,45
Vidrio	2,00	3,96	2,33	4,13
Papel higiénico y pañales	9,88	19,56	10,04	17,78
Madera	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	50,50	100,00	56,50	100,00

Fuente: elaboración propia.

4.10. Densidad, potencial de hidrógeno, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas

El parámetro de densidad fue determinado en el sitio donde se realizó la caracterización. Los parámetros de pH, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas, fueron realizados en el laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana” Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estos parámetros se determinaron realizando análisis de la materia orgánica presente en los residuos sólidos recolectados en el municipio en estudio. Se efectuaron análisis de cada parámetro, para los residuos de origen comercial, institucional, barrido de calles y domiciliar.

Tabla XXI. Resultados de densidad, pH, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas

Origen	Densidad (kg/m ³)	pH	% Humedad	% Cenizas
Comercial	34,74	5,40	101,38	20,12
Institucional	54,59	5,70	100,00	19,18
Barrido de calles	64,51	6,20	132,07	22,40
Domiciliar	108,19	6,40	60,65	29,42

Fuente: Laboratorio de Suelos/Facultad de Agronomía/USAC, 2014.

4.11. Relación carbono/nitrógeno y análisis químico de la materia orgánica

Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala,

requiriendo para lo anterior una muestra triturada de 500 gramos. Se hicieron con el objetivo de determinar si las características de la materia orgánica en estudio son las adecuadas para la elaboración de compost.

Tabla XXII. **Relación carbono/nitrógeno y análisis químico de la materia orgánica**

Parámetro	Comercial	Institucional	Barrido de calles	Domiciliar
C.E (mS/cm)	16,90	23,75	10,95	24,10
P (%)	0,42	0,16	0,10	0,27
K (%)	0,73	1,21	1,09	1,33
Ca (%)	1,63	15,00	1,19	2,13
Mg (%)	0,14	0,19	0,09	0,19
Cu (ppm)	5,00	10,00	10,00	10,00
Zn (ppm)	65,00	110,00	50,00	120,00
Fe (ppm)	690,00	3 100,00	10 500,00	2 250,00
Mn (ppm)	25,00	40,00	80,00	135,00
Na (ppm)	2 250,00	5 250,00	1 000,00	3 875,00
C.O. (%)	33,80	48,22	46,86	30,73
NT (%)	1,60	1,25	1,02	1,92
C:N	21,20:1	38,60:1	45,90:1	16,00:1

Fuente: Laboratorio de Suelos/Facultad de Agronomía/USAC, 2014.

4.12. Composición residuos sólidos institucionales

La composición de la fracción de residuos sólidos provenientes de la caracterización de las instituciones, se presenta en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Composición de los residuos sólidos de origen institucional**

Categorías	Peso (Kg)	%
Papel y cartón	8,00	26,51
Plástico	2,32	7,69
Pet	2,32	7,69
Restos de comida	12,73	42,18
Metales	0,45	1,51
Duroport	0,90	2,98
Textiles y hule	0,00	0,00
Vidrio	0,45	1,51
Papel higiénico	3,00	9,94
Madera	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00
Total	30,18	100,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Densidad de los residuos sólidos de origen institucional**

Parámetro	Valor
Volumen	0,08
Peso	4,4
Densidad	54,59

Fuente: elaboración propia.

4.13. Composición de residuos comerciales

La composición de la fracción de residuos sólidos provenientes de los diferentes comercios de la cabecera municipal, se presenta en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Composición de los residuos sólidos de origen comercial**

Categorías	Peso (kg)	%
Papel y cartón	6,82	11,46
Plástico	4,55	7,64
Pet	2,73	4,58
Restos de comida	39,09	65,68
Metales	1,36	2,29
Duroport	0,45	0,76
Textiles y hule	0,91	1,53
Vidrio	0,91	1,53
Papel higiénico	2,70	4,54
Madera	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00
Total	59,52	100,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Densidad de los residuos sólidos de origen institucional**

Parámetro	Valor
Volumen	0,08
Peso	2,8
Densidad	34,74

Fuente: elaboración propia.

4.14. Barrido de calles

La composición de la fracción de residuos sólidos provenientes del barrido de calles de la cabecera municipal, se presenta en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Composición de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles**

Categorías	Peso (kg)	%
Papel y cartón	11,36	40,32
Plástico	3,64	12,90
Pet	1,82	6,45
Restos de comida	1,82	6,45
Metales	2,27	8,06
Duroport	0,91	3,23
Textiles y hule	0,91	3,23
Vidrio	0,91	3,23
Papel Higiénico	0,00	0,00
Madera	0,00	0,00
Otros	4,55	16,13
Total	28,18	100,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Determinación de la densidad de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles**

Parámetro	Valor
Volumen	0,08
Peso	5,2
Densidad	64,51

Fuente: elaboración propia.

4.15. Carga contaminante de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos permite estimar la carga contaminante según el origen del residuo, los resultados se muestran en la tabla XXIX.

Tabla XXIX. **Carga contaminante según el origen de los residuos sólidos**

Origen residuos sólidos	Fórmula (base húmeda)
Domiciliar	C _{31,97} H _{49,29} O _{17,70} NS _{0,06}
Institucional	C _{45,64} H _{71,35} O _{26,26} NS _{0,09}
Comercial	C _{30,14} H _{47,11} O _{16,90} NS _{0,07}
Barrido de calles	C _{94,83} H _{146,05} O _{52,32} NS _{0,11}

Fuente: elaboración propia.

4.16. Valorización de los residuos sólidos

Conociendo la composición física y química de los residuos, se puede determinar cuáles de estos son susceptibles a valorización, la tabla XXX muestra los porcentajes de los residuos domiciliarios, comerciales e institucionales que pueden ser valorizados.

Tabla XXX. **Residuos susceptibles a valorización según origen**

Residuos valorizados	Domiciliarios %	Comerciales %	Institucionales %
Papel y cartón	11,20	11,46	26,51
Pet	1,83	4,58	7,69
Restos de comida	34,76	65,68	42,18
Vidrio	4,27	4,54	9,94
Textiles y hule	14,94	1,53	0,00
Total	66,99	87,78	86,32

Fuente: elaboración propia.

4.16.1. Posibilidad de reutilización y reciclaje de aluminio

Las latas de aluminio se aceptan en programas de recogida en acera, en centro de recompra, en centros de recogida para el reciclaje y también las aceptan los chatarreros. Algunos lugares tienen depósitos obligatorios para recipientes de bebidas y han establecido centros de devolución en los supermercados. Los chatarreros, también compran artículos de aluminio fundidos y forjados, tales como: muebles de jardín, tuberías, contrapuertas, umbrales, marcos de ventanas, recubrimientos, canalones, herramientas eléctricas y piezas de baterías de cocina. Los fabricantes de aluminio completan el ciclo a través de contratos con recicladores independientes, chatarreros, otros fabricantes de aluminio, y si no proceden de recipientes, no se aceptan junto con las latas, porque las de aluminio son de aleación espacial.

Las latas que se entregan en los centros de recogida se aplastan, se empacan y se transportan hasta las fábricas o las plantas de recuperación regionales, donde se trituran para reducir su volumen. En la planta de recuperación, primero se calientan las trituradas en un proceso de desluzamiento para separar los revestimientos y la humedad. El metal fundido se forma en lingotes de 15 000 kilogramos o más, que se transfiere a otra fábrica y se lamina. Las láminas se envían a plantas que fabrican recipientes, donde se cortan en discos a partir de los cuales se forman en latas. Se imprime el logotipo del fabricante de bebidas en latas y se transportan 8 con las tapas separadas hasta la plana de relleno.

4.16.2. Posibilidades de reutilización y reciclaje papel y carton

En las fábricas de papel siempre se han reciclado productos dañados y rechazos de transformadores (plantas de fabricación de productos de papel), porque el material es de una composición conocida, normalmente sin impresión, y a menudo puede utilizarse como sustituto directo de la pulpa. 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.

4.16.3. Posibilidades de reutilización y reciclaje plásticos

Los principales tipos de plásticos reciclados actualmente son: politereftalato de etileno (PET/1) y polietileno de alta densidad (PE-HD/2). En la siguiente exposición se tratan estos y otros tipos de plásticos.

- Politerftalato de etileno (PET): se recicla principalmente en fibras de poliéster utilizadas para fabricar sacos de dormir, almohadas, edredones y ropa de invierno (las botellas verdes se reciclan separadamente, porque las fibras verdes solo pueden utilizarse en ropa con capa exterior de color oscuro). El PET usado se utiliza también, para bases y fibras de moqueta, productos moldeados, tablas aislantes de polisocianato, películas, correas, envases de comida y otros envases, y plásticos manejables, desde el punto de vista de la ingeniería, para la industria del automóvil. Como una salida frente a la tecnología convencional de reciclaje, dos grandes productores de plástico están actualmente, despolimerizando botellas usadas a etilenglicol y ácido tereftalico, que se repolimerizan en resinas de calidad virgen para nuevas botellas de refrescos. El uso de material usado

en botella de Coca-Cola fue aprobado por la administración de alimentación y salud en enero de 1991.

- Polietileno de alta densidad (PE-HD): las propiedades del PE-HD varían mucho, según el producto fabricado. Los bidones de leche se hacen a partir de una resina con un índice de fundición bajo (más o menos a una medida de viscosidad, que determina la idoneidad para diferentes procesos de fabricación), que permite que la resina se estire mientras se expande durante el moldeo por soplado. El PE-HD rígido se hace con una resina que tiene un índice de fusión alto, lo que permite a la resina fluir fácilmente sobre un molde de precisión. Después las propiedades del regranulado de PE-HD dependerán del material de alimentación (regranulando es el término utilizado para describir el plástico que se ha limpiado y granulado), para controlar la calidad cuando se produce un regranulado, los procesadores no mezclan diferentes tipos de resinas ni elaboran mezclas de la misma resina con distintos índices de fusión. En cambio, se producen copos o pelets a partir de resinas homogéneas y procesador o fabricantes del uso final los mezcla para conseguir el índice de fusión requerido.

Los artículos de consumo más frecuentemente producidos a partir de PE-HD usado, son botellas de detergentes y recipientes para aceite de motor. Las botellas, normalmente se hacen en tres capas, la capa intermedia contiene el material reciclado. La capa interior de resina virgen proporciona una barrera fiable y la capa exterior da el color y un aspecto uniforme. El PE-HD se utiliza también, para envolturas protectoras, bolsas de plástico, tuberías y productos moldeados, como juguetes y cubos.

- Policoruro de vinilo (PVC): el PVC se utiliza ampliamente para el empaquetamiento de comida, aislamiento de cables y alambres eléctricos y para tuberías de plástico. Aunque el PVC usado es una resina de alta calidad que necesita poco o ningún tratamiento, actualmente se recicla muy poco PVC, ya que los costes de recogida y selección son prohibitivos. Los productos típicamente reciclados incluyen: recipientes que no son para comidas, cortinas de duchas, recubrimientos para lechos de camiones, alfombras de plástico para laboratorios, azulejos de suelo, tuberías de riego, tiestos para plantas y juguetes. Hay un enorme potencial de mercado para fabricar tuberías de drenaje, accesorios, molduras, láminas y piezas moldeadas por inyección a partir de PVC reciclado.

El mayor problema con el reciclaje de PVC se presenta con la recogida y selección. Hasta la fecha, la mayor parte de la selección se ha hecho a mano, basándose bien en los códigos de identificación o bien en la línea (sonrisa) característica del fondo de las botellas de PVC moldeadas mediante soplado. EPA (Estados Unidos) y los productores de resina han proporcionado fondos para investigar acerca de la selección; el National Recovery technologies ha empleado procesos electromagnéticos para detectar cloro en los plásticos, y el centro para la investigación del reciclaje de plásticos ha utilizado técnicas de radiación, pero ningún proceso, de momento, es rentable para su explotación a escala real.

- Polietileno de baja densidad (PE-LD): la producción de polietileno es de 1,6 billones de kilos incluyendo 0,54 billones de kilos para empaquetamiento de comida y 0,96 billones de kilos para bolsas de basura, pañuelos desechables, agricultura y construcción. La mayor parte de la película termina en el flujo de residuos, y aunque no contribuye mucho al volumen del vertedero, la película constituye aproximadamente

el 16 por 100 en peso de los plásticos desechados. Varios estados han considerado la prohibición de bolsas de plástico y pañales desechables, Florida ha aprobado una legislación que requiere el uso de bolsas biodegradables. En consecuencia, la industria está bajo presión para recoger y reciclar los productos de película de PE-LD y PE-HD. Además, otros procesadores de polietileno, que normalmente utilizan alimentación rígida, están incrementando su esfuerzo para reciclar película. Proctor & Gamble intentaron, incluso un sistema para reciclar pañales desechables en Seattle; se pulpearon los pañales, se recuperó el plástico, que fue fabricado en lámina de plástico. El programa de demostración nunca fue rentable y finalizado.

Según el Consejo para plásticos y envases en el ambiente (CPEA), actualmente hay más de 10 000 supermercados en Estado Unidos de Norte América que aceptan productos de láminas usadas. Las bolsas se selección manualmente para separar contaminantes, se procesan mediante granulación, lavado y peletización. El mayor problema es que las tintas de impresión en las bolsas originales producen un regranulado de color oscuro; la solución ha sido la utilización de colorantes oscuros (como en las bolsas para recortes de césped y de basura) o la impresión sobre el color mezclado. Otros usos de PO-LD son los protectores de plásticos utilizados por los camiones, donde las cuerdas y cables tocan el cargamento, y productos de plásticos mezclados (PE-HD, PE-LD y PP).

- Polipropileno (PP): se utilizan el polipropileno para cajas de baterías de automóviles, tapas de recipientes, etiquetas de botellas y bidones, y en menor parte para envases de comida. Las etiquetas y las tapas hechas de polipropileno, normalmente están granuladas con productos de polietileno y del 10 al 13 por 100 puede dejarse en regranulado PE-HD de calidad

para botella. La mayor parte del polipropileno se deja en copos mezclados, utilizado solamente para productos de bajas especificaciones como tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas. Los procesadores de baterías ácidas de plomo, también recuperan polipropileno para usarlo en las nuevas baterías.

- Poliestireno (PS): se producen al año aproximadamente 2,3 billones de kilos de poliestireno en Estados Unidos de América, y el 25 por ciento, aproximadamente se utiliza para el empaquetamiento de comida. Los productos más comunes de espuma de PS son los envases de comida rápida en forma de concha de almeja, platos, bandejas para carne, tazas y material rígido de embalaje. Otros artículos comunes son: cubiertos para comida, vasos transparentes para beber y recipientes coloreados para yogur y queso blando; que se producen mediante moldeo de extrusión e inyección.

Según la industria de plásticos, el PS constituye solamente el 0,26 por 100 del peso de los RSU y solamente el 1 por 100 del volumen, y por lo tanto no merece la mala reputación que ha requerido. Los críticos no están de acuerdo, señalando que gran parte del empaquetamiento no es necesario y han solicitado una legislación que reduzca o elimine los productos de espuma; algunas prohibiciones están ya en vigor. A consecuencia de la presión del público, ocho productores de resina formaron la Compañía Nacional del Reciclaje de Poliestireno a finales de los años ochenta. El objetivo de la CNRP es reciclar el 25 por 100 de todo PS producido. La CNRP ha puesto en marcha cinco plantas regionales de procesamiento en Estados Unidos de América para lograr ese objetivo y ha proporcionado fondos a los recicladores de PS no afiliados, que ya tienen plantas funcionando.

Los diferentes tipos de envases o contenedores de servicios de comidas de PS pueden recuperarse separadamente o juntos. Un proceso típico incluye: selección semiautomática, granulación, lavado, secado y peletización. La tabla maciza de espuma se procesa de forma distinta: se rompe la espuma sin calor para formar una mezcla, después se riega con agua y se corta en peletas. El poliestireno reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, recipientes de basura, aislamiento, juguetes y producto moldeado por inyección. Los fabricantes, por lo visto, están satisfechos con la resina recuperada, pero quizás los procesadores requieran subvenciones para cubrir los costes de recogida, selección y transporte.

- Plásticos mezclados y multilaminados (otros): los fabricantes, también utilizan resinas y recipientes multilaminados menos comunes para envasar productos y comidas que tiene requisitos especiales (por ejemplo, kétchup y mahonesa). Estos recipientes no tienen valor como producto de regranulado, porque no hay mercado, sin embargo, los procesadores están utilizando flujos mezclados de plásticos usados (especialmente polietileno y polipropileno), para producir resinas para los fabricantes de productos grandes que no requieren especificaciones estrictas de resina, tales como: bancos de jardín, mesas, defensas para coches, postes para vallas, vigas, paletas y estacas. Como los plásticos no están seleccionados, los procesadores normalmente pueden obtener su alimentación a un coste muy bajo. El PET se mantiene fuera del regranulado, porque se funde a temperaturas más altas que las otras resinas y forma inclusiones en el producto final.

4.16.4. Posibilidades de reutilización y reciclaje vidrio

Casi todo el vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes y botellas de vidrio. A lo largo del país, los nuevos recipientes incluyen aproximadamente el 30 por 100 del vidrio usado y del vidrio triturado reciclado de operación de fabricación. Se emplea una mejor cantidad de vidrio para hacer lana de vidrio o aislamiento de fibra de vidrio, material de pavimentación y productos de construcción como: ladrillos azulejos de madera y terrazo, y hormigón ligero espumado.

5. MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PROPUESTO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA

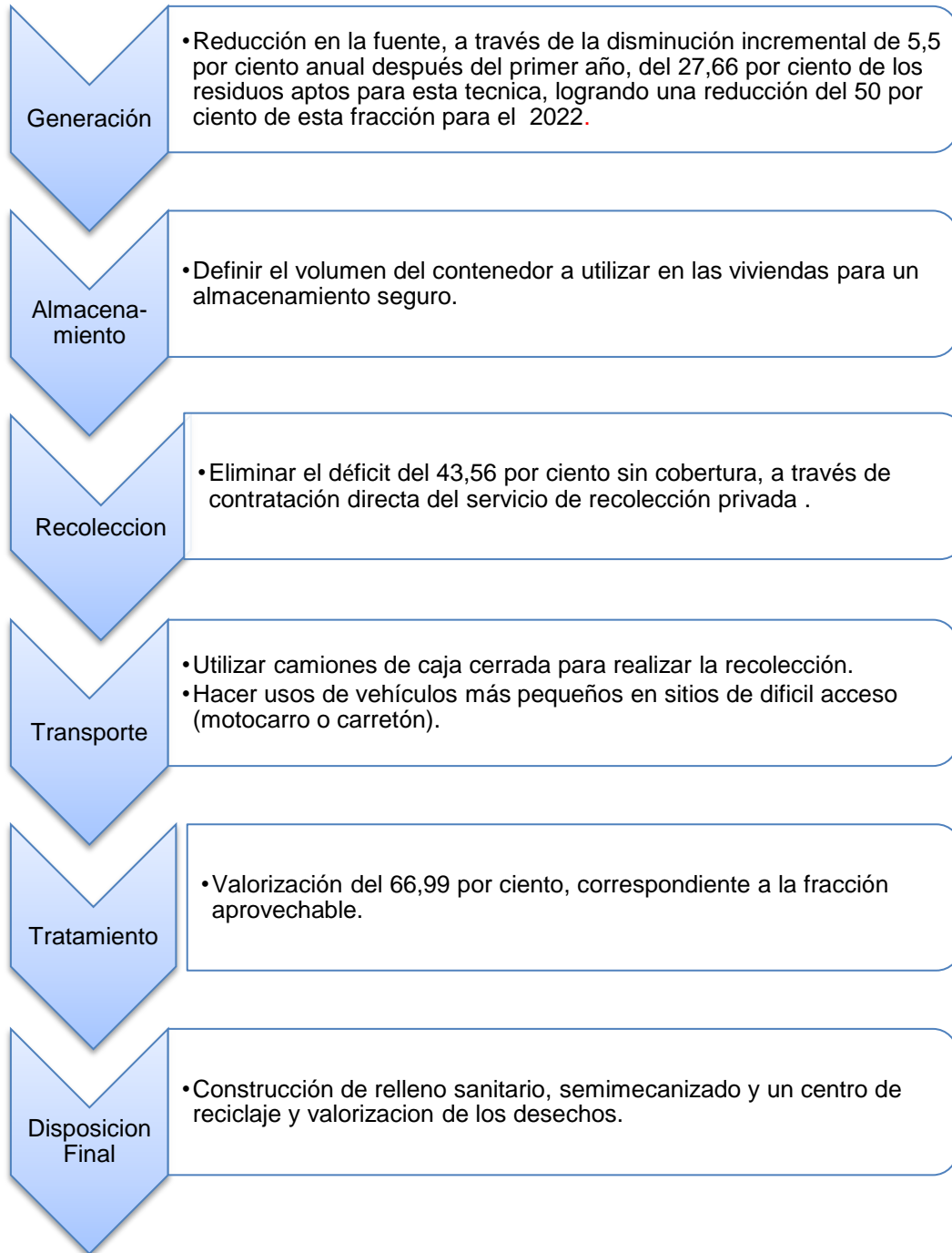
La finalidad del presente trabajo de investigación es evaluar el manejo de los residuos sólidos en todo el municipio, a partir de este diagnóstico se conocerán las deficiencias actuales, de las cuales se partirá para establecer una propuesta con base a criterios y lineamientos técnicos precisos para hacer más eficiente cada una de las etapas que comprende el manejo integral de los desechos sólidos. Esta propuesta se desarrollará abordando cada etapa de la ruta crítica del manejo integral de los residuos sólidos, también se analizarán todos aquellos factores externos que se relacionan de forma directa con la gestión de los residuos sólidos, asimismo se diseñará un relleno sanitario, que según las características de la población, sea el más adecuado, para la disposición final de los residuos sólidos.

El modelo de gestión integral de residuos sólidos que se propone en la cabecera departamental de Jalapa, se enfoca en las siguientes etapas:

- Generación
- Almacenamiento
- Recolección
- Transporte
- Tratamiento
- Disposición final

Las acciones a implementar en cada una de las etapas anteriormente descritas, se enumeran en figura 16.

Figura 16. **Esquema de modelo de gestión integral de desechos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

5.1. Generación

La generación actual de los residuos sólidos domiciliarios obtenida mediante la caracterización es de 37,88 toneladas/diarias, se realizó proyección para el 2034, obteniendo una generación de 68,42 toneladas/diarias. Para poder minimizar estos valores de generación es necesaria la implementación de técnicas adecuadas, según las características de la población en estudio.

La reducción en la fuente es la técnica recomendada para poder minimizar la generación de residuos sólidos en el municipio de Jalapa, para poder realizar esta práctica se requiere mucha conciencia, compromiso de parte de instituciones, para promover el manejo integral de los residuos y la población, ya que al final son ellos quienes ejecutan el 100 por ciento de esta actividad. El cambio de comportamiento puede ser logrado en forma gradual, mediante un componente continuo y masivo de educación sanitaria por medios de la comunicación, tales como radio y televisión.

Tabla XXXI. **Categorías de residuos sólidos que pueden ser incluidas dentro de un programa de reducción en la fuente**

Categorías	Domiciliares %	Comerciales %	Institucionales %
Papel y cartón	11,20	11,46	26,51
Plástico	10,06	7,64	7,69
Pet	1,83	4,58	7,69
Metales	2,74	2,29	1,51
Duroport	1,83	0,76	2,98
Total	27,66	26,73	46,38

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXI ilustra las categorías a tomar en cuenta en la propuesta de reducción en la fuente, el 27,66 por ciento representa la composición total de estas categorías con respecto al peso de los residuos sólidos del municipio. Se asumirá para proyectar los resultados del plan, una tasa efectiva de reducción en la fuente de 6 por ciento para el primer año, incrementando esta en un 5,5 por ciento anual hasta lograr una reducción del 50 por ciento en el peso de estas categorías en el 2022, ver tabla XXXII. Lo anterior dependerá del grado de conciencia adquirido y por ende al cambio de prácticas o patrones de las personas en el manejo de los residuos sólidos.

Tabla XXXII. Propuesta de reducción en la fuente, con un 5,5% incremental por año

Año	Producción total (Ton)	Composición con respecto al peso de los materiales a reducir en la fuente	Tasa efectiva de reducción en categorías incluidas	Reducción diaria (Ton)
2014	37,881	27,66 %	6,00 %	0,63
2015	39,017	27,66 %	11,50 %	1,24
2016	40,188	27,66 %	17,00 %	1,89
2017	41,393	27,66 %	22,50 %	2,58
2018	42,635	27,66 %	28,00 %	3,30
2019	43,914	27,66 %	33,50 %	4,07
2020	45,232	27,66 %	39,00 %	4,88
2021	46,588	27,66 %	44,50 %	5,73
2022	47,986	27,66 %	50,00 %	6,64

Fuente: elaboración propia.

5.2. Almacenamiento

Formular alternativas para mejorar el almacenamiento de los residuos sólidos en las viviendas resulta complicado, ya que se relaciona de forma directa con el nivel económico que posee cada núcleo familiar. Durante la realización del estudio se visualizó que varias familias viven en condiciones de pobreza; limitando con esto la adquisición de recipientes o contenedores idóneos como: bolsas plásticas o algún recipiente impermeable.

El volumen del contenedor puede ser calculado teniendo en cuenta los valores obtenidos durante el estudio:

$$V = \frac{1\,000 \times N \times \text{PPC} \times \text{FS}}{\rho \times F}$$

Donde:

V: volumen del contenedor en litros

N: número de habitantes por vivienda

PPC: producción per cápita por persona en kg/persona – día.

FS: factor de seguridad

ρ : densidad de los residuos sólidos en kilogramos/metro cúbico

F: frecuencia de recolección

Así se obtiene el siguiente resultado:

$$V = \frac{1000 \times 5 \times 0,66 \times 3,5}{108,18 \times 3} \text{ (L)} = 35,59 \text{ L}$$

De manera que, un contenedor de 40 litros constituye el recipiente ideal de almacenamiento dentro del hogar.

5.3. Recolección y transporte

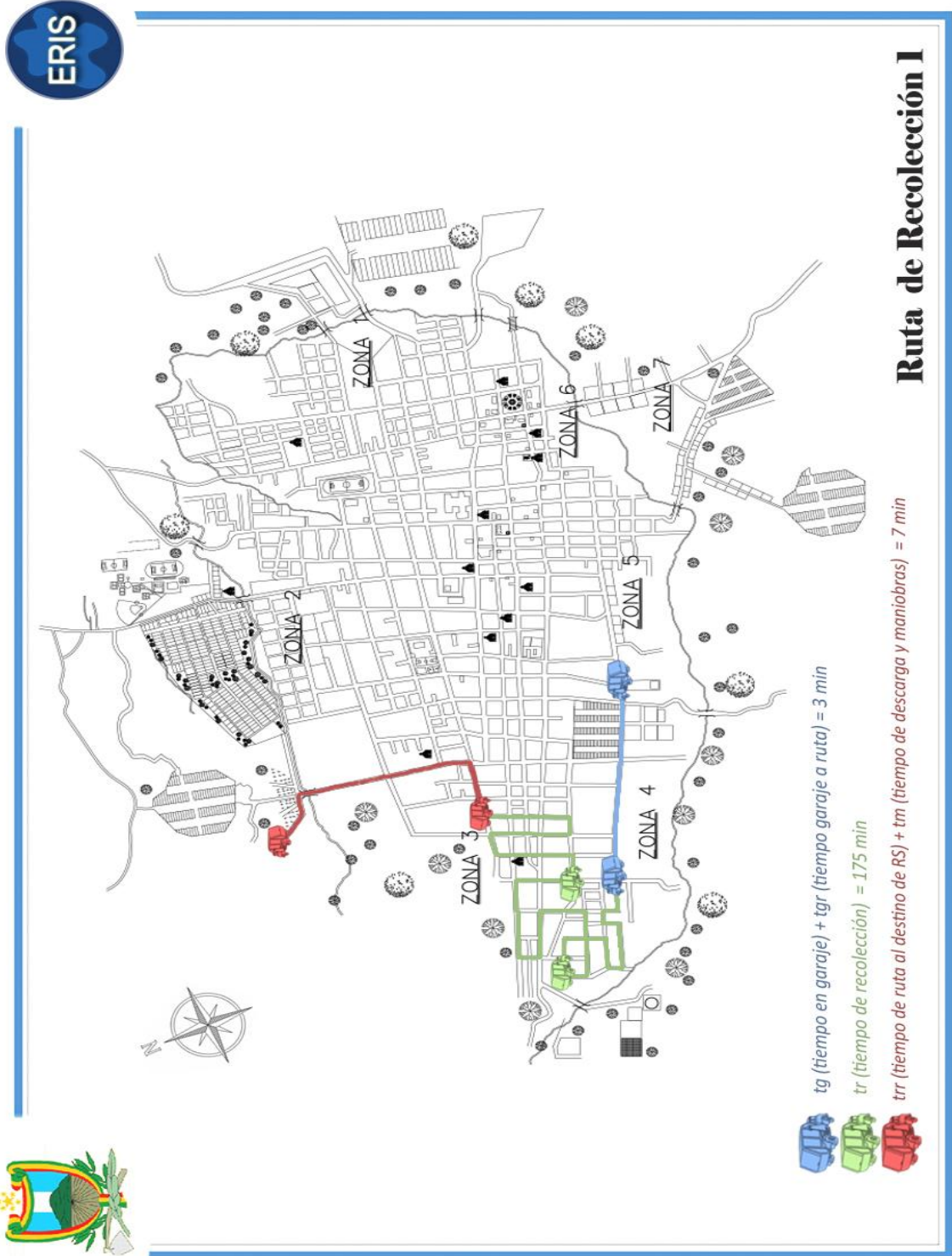
La ruta de recolección en la cabecera municipal de Jalapa, se distribuyó por medio de zonas, esto con la finalidad de asignar al equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo y desarrollar una ruta para cada subsector.

5.3.1. Rutas de recolección

Para obtener el 100 por ciento de cobertura de recolección de los residuos sólidos en Jalapa, es necesario otorgar este déficit existente a más operarios privados a través de una contratación directa, seleccionando la propuesta que genere mayores beneficios tanto a las autoridades municipales como a los núcleos familiares de estas zonas, otorgándole a la Municipalidad un papel de ente rector en el manejo de los residuos.

Para realizar una mejor recolección a través de la técnica empleada (puerta a puerta o acera), se puede complementar esta actividad con la incorporación del sistema de campana, el cual consiste en la emisión de un sonido generado por una campana instalada en el camión recolector, indicando este sonido a la población que saquen sus residuos de sus viviendas, evitando con esto la acumulación de residuos en aceras, disminuyendo el riesgo de riego de residuos por vectores.

Figura 17. Rutas de recolección



Continuación de la figura 17



t_g (tiempo en garaje) + t_{gr} (tiempo garaje a ruta) = 2 min

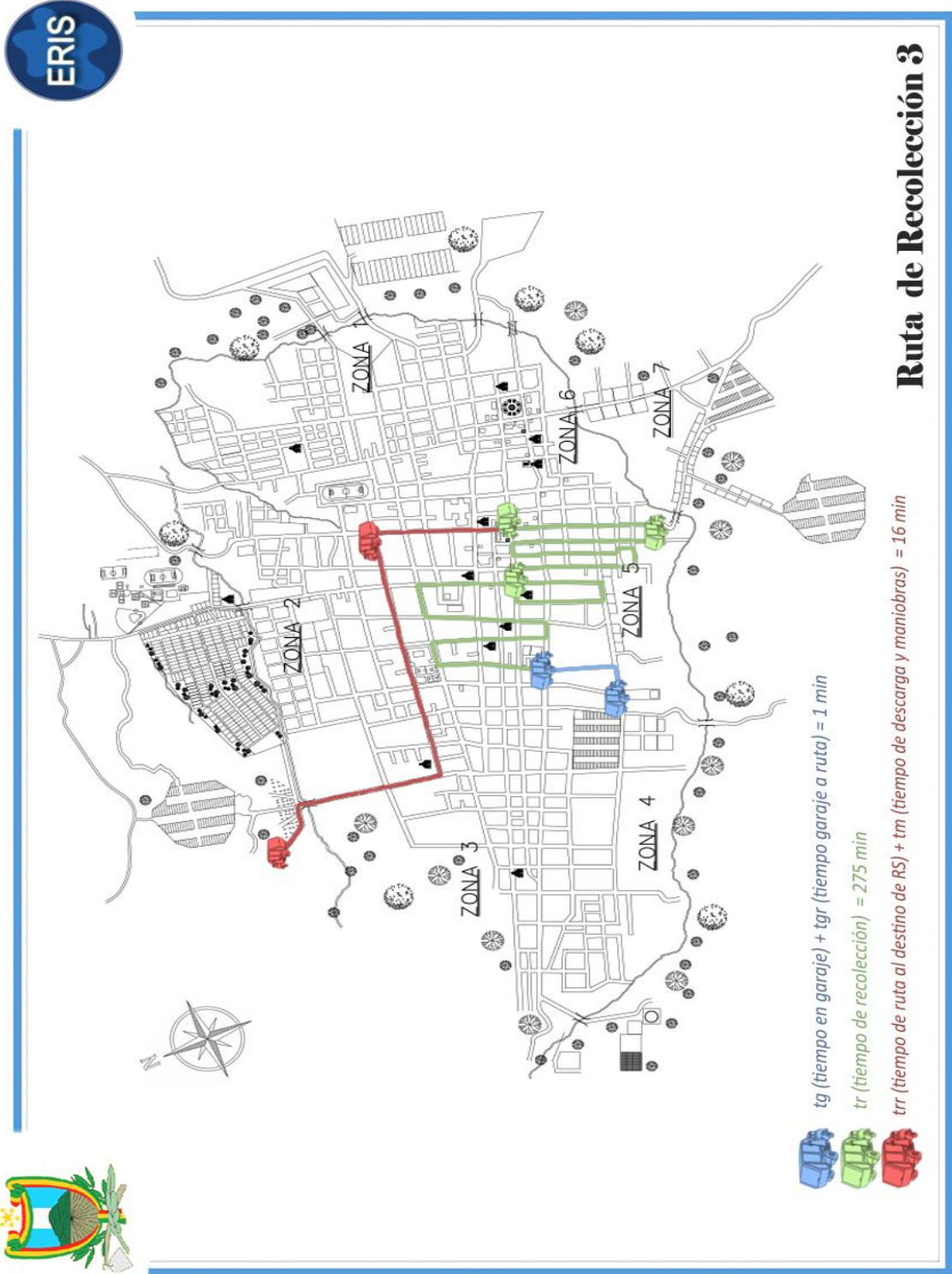
t_r (tiempo de recolección) = 190 min

t_{rr} (tiempo de ruta al destino de RS) + t_m (tiempo de descarga y maniobras) = 8 min

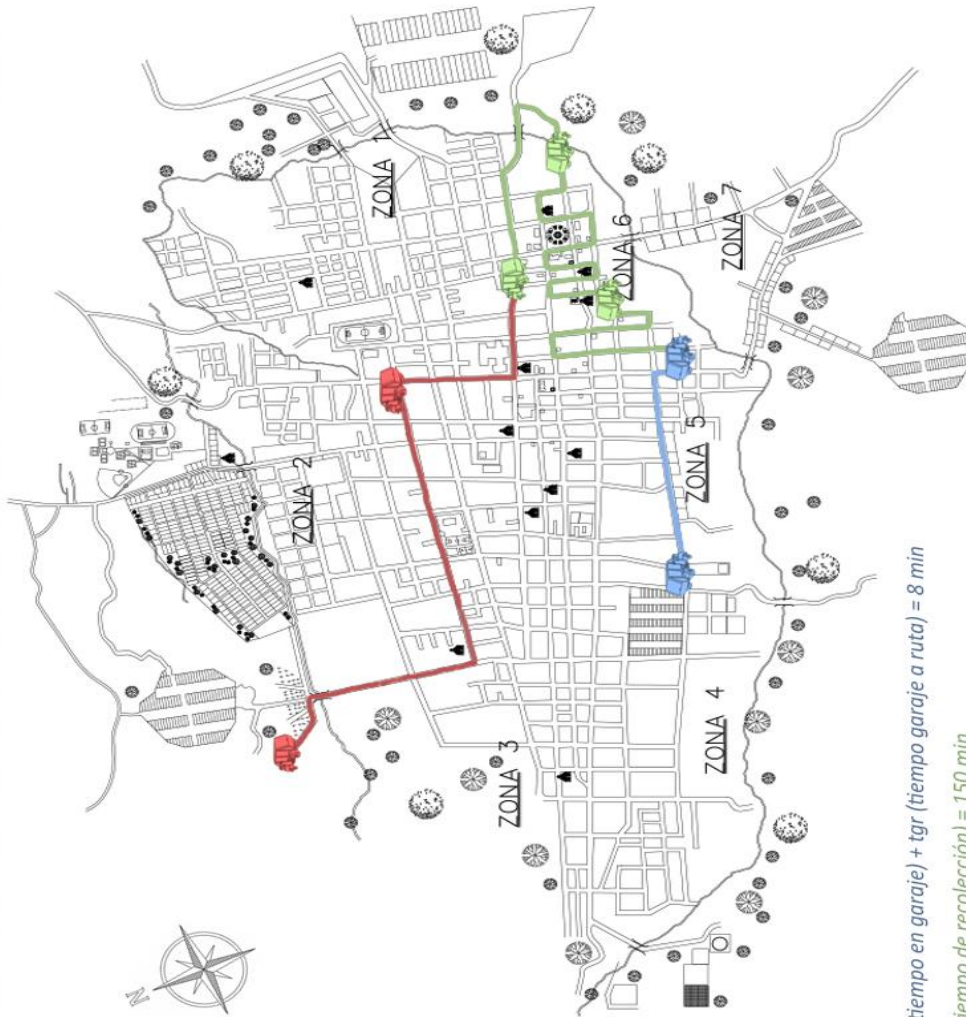


Ruta de Recolección 2

Continuación de la figura 17



Continuación de la figura 17



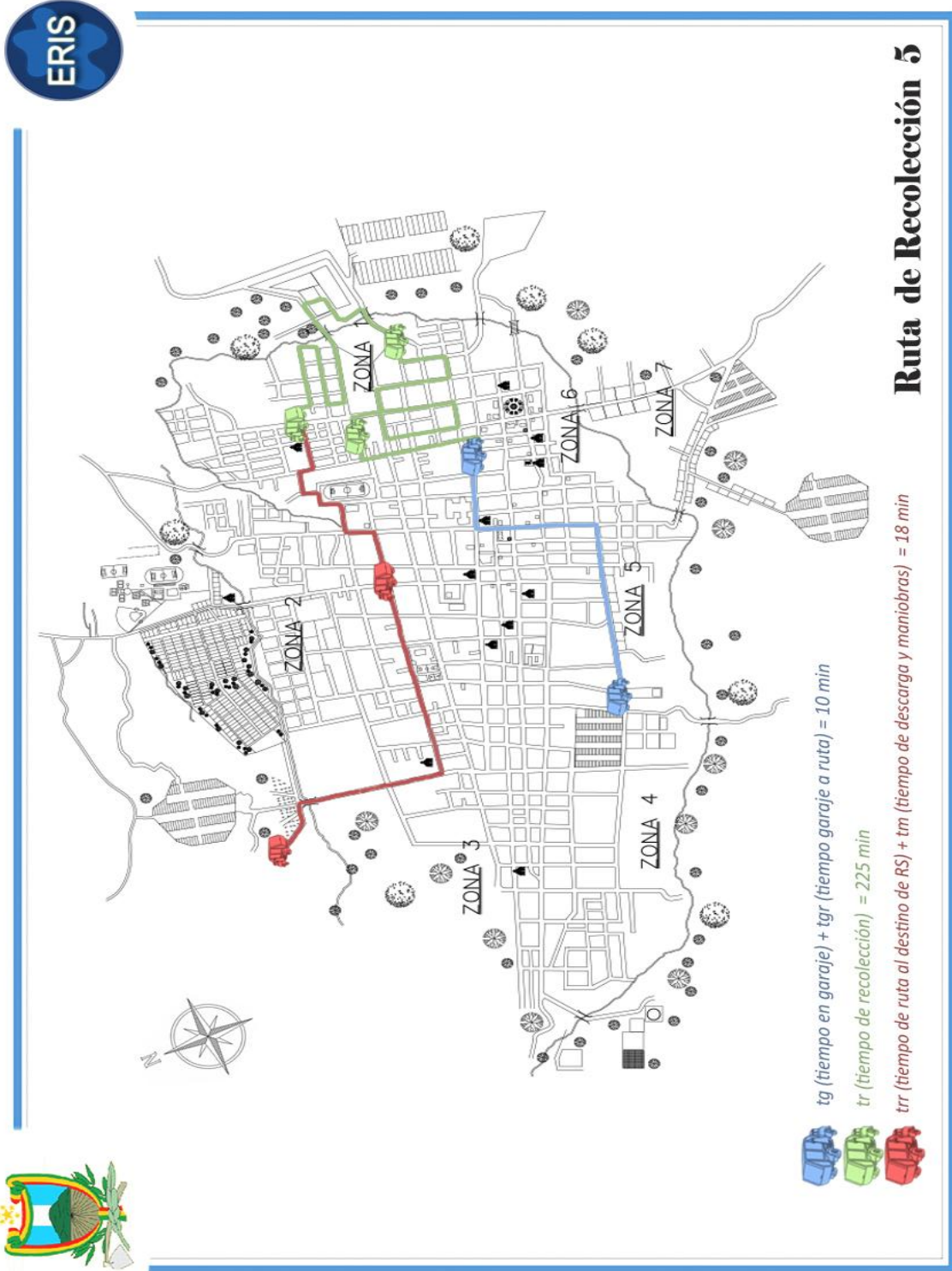
tg (tiempo en garaje) + tgr (tiempo garaje a ruta) = 8 min

tr (tiempo de recolección) = 150 min

trr (tiempo de ruta al destino de RS) + tm (tiempo de descarga y maniobras) = 15 min

Ruta de Recolección 4

Continuación de la figura 17



Continuación de la figura 17



t_g (tiempo en garaje) + t_{gr} (tiempo garaje a ruta) = 18min

t_r (tiempo de recolección) = 250 min

t_{rr} (tiempo de ruta al destino de RS) + t_m (tiempo de descarga y maniobras) = 12 min



Ruta de Recolección 6

Continuación de la figura 17



Fuente: elaboración propia.

Las rutas deben tener las siguientes características:

- Deben evitarse duplicaciones, repeticiones y movimientos innecesarios.
- Deben contemplar las disposiciones de tránsito
- Deben minimizar el número de vueltas izquierdas y redondas, con el propósito de evitar pérdidas de tiempo al cargar, reducir peligros a la tripulación y minimizar la obstaculización del tráfico.
- Las rutas con mucho tráfico no debe recorrerse en la hora de mayor tránsito.

5.3.2. Transporte

Se determinó que los camiones compactadores no son los recomendados para transportar los residuos sólidos generados en Jalapa, debido al alto contenido de humedad que poseen. Razón por la cual los camiones de caja cerrada son los que mejor se adaptan a este tipo de características.

La recolección de los residuos en Jalapa se realiza en camiones de caja cerrada, se recomienda que los camiones sean de 2 toneladas, esto por su menor tamaño que permite una fácil circulación en las calles del municipio.

En aquellas zonas donde se dificulta el ingreso de los diferentes medios de transporte utilizados para la recolección, se recomienda el uso de medios de menor tamaño como son; carretas y carretones, lo que maximizaría el uso de los recursos, disminuyendo el tiempo de recolección en estas zonas.

5.4. Centro de transferencia

Debido a que la cabecera municipal de Jalapa cuenta con una topografía plana y las casas se encuentran distribuidas por bloques, no se considera un centro de transferencia como alternativa de disposición temporal. La cercanía que tiene el terreno donde se da la disposición final y las casas del municipio, facilita el tiempo de traslado desde el punto de recolección hasta llegar a la disposición final.

Es recomendable que la segregación se realice desde su generación, ya que esto facilitaría la recolección, transporte y la valorización posterior. El contar con una separación desde la fuente, tomando en cuenta las características topográficas del municipio, se minimizará el costo de realizar un centro de transferencia, ese costo podrá ser útil en actividades de concientización y compra de recipientes para los domicilios.

5.5. Tratamiento: reciclaje

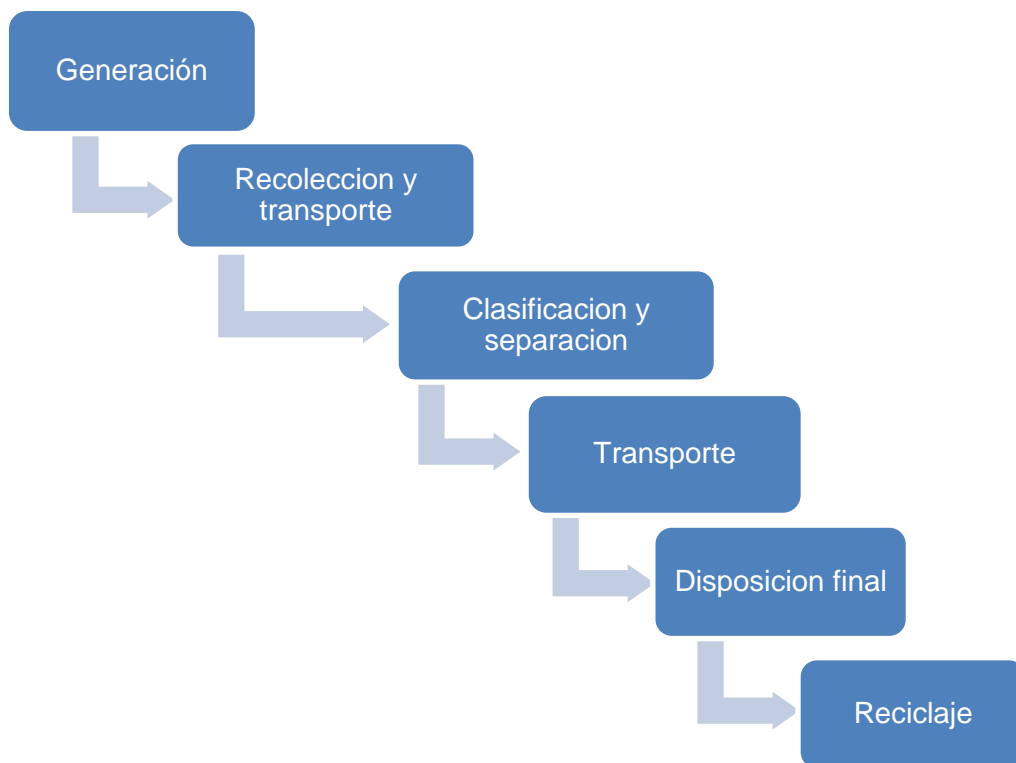
Para el reciclaje en el municipio de Jalapa, es imprescindible implementar la separación de los residuos en la fuente de generación. Esta separación deberá de realizarse, por lo menos en dos categorías diferentes: residuos orgánicos húmedos y residuos secos, suministrando la Municipalidad contenedores de diferente color para lograr separar los mismos.

La Municipalidad podría tener toda la disponibilidad de dicho programa y conseguir los recursos necesarios para el procesamiento de los materiales, pero si la población no participa, este programa no tendrá el éxito esperado. Hay que tener en cuenta que si se implementa un programa de segregación, es necesario implementar un servicio de recolección que contemple la separación.

La recolección de los residuos sólidos se realizará de la misma forma como se ha venido desarrollando, los residuos recolectados se dispondrá de forma temporal en una zona destinada para la separación o clasificación que estará ubicado en un área específica dentro del relleno sanitario.

El proceso de separación o clasificación no sería realizado por personal de la Municipalidad, sino que se les brindaría la oportunidad a los segregadores informales del municipio para que ejerzan esta función, previo al permiso e identificación de parte de las autoridades municipales, estos mismo, transportarían los residuos, aptos para el reciclaje a los diferentes lugares identificados previamente para su mercadeo en el municipio.

Figura 18. **Diagrama de flujo del proceso de reciclaje**



Fuente: elaboración propia.

Esta actividad generaría impactos positivos significativos, tanto a la Municipalidad como a los segregadores, las autoridades municipales se beneficiarían, reduciendo las cantidades de residuos sólidos para el transporte y prolongando la vida útil del relleno sanitario, y los segregadores obtendrían una fuente fija de producción de residuos, traducido esto a un mayor ingreso económico.

Si se logra reciclar el total del material identificado como valorizable, el cual es del 66,99 por ciento del total de los residuos que se generan, tomando en cuenta la alternativa de reducción en la fuente, se obtendría una reducción significativa del volumen de los residuos sólidos que se destinan para la disposición final. Lo cual se puede observar en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. Reducción diaria de la disposición final de residuos sólidos domiciliarios, a través de valorización y reducción en la fuente

Año	Producción total (Ton)	% efectivo de valorización	Valorización (Ton)	Reducción diaria (Ton)	Reducción Total (Ton)	D. final (Ton)
2014	37,88	66,99	25,38	0,63	26,00	11,88
2015	39,02	66,27	25,86	1,24	27,10	11,92
2016	40,19	65,54	26,34	1,89	28,23	11,96
2017	41,39	64,82	26,83	2,58	29,41	11,99
2018	42,64	64,10	27,33	3,30	30,63	12,01
2019	43,91	63,37	27,83	4,07	31,90	12,02
2020	45,23	62,65	28,34	4,88	33,22	12,01
2021	46,59	61,93	28,85	5,73	34,58	12,00
2022	47,99	61,20	29,37	6,64	36,01	11,98

Fuente: elaboración propia.

Manteniendo constante las prácticas de reducción en la fuente y reciclaje hasta el 2022, se logra reducir el volumen de disposición final en un promedio de 26,60 toneladas/año. Realizando una valorización de los residuos no solo se beneficia en la reducción de volúmenes destinados a la disposición final, sino que también debido al aprovechamiento se reduce la carga contaminante generada por estos, como se puede observar en las tablas XXXIV y XXXV.

Tabla XXXIV. **Composición química de la reducción de la carga contaminante mediante el tratamiento del reciclaje**

Origen Residuos sólidos	Carga Contaminante Original	Carga Contaminante con valorización y reducción
Domiciliar	C _{31,97} H _{49,29} O _{17,70} NS _{0,06}	C _{25,03} H _{38,70} O _{13,54} NS _{0,06}
Institucional	C _{45,64} H _{71,35} O _{26,26} NS _{0,09}	C _{36,28} H _{57,02} O _{21,28} NS _{0,08}
Comercial	C _{30,14} H _{47,11} O _{16,90} NS _{0,07}	C _{22,93} H _{36,25} O _{13,35} NS _{0,07}
Barrido de calles	C _{94,83} H _{146,05} O _{52,32} NS _{0,11}	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Reducción de la carga contaminante mediante el tratamiento del reciclaje**

Componente	Domiciliar %	Institucional %	Comercial %
Carbono	21,72	20,50	23,92
Hidrógeno	21,48	20,07	23,05
Oxígeno	23,52	18,97	21,04
Nitrógeno	0,00	0,00	0,00
Azufre	0,94	8,19	4,38

Fuente: elaboración propia.

5.6. Contenido energético de los residuos sólidos urbanos

Conociendo la reducción de la carga contaminante de los residuos sólidos urbanos, se puede estimar el contenido energético, mediante la fórmula de Dulong modificada, los resultados se muestran de la tabla XXXVI a la XXXIX.

Tabla XXXVI. **Contenido energético de los residuos sólidos domiciliarios**

Componente	Número de átomos por mol	Peso atómico	Contribución en peso de cada elemento	Porcentaje %
C	25,03	12,01	300,57	52,54
H	38,70	1,01	39,09	6,83
O	13,54	16	216,58	37,86
N	1,00	14,01	14,01	2,45
S	0,06	32,07	1,81	0,32
Contenido energético	4 965,201	Kcal/kg		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Contenido energético de los residuos sólidos institucionales**

Componente	Número de átomos por mol	Peso atómico	Contribución en peso de cada elemento	Porcentaje %
C	36,28	12,01	435,76	51,24
H	57,02	1,01	57,60	6,77
O	21,28	16	340,47	40,04
N	1,00	14,01	14,01	1,65
S	0,08	32,07	2,57	0,30
Contenido energético	4 743,08	Kcal/kg		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Contenido energético de los residuos sólidos comerciales**

Componente	Número de átomos por mol	Peso atómico	Contribución en peso de cada elemento	Porcentaje %
C	22,93	12,01	275,39	50,83
H	36,25	1,01	36,61	6,76
O	13,35	16	213,56	39,42
N	1,00	14,01	14,01	2,59
S	0,07	32,07	2,17	0,40
Contenido energético	4 738,82	Kcal/kg		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Contenido energético de los residuos sólidos del barrido de calles**

Componente	Número de átomos por mol	Peso atómico	Contribución en peso de cada elemento	Porcentaje %
C	94,83	12,01	1 138,89	53,20
H	146,05	1,01	147,51	6,89
O	52,32	16	837,04	39,10
N	1,00	14,01	14,01	0,65
S	0,11	32,07	3,47	0,16
Contenido energético	4 971,51	Kcal/kg		

Fuente: elaboración propia.

5.7. Disposición final

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización, se obtuvo una propuesta de recolección y programa de disposición final para la ciudad de Jalapa. Existen varios tipos de disposiciones finales de residuos sólidos municipales (RSM), incluyendo un depósito a cielo abierto, un relleno sanitario controlado, un relleno sanitario semimecanizado y un relleno sanitario totalmente mecanizado, hay ventajas y desventajas de cada tipo de disposición final y, por lo tanto, cada uno debe ser analizado con base en las características propias del lugar.

Un depósito a cielo abierto cuenta con una operación y mantenimiento mínima, pero generan lixiviados y vectores que ponen en peligro la salud y la seguridad de las personas y el medio ambiente. Los vertederos controlados pueden ser cercados para disminuir los vectores, separar los residuos y realizar reciclaje, pero requieren un personal dedicado para la operación y mantenimiento.

Los rellenos sanitarios semimecanizados se construyen con trincheras abiertas al ambiente, cubriéndolas con material inerte, este sistema utiliza compactación natural, con un control de lixiviados y metano y utiliza poca maquinaria pesada. Por otro lado, los rellenos sanitarios totalmente mecanizados requieren de maquinaria pesada, compactación mecanizada, control obligatorio de lixiviados y colocación de material inerte diario.

Un relleno sanitario totalmente mecanizado usa una red de celdas diarias primordial de cobertura, y niveles de altura para reducir el área superficial. Tanto un relleno sanitario semimecanizado y totalmente mecanizado son métodos de disposición final. Un relleno sanitario es un método de disposición

final de residuos definida como un aislamiento controlado de ingeniería de residuos sólidos, para proteger la salud humana y el medio ambiente.

5.8. Relleno sanitario semimecanizado

En el terreno del relleno sanitario estará ubicado un centro de separación y valorización, destinada para el aprovechamiento de los residuos a través del reciclaje. Esta clasificación se hará de forma manual, evitando con esto una inversión inicial alta, el promedio de personas que realizarán esta actividad será de 10, seleccionados por la Municipalidad.

El volumen de los residuos que ingresa en el sitio está suelto, la densidad según la caracterización fue de 108.19 kg/m³. La densidad indica el volumen inicial que ingresa a las trincheras e indica el volumen de la fosa mensual. Después de la compactación natural y descomposición, la densidad se supone que es 219 kg/m³ (Oakley y Jiménez 2012). Después del asentamiento se reducirá el volumen de residuos en la trinchera, permitiendo a la zanja ser llenada por otro camión, antes de aplicar la cobertura final, figura 19.

Este proceso debe repetirse hasta que la trinchera excavada esté llena de desechos llegar aproximadamente al nivel del terreno. Esta descomposición semiaeróbica y consolidación natural pueden disminuir el volumen de residuos a la mitad, disminuyendo los requerimientos del área total de la tierra requerida. El volumen acumulado naturalmente compactado, dicta los requisitos del área para la selección del sitio.

Figura 19. **Llenado de trincheras**



Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.92.

5.8.1. Diseño de celda diaria

Jalapa se encuentra en el altiplano de Guatemala con un terreno muy montañoso, así que el porcentaje de arena en el suelo es baja. Se asume una cohesión del suelo, con el fin de calcular las profundidades de la trinchera crítica sin sacrificar la integridad estructural, tomando un valor de rango medio para la cohesión de la arcilla de 20 kN/m² y un ángulo interno ideal de fricción de 0 °. La zanja de excavación es de 5 metros de profundidad y 4 metros de ancho, se selecciona como se puede observar en la tabla XL.

Tabla XL. **Diseño del relleno sanitario de Jalapa, utilizando el método de trinchera con P=5m**

Año	Población	Gd (m3)	Vd	Vm	Va	Acumulado VA	P
			m3/día	m3/mes	m3/año	m3	Metros
2014	57 395,00	189,51	189,51	5 685,23	69 170,36	69 170,36	5,00
2015	59 116,85	193,01	193,01	5 790,27	70 448,34	139 618,70	5,00
2016	60 890,36	196,62	196,62	5 898,46	71 764,66	211 383,35	5,00
2017	62 717,07	200,33	200,33	6 009,90	73 120,46	284 503,82	5,00
2018	64 598,58	204,16	204,16	6 124,68	74 516,95	359 020,76	5,00
2019	66 536,54	208,10	208,10	6 242,90	75 955,32	434 976,09	5,00
2020	68 532,63	212,16	212,16	6 364,67	77 436,85	512 412,94	5,00
2021	70 588,61	216,34	216,34	6 490,10	78 962,82	591 375,76	5,00
2022	72 706,27	220,64	220,64	6 619,28	80 534,58	671 910,34	5,00
2023	74 887,46	225,08	225,08	6 752,34	82 153,48	754 063,82	5,00
2024	77 134,08	229,65	229,65	6 889,39	83 820,96	837 884,78	5,00
2025	79 448,10	234,35	234,35	7 030,56	85 538,45	923 423,23	5,00
2026	81 831,55	239,20	239,20	7 175,96	87 307,48	1 010 730,71	5,00
2027	84 286,49	244,19	244,19	7 325,72	89 129,57	1 099 860,28	5,00
2028	86 815,09	249,33	249,33	7 479,97	91 006,32	1 190 866,60	5,00
2029	89 419,54	254,63	254,63	7 638,85	92 939,38	1 283 805,98	5,00
2030	92 102,13	260,08	260,08	7 802,50	94 930,43	1 378 736,41	5,00
2031	94 865,19	265,70	265,70	7 971,06	96 981,21	1 475 717,63	5,00
2032	97 711,15	271,49	271,49	8 144,67	99 093,52	1 574 811,14	5,00
2033	100 642,48	277,45	277,45	8 323,50	101 269,19	1 676 080,33	5,00
2034	103 661,75	283,59	283,59	8 507,68	103 510,13	1 779 590,47	5,00

Continuación de tabla XL.

Ast-a	Acumulado Ast-A	Ancho de trincheras (a)	Lmes	Numero de trincheras (nt)	Separación entre trincheras (b)
m2/año	Ha	m	M	n	m
13 834,07	13 834,07	4,00	500,00	7	2,00
14 089,67	27 923,74	4,00	500,00	7	2,00
14 352,93	42 276,67	4,00	500,00	7	2,00
14 624,09	56 900,76	4,00	500,00	7	2,00
14 903,39	71 804,15	4,00	500,00	7	2,00
15 191,06	86 995,22	4,00	500,00	8	2,00
15 487,37	102 482,59	4,00	500,00	8	2,00
15 792,56	118 275,15	4,00	500,00	8	2,00
16 106,92	134 382,07	4,00	500,00	8	2,00
16 430,70	150 812,76	4,00	500,00	8	2,00
16 764,19	167 576,96	4,00	500,00	8	2,00
17 107,69	184 684,65	4,00	500,00	9	2,00
17 461,50	202 146,14	4,00	500,00	9	2,00
17 825,91	219 972,06	4,00	500,00	9	2,00
18 201,26	238 173,32	4,00	500,00	9	2,00
18 587,88	256 761,20	4,00	500,00	9	2,00
18 986,09	275 747,28	4,00	500,00	9	2,00
19 396,24	295 143,53	4,00	500,00	10	2,00
19 818,70	314 962,23	4,00	500,00	10	2,00
20 253,84	335 216,07	4,00	500,00	10	2,00
20 702,03	355 918,09	4,00	500,00	10	2,00

Continuación de tabla XL.

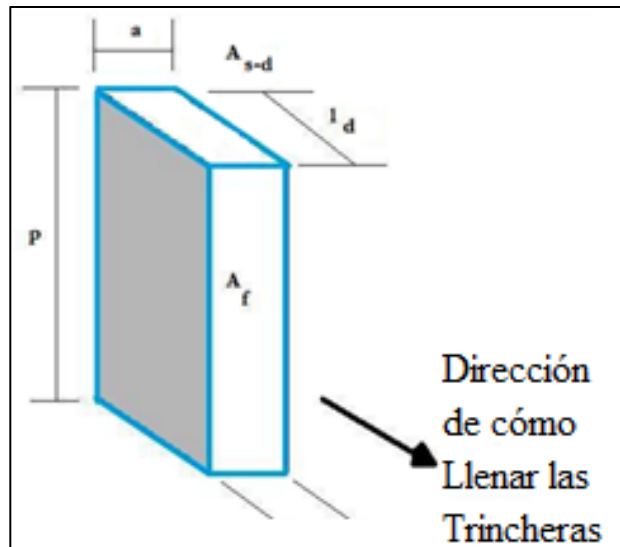
área total acumulada (ATST)	Espesor de la cobertura aplicada (E)	volumen de cobertura requerida cada año (Vc-a)	Acumulado Volumen de cobertura (Vc-A)
m2/año	m	m3/año	m3
19 751,11	0,30	4 150,22	4 150,22
20 134,50	0,30	4 226,90	8 377,12
20 529,40	0,30	4 305,88	12 683,00
20 936,14	0,30	4 387,23	17 070,23
21 355,08	0,30	4 471,02	21 541,25
21 786,60	0,30	4 557,32	26 098,57
22 231,06	0,30	4 646,21	30 744,78
22 688,85	0,30	4 737,77	35 482,55
23 160,37	0,30	4 832,07	40 314,62
23 646,05	0,30	4 929,21	45 243,83
24 146,29	0,30	5 029,26	50 273,09
24 661,54	0,30	5 132,31	55 405,39
25 192,24	0,30	5 238,45	60 643,84
25 738,87	0,30	5 347,77	65 991,62
26 301,90	0,30	5 460,38	71 452,00
26 881,81	0,30	5 576,36	77 028,36
27 479,13	0,30	5 695,83	82 724,18
28 094,36	0,30	5 818,87	88 543,06
28 728,06	0,30	5 945,61	94 488,67
29 380,76	0,30	6 076,15	100 564,82
30 053,04	0,30	6 210,61	106 775,43

Continuación de tabla XL.

volumen de suelo excedente cada año (VSE-a)	Acumulado volumen de suelo excedente (VSE-a)
m3/año	m3
65 020,14	65 020,14
66 221,44	131 241,57
67 458,78	198 700,35
68 733,24	267 433,59
70 045,93	337 479,52
71 398,00	408 877,52
72 790,64	481 668,16
74 225,06	555 893,22
75 702,50	631 595,72
77 224,27	708 819,99
78 791,70	787 611,69
80 406,15	868 017,84
82 069,03	950 086,87
83 781,79	1 033 868,66
85 545,94	1 119 414,60
87 363,02	1 206 777,62
89 234,61	1 296 012,23
91 162,34	1 387 174,57
93 147,91	1 480 322,47
95 193,04	1 575 515,51
97 299,53	1 672 815,04

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Área expuesta y dimensiones de la celda diaria para el método de trinchera**



Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.106.

5.8.2. Diseño de trincheras y selección de equipo

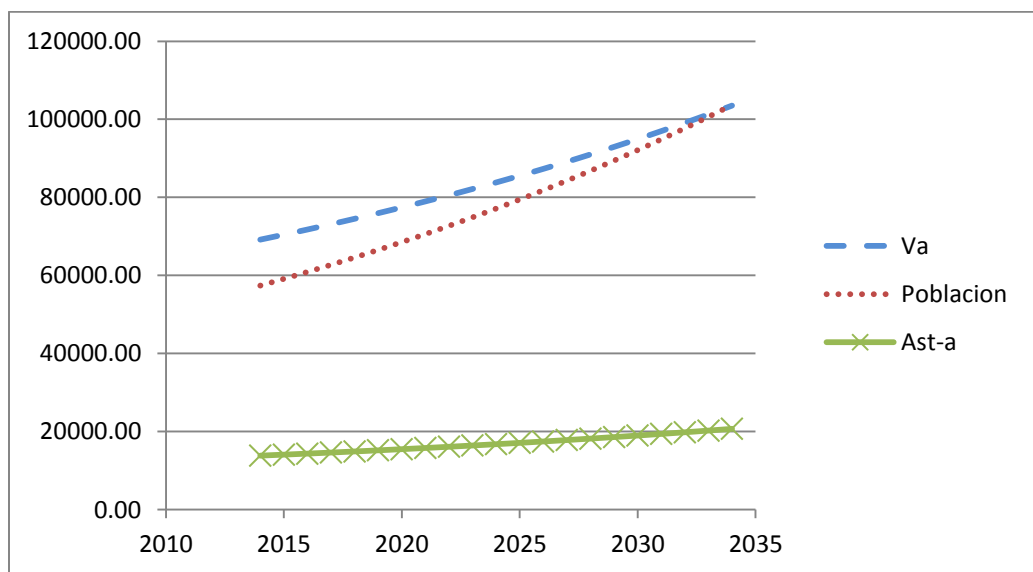
La longitud de diseño para una trinchera se basa en la capacidad mensual del relleno. Para el comienzo del proyecto se necesitará siete trincheras anuales de 500 metros de largo. Con la población proyectada para el 2034, en 20 años serán necesarias 178 trincheras de 500 metros de largo. El uso de los volúmenes adecuados de las zanjas y los diferentes tiempos de llenado mantendrá la simetría y la geometría del sitio.

5.8.3. Diseño de relleno sanitario semimecanizado

El diseño de este sistema incluye 178 trincheras para ser utilizadas durante una vida útil de 20 años. Cada volumen de las trincheras puede ser calculado como 5 metros de profundidad, 4 metros de ancho y 500 metros de

largo. La figura 26 expresa el volumen anual de las trincheras, asumiendo que la población crece a una tasa de 3 por ciento y la generación de residuos durante la vida útil del sistema de 0,66 kg/hab/día.

Figura 21. **Población, generación de residuos y área total de trincheras por año para Jalapa, con P = 5 m**



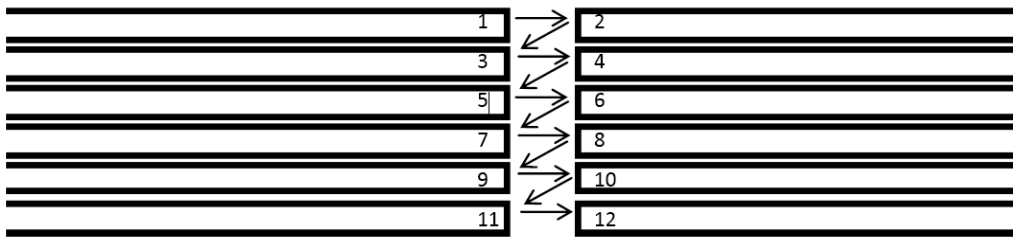
Fuente: elaboración propia.

El área de superficie de cada trinchera es de 4 por 500 metros y distancias entre trincheras de 2 metros, esto da el área superficial total del vertedero. El área total del terreno necesaria para la vida útil de 20 años es de 51,2 Ha. Esto incluye 2,00 metros entre cada trinchera para la estabilidad y accesibilidad. La superficie requerida por persona es de 0,29 m²/ habitante/año.

La disposición de las trincheras debe maximizar el espacio utilizable, así como permitir también, que la trinchera del mes anterior sea semiaeróbica para la consolidación y descomposición antes de añadir la cobertura final mientras se

está llenando la trinchera del mes actual. La secuencia de llenar cada trinchera se ilustra en la figura 21. Durante la excavación, el suelo excavado puede almacenarse en la parte superior de una trinchera cerrada adyacente; durante el llenado de la trinchera #3, el material de exceso puede ser colocado encima de la trinchera #1 dado que esta ya ha sido llenada y cerrada.

Figura 22. **Secuencia de relleno de trincheras para un año**



Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.118.

5.8.4. Tiempo de maquinaria para construir celdas

El tiempo que se necesita con retroexcavadora para realizar las excavaciones de las celdas que se requieren cada año es el siguiente:

$$T_{exc} = \frac{V_z}{R * J}$$

Donde:

- Texc: tiempo de maquinaria (días)
- Vz: volumen de zanja (m³)
- R: rendimiento de excavación de la maquinaria (m³/hora)
- J: jornada de trabajo (horas/día)

Considerando R= 14 m³/hora; J= 8 horas/día

Por lo tanto, en la tabla XLI se tiene el detalle de los días maquinaria de trabajo:

Tabla XLI. **Tiempo de maquinaria**

No.	Año	Desechos sólidos+material compactado anual m ³	Tiempo de maquinaria días
1	2014	69 170,36	35
2	2015	71 245,47	36
3	2016	73 382,83	37
4	2017	75 584,32	38
5	2018	77 851,85	39
6	2019	80 187,40	41
7	2020	82 593,03	42
8	2021	85 070,82	43
9	2022	87 622,94	44
10	2023	90 251,63	46
11	2024	92 959,18	47
12	2025	95 747,95	48
13	2026	98 620,39	50
14	2027	101 579,00	51
15	2028	104 626,37	53
16	2029	107 765,17	54
17	2030	110 998,12	56
18	2031	114 328,06	58
19	2032	117 757,91	59
20	2033	121 290,64	61
21	2034	124 929,36	63

Fuente: elaboración propia.

Según el rendimiento y la jornada de trabajo especificadas anteriormente, el tiempo de excavación requerido, por ejemplo, para el primer año es de 35 días. Este es el tiempo que se tarda en remover 69 170,36 metros cúbicos con esos parámetros. Sin embargo, la excavación de la zanja para ese volumen se puede realizar según lo disponga el operador del relleno y de acuerdo a cómo

se vaya requiriendo para no tener una zanja abierta por largos periodos sin ser utilizada. Es mejor que se vaya avanzando con la excavación según el progreso del llenado.

5.8.5. Personal operativo de la planta de desechos y del relleno

Para esta planta de desechos y del relleno sanitario tipo trinchera, la mano de obra necesaria para operarla dependerá de:

- Cantidad de desechos sólidos no útiles que se debe disponer.
- Disponibilidad y el tipo de material de cobertura.
- Días laborables en el relleno.
- Duración de la jornada diaria.
- Condiciones del clima.
- Descarga de los desechos en el frente de trabajo según la distancia.
- Rendimiento de los trabajadores.

Por medio de la tabla XLII se estima el número de trabajadores necesarios para la operación del relleno sanitario, considerando una jornada de ocho horas diarias, con un tiempo efectivo de seis horas. Estos rendimientos se contemplan bajo condiciones normales de trabajo y con ayuda del equipo y herramientas propuestas. En esta tabla t/día significa tonelada al día; hr-hom, horas hombre y; hr, horas. Las constantes 0,95, 5, y 0,35 denotan el rendimiento del trabajo hr- hombre y conforman parte de una fórmula empírica.

Tabla XLII. **Operación y rendimiento de mano de obra del relleno sanitario**

Operación	Rendimientos	Hombre/día
Movimiento de desechos	$\frac{45.81 \text{ t/día}}{0.95 \text{ t/hr} - \text{hom}} * \frac{1}{6\text{hr}}$	8,04
Compactación de desechos	$\frac{108.23 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{hr} - \text{hom}} * \frac{1}{6\text{hr}}$	3,61
Movimiento de tierra	$\frac{10.82 \text{ m}^3}{0.35 \text{ m}^3/\text{hr} - \text{hom}} * \frac{1}{6\text{hr}}$	5,15
Compactación de la celda	$\frac{21.65 \text{ m}^2}{5 \text{ m}^2/\text{hr} - \text{hom}} * \frac{1}{6\text{hr}}$	0,72
Total		17,52

Fuente: JARAMILLO, CEPIS, OPS/OMS. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.* p.178.

Rendimientos por día (los resultados se muestran en la tabla XLII):

En total se necesitaría 0,54 hombre al día, pero como se hacen tres viajes de recolección a la semana, es decir, 7 días, los hombres dedicados al relleno serán: 17,52 hombre * día por 2,33 días/viaje = 40,87 hombres. Por lo tanto se considerarán 41 hombres. El resto de días lo dedicarán a la clasificación de los desechos.

Por lo tanto, para la operación de las actividades se requiere del siguiente personal:

- 1 encargado del relleno.
- 41 acondicionadores para el relleno sanitario y clasificación de los desechos.
- 2 guardias de la garita de ingreso.

- Encargado del relleno: llevará el registro de todas las actividades que se lleven a cabo, el volumen de desechos que ingresan y de la colocación de los mismos en los lugares correspondientes. Detallará en un libro el avance que se tenga en las celdas de desechos y dirigirá la colocación y compactación en las zanjas. Hará el traslado de los desechos a la bodega de reciclaje y a la de compost.
- Acondicionadores de desechos: harán la selección de estos, colocarán y compactarán los desechos en la zanja, los trasladarán los desechos al lugar que les corresponde, realizarán el volteo en las pilas de compost 3 veces por semana y además, otras actividades que el encargado les indique, como colocación de llantas en los bordillos y jardinería de las instalaciones.
- Guardias de la garita: llevarán el control de ingreso de las personas y de los vehículos, por medio de libro de ingresos, harán las consultas con el encargado para el permiso de ingreso correspondiente.

El personal deberá contar con todas las herramientas de trabajo y del equipo de seguridad, en el Manual de Operación y Mantenimiento se detallan los mismos.

5.8.6. Cálculo hidráulico de cada proceso de conducción y tratamiento de lixiviados

La generación de lixiviados puede ser un problema que se presente durante la operación de un relleno sanitario. En algunos casos, a pesar de poseer los respectivos drenajes pluviales perimetrales para interceptar y desviar

las aguas de escorrentía, la lluvia cae directamente sobre la superficie del relleno, lo que conlleva al aumento de la generación de lixiviados.

Se construirá una red de drenaje en las trincheras que conducirá el lixiviado que se genera en el fondo hasta el sistema de tratamiento de lixiviados.

Para determinar las dimensiones del diámetro de la tubería se aplica el siguiente cálculo basado en Fernández I, 2010:

$$Q = P * A * K * T^{-1}$$

Donde:

- Q = caudal medio de lixiviados (litros/segundo)
- P = precipitación media anual (milímetros de agua)
- A = área del relleno sanitario (m²)
- K = coeficiente de compactación, que depende del grado de compactación ≈ un 30 %
- T = número de segundos en un año (31 536 000 segundos)

La precipitación pluvial anual del departamento de Jalapa para un periodo de retorno de 100 años, varía entre 800 hasta los 1 000 milímetros, obteniéndose una precipitación promedio anual de 933,08 milímetros.

El coeficiente de compactación se calcula por medio de la densidad de los residuos sólidos mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\text{Densidad de residuos sólidos descargada en relleno sanitario}}{\text{Densidad de residuos sólidos en relleno sanitario}}$$

$$K = \frac{108,19 \text{ kg/ m}^3}{324,57 \text{ kg/ m}^3}$$

$$K = 0,33$$

Sustituyendo los datos para el cálculo del caudal medio de los líquidos lixiviados se obtiene:

$$Q = (0,933 \text{ m}) \times (355\,918,09) \times (0,333) \times (31\,536\,000 \text{ seg.})^{-1}$$

$$Q = 0,0035103 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Aplicando la fórmula de Manning se calcula el diámetro que debe tener la tubería para lixiviados

$$Q = \frac{A \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Donde:

- $A = (\pi \times d^2)/4$
- $R_h = d/4$
- $S = 0.02$
- $n = 0.009$ (para un tubo de PVC)

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$0,00351 = \frac{\pi \times d^2 \times d^{2/3} \times 0,02^{1/2}}{4 \times 4^{2/3} \times 0,009}$$

$$0,00351 = 4,90 \times d^{8/3}$$

$$d = 0,0662 \text{ metros} = 2,6 \text{ pulgadas}$$

Por razones prácticas de mantenimiento se recomienda utilizar tubería de 3" de diámetro PVC. Se adopta una tubería de este diámetro como mínimo para facilitar las labores de operación y mantenimiento, ya que permite introducir herramientas o equipos mecanizados para la limpieza o en caso de taponamiento.

5.8.6.1. Descripción del sistema de drenaje para lixiviados

De acuerdo a CEPIS se recomienda que durante la construcción se utilice una capa de drenaje de grava o piedra bola a lo largo de la tubería de PVC. Las piedras utilizadas en dicha capa deben ser grandes, de 4" (con dimensiones más o menos homogéneas) y no contener material fino. Con eso se garantiza una adecuada permeabilidad hidráulica en el drenaje.

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.

Se recomienda la construcción de los drenajes de la siguiente manera:

- Se define el trazo al fondo y al centro de la trinchera donde se ubicará el drenaje, el cual debe estar formado de un tubo de 3" de diámetro, el cual se conectará a un tubo principal de 6" de diámetro.
- La tubería de captación y transporte de lixiviados en el fondo de la trinchera, se le debe de dar una pendiente del 2%.

- Proteger la tubería de lixiviados con piedra de 4" y un geotextil no tejido de polipropileno, con un gramaje igual o superior a 130 gramos/metro², para evitar el paso de finos y, por consiguiente evitar que tubería se colme.

5.8.6.2. Cálculo de laguna de lixiviados

Para el dimensionamiento de esta laguna se consideró el área crítica de captación de lluvia para un periodo de retorno de 100 años. Estos datos se obtuvieron del dimensionamiento del relleno sanitario y del estudio hidrológico. De esta manera se realizó el cálculo que a continuación se detalla junto al dimensionamiento.

Estimación mensual de lixiviados

$$q = P(1 - C_E) - E$$

Donde:

- q : es la percolación del lixiviado mm/mes
- P : precipitación promedio mensual mm/mes para un periodo de retorno de 100 años
- C_e : coeficiente de escurrimiento para la superficie del terreno
- E : evapotranspiración promedio mensual mm/mes para un periodo de retorno de 100 años

Volumen mensual de lixiviados

$$Q_m = 0.001 * q * A_E$$

Donde:

- Q_m : volumen mensual de lixiviados producidos m^3
- q : percolación mensual $mm=0.001 m^3/ m^2$
- A_e : área superficial expuesta a la precipitación m^2

La tabla XLIII muestra el balance hídrico para un periodo de retorno de 100 años, donde P es la precipitación en mm/mes, E es la evapotranspiración en mm/mes.

Tabla XLIII. **Balance hídrico para determinar el lixiviado**

Mes	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Lixiviados mm/mes
Octubre	73,8	120	57,27
Noviembre	0,27	110	109,73
Diciembre	0,085	105	104,91
Enero	0,12	177	176,88
Febrero	0,078	150	149,92
Marzo	0,13	140	139,87
Abril	11,34	180	168,66
Mayo	105,14	140	34,86
Junio	256,08	99	157,08
Julio	140,98	137	3,98
Agosto	152,35	140	12,35
Septiembre	192,71	130	62,71
Total	933,08	1 952,01	705,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Volumen mensual de lixiviados**

Mes	Volumen mensual	Área lixiviado
		profundidad 1.5m
Octubre	-424,65	-283,10
Noviembre	-813,64	-542,43
Diciembre	-777,94	-518,63
Enero	-1 311,56	-874,37
Febrero	-1 111,67	-741,11
Marzo	-1 037,13	-691,42
Abril	-1 250,61	-833,74
Mayo	-258,49	-172,32
Junio	1 164,74	776,49
Julio	29,51	19,67
Agosto	91,57	61,05
Septiembre	464,99	309,99
Total	-5 234,87	-3 489,91

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo de cálculo para el primer mes:

$$Q_m = 0,001 * -57,27 * 88\,979,52 / 12 = -424,65 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Donde 88 979,52 es igual a 500 (largo zanja anual)*4 (ancho zanja anual)* 178/4 trincheras, el total de trincheras de la vida útil del relleno sanitario se dividió dentro de cuatro para minimizar costos de construcción, mantenimiento, operación y aumentar la eficiencia de la laguna de lixiviado; por lo que se aplica el criterio de que al mes el área tributaria es igual a 88 979,52/12.

Si se asume una profundidad de 1,5 m, y se considera el volumen crítico y su respectiva área crítica igual a 776,49 m³/mensual mostrado en la tabla .XLIV;

las dimensiones de la laguna propuesta serían las siguientes: 21 metros ancho*25 metros largo*1,5 metros profundidad.

5.8.6.3. Tubería de drenaje del relleno sanitario

La red de drenaje consiste en tubos perforados que se colocan en el fondo de la trinchera bajo una capa de grava. Estos tubos deben ser colocados al fondo de la zanja, para permitir que los lixiviados se percolen al interior del tubo, para luego ser conducidos a la laguna de evapotranspiración de lixiviados.

En el relleno sanitario se propone la construcción de una laguna, la cual tendrá un tratamiento biológico facultativo, además de la evapotranspiración. Si el lixiviado no evaporado sobrara, se regará encima de la zanja ya rellena y/o en operación con la ayuda de una bomba de achique accionada con combustible.

5.8.7. Personal necesario y costos de la operación

El relleno sanitario semimecanizado requiere empleados de tiempo completo, incluyendo supervisor, operador, persona de control de plagas y cinco personas de mantenimiento. Se estima que en el 2014, el costo por tonelada de este vertedero semimecanizado será de Q.53,61.

Los costos de un relleno sanitario semimecanizado son significativamente menos que el totalmente mecanizado. Se recomienda que Jalapa empiece enterrando sus residuos sólidos en trincheras y operar un relleno sanitario semimecanizado como disposición final. Después de que todas las trincheras hayan sido cerradas y selladas, existe la opción de desarrollar un relleno

sanitario totalmente mecanizado en el mismo pedazo de tierra, usando el material sobrante de las trincheras como cubierta de celda diaria.

Tabla XLV. **Costo de equipos y personal de un relleno sanitario semimecanizado**

Relleno Semi mecanizado			
Equipo	Rentar por hora	Horas por mes	
Excavadora	Q.800,00	40	
Costo total del equipo	Q.320 000,00		
Categoría de trabajo	Número de personas	Salario/persona/día	Costo por mes
Supervisor	1	Q.192,00	Q.5 760,00
Mecánico	0	Q.192,00	Q.0,00
Mantenimiento	40	Q.96,00	Q.115 200,00
Personal de seguridad	2	Q.160,00	Q.9 600,00
Control de vectores	1	Q.160,00	Q.4 800,00
Costo total personal			Q.135 360,00
Costo total por mes			Q.55 808,00
Toneladas de residuos al mes			1 040,96
Costo por tonelada			Q.53,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Costo infraestructura relleno sanitario semimecanizado.**

Resumen de renglones de trabajo		
No.	Descripción	Monto
1	PORTÓN DE INGRESO	Q.10 000,00
2	GARITA DE CONTROL	Q.20 102,80
3	ÁREA ADMINISTRATIVA	Q.142 073,47
4	ÁREA DE SERVICIOS	Q.79 230,24

Continuación de tabla XLVI.

5	BODEGA PARA CLASIFICACIÓN DE DESECHOS	Q.185 155,29
6	URBANIZACIÓN	Q.990 372,60
7	INSTALACIONES AGUA POTABLE	Q.1 932,65
8	INSTALACIONES AGUA NEGRA	Q.26 308,51
9	TANQUE ELEVADO	Q.5 263,74
10	CONSTRUCCIÓN DE TINCHERAS PARA DISPOSICIÓN DE DESECHOS	Q.21 806 796,08
11	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUVIAL INTERIOR	Q.4 618 731,65
12	CONSTRUCCIÓN DE GALERA Y LAGUNA DE LIXIVIADOS	Q.2 322 443,78
13	CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS DE RESIDUOS PELIGROSOS	Q.325 195,00
14	CONSTRUCCION DE ACCESO SOBRE PASO DE AGUA	Q.84 060,00
15	CONSTRUCCION DE CANAL EXTERIOR	Q.174 237,00
16	MURO PERIMETRAL	Q.2 397 930,00
17	GALERA DE COMPOST	Q.231 946,20
18	HERRAMIENTAS	Q.2 440,00
19	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	Q.33 231,00
Total		Q.33 457 450,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Consolidado de acciones a implementar en el modelo de gestión integral de los residuos sólidos.**

Etapa	Acciones a implementar
Generación	Modificar patrones de compra y consumo, comprando artículos con menos empaques, o que estos sean aptos para el reciclaje.
	En las instituciones y escuelas implementar la reutilización y reducir las impresiones innecesarias.
	Emplear productos reutilizables; en vez de descartables o desechables.
	Reducir el volumen de empaques mediante el empleo de envases grandes.
	Retomar prácticas de los envases retornables de vidrio.

Continuación de tabla XLVII.

	Reducción el grado de consumo existente.
	Evitar comprar productos innecesarios.
Almacenamiento	Incentivar a los hogares de cambiar los recipientes inadecuados por contenedores apropiados como bolsas plásticas y depósitos impermeables o herméticos.
	Utilizar las bolsas que dan en los comercios, como forma alterna de almacenamiento domiciliar en hogares.
	Explicar a la población a través de publicidad (afiches, rótulos, trifolios), los efectos para la salud y ambiente de un mal almacenamiento dentro del hogar, indicando a la vez prácticas para mejorar dicha actividad.
Recolección	Implementar el sistema de campana
	Los hogares que, por razones de trabajo no pueden entregar sus residuos al momento de la recolección, deberán dejarlos en sitios fuera del alcance de los animales, de preferencia a 1,50 metros sobre el suelo o en botes herméticos que impida a vectores romper las bolsas, regando así los desechos por las calles.
	Trazar rutas de recolección con base a criterios técnicos, con el fin de maximizar los recursos.
	Para que la Municipalidad adquiera ese papel rector, deberá cambiar la forma de arreglo del servicio de los operarios privados, para que se realice una contratación de forma directa.
Transporte	Seguir adquiriendo camiones de caja cerrada para realizar la recolección, ya que son los más indicados para esta actividad, debido a que no alteran las características de los residuos.
	En los lugares de difícil acceso hacer uso de transportes de menos tamaño como ser moto camiones o carretones.
Tratamiento/ reciclaje	Construcción de la unidad de selección, clasificación y valorización de residuos en un lugar específico del relleno sanitario.
	La Municipalidad seleccionará al personal (segregadores), encargados para efectuar las actividades de separación y clasificación manual, se recomienda un número máximo de 10 personas para realizar esta actividad.
	Capacitar al personal que realizará la función de reciclaje, instruyendo que materiales son aprovechables y valorizados.
Disposición final	Construir relleno sanitario semimecanizado, con la finalidad de reducir costos en la operación y mantenimiento del mismo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Manejo actual y GIRS

Etapa GIRS	Situación actual	Modelo GIRS
Generación	La generación en el 2014 es de 37,88 toneladas.	Reducción en la fuente, a través de la disminución incremental de 5,5 por ciento anual, después del primer año, del 27,66 por ciento de los residuos aptos para esta técnica, logrando una reducción del 50 por ciento de esta fracción para el 2022.
Almacenamiento	Se utilizan recipientes como : costales, recipientes plásticos y cajas de cartón.	El volumen adecuado a utilizar en las viviendas, para un almacenamiento seguro es de 40 litros.
Recolección	La recolección es efectuada sin un método estándar aplicado (prueba y error), el cual se efectúa por medio de 4 empresas privadas.	Eliminar el déficit del 43,56 por ciento sin cobertura, a través de contratación directa del servicio de recolección privada .
Transporte	Las empresas privadas de recolección utilizan camiones de caja cerrada.	Utilizar camiones de caja cerrada para realizar la recolección.
		Hacer uso de vehículos más pequeños en sitios de difícil acceso (motocarro o carretón).
Tratamiento	No se efectúa ningún tratamiento a los residuos sólidos dentro de las viviendas.	Valorización del 66,99 por ciento, correspondiente a la fracción aprovechable.
Disposición final	Botadero a cielo abierto municipal.	Construcción de relleno sanitario, semimecanizado y un centro de reciclaje y valorización de los desechos.

Fuente: elaboración propia.

5.9. Sistema tarifario

El sistema implementado por la Municipalidad quizás no sea el más indicado, ya que existen usuarios al sistema de recolección municipal que adeudan cantidades correspondientes a diferentes meses de servicio; a fin de reducir esta morosidad, se puede implementar con éxito el cobro de los servicios a través del recibo de agua u otros servicio que presta la Municipalidad, en conjunto con mecanismos legales para el corte de los servicios si los usuarios no pagan; estas formas de pago han dado resultados exitosos en las Repúblicas de Honduras y El Salvador.

5.10. Aspectos legales relacionados directamente al manejo de los residuos sólidos

El marco legal que rige la gestión de los residuos sólidos, está sustentado en las siguientes leyes: Decreto 68-86 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Código Municipal y el Código de Salud. El Municipal en particular, delega la responsabilidad del manejo de residuos sólidos a las Municipalidades.

Para que las propuestas en las diferentes etapas de la ruta crítica del manejo de los residuos sólidos en el municipio de Jalapa, tengan el efecto esperado, es necesario contar con el respaldo legal. Establecer reglamentos y disposiciones en el sector de saneamiento es de carácter urgente, porque se carecen de ellas, las cuales son necesarias para poder brindar una salud ambiental idónea a los habitantes del municipio.

Con la implementación de estos reglamentos o disposiciones se estaría reduciendo, en gran manera, un problema que cada día crece sin control,

siendo este, la propagación de botaderos clandestinos, que con la aplicación de sanciones sustentadas con base a ley se pueden minimizar.

5.11. Aspectos institucionales relacionados directamente al manejo de los residuos sólidos

Como parte de la propuesta para mejorar la gestión de los residuos sólidos en el municipio de Jalapa, es necesario el fortalecimiento institucional de la Municipalidad, retomando de esta forma el rol establecido por el Código Municipal, donde se establece que el manejo de los residuos sólidos es responsabilidad de las municipalidades.

Con este fortalecimiento se pretende cambiar el papel que ha desarrollado la Municipalidad, pasando de un ente servidor a uno rector en materia de residuos sólidos en el municipio. Una de las implementaciones para lograr este cambio es dar en carácter de franquicia a las empresas privadas la recolección de los residuos en aquellas zonas que no hay coberturas, seleccionando las que represente más beneficiosa para la población.

También, para lograr este fortalecimiento es necesario la contratación de un experto en la materia, el cual planificará y ejecutará las acciones que mejor se adapten al manejo de los residuos sólidos. Capacitado técnicamente y en salud ocupacional a los trabajadores, en todos los niveles.

5.12. Educación sanitaria

Los cambios sustanciales en cualquier aspecto de la vida están relacionados directamente a un fuerte componente educacional, para lograr las mejoras establecidas en el manejo de los residuos sólidos.

La educación sobre los residuos sólidos debe empezar con los conceptos básicos y necesidades del manejo de residuos sólidos y se debe explicar claramente, cómo la comunidad puede participar. Desde luego, hay que motivar efectivamente a la comunidad para que tenga el deseo de cambiar su actitud en relación con el manejo de residuos sólidos. Para que esta educación sea efectiva es necesario desarrollar un programa planificado de educación. Se pueden identificar diferentes estrategias de acuerdo al tipo de audiencia (dueños de casas y de negocios, jóvenes, niños), según el nivel de educación de la comunidad y tipo de información que se requiera dar. El aspecto cultural, las costumbres y los credos de los grupos a los que se quiere educar deberán ser tomados en cuenta al emprender campañas de educación.

Estos cambios serán posibles si se realizan las siguientes acciones:

- Implementar en las clases de educación ambiental de las escuelas y colegios, el manejo adecuado de los residuos sólidos, indicando su importancia en la comunidad, para que estos sean un efecto multiplicador en sus hogares.
- Explicar a la población en general, las actividades de reciclaje y de reducción en la fuente a través de divulgación escrita, radial y televisiva.
- Concientizar a la población en general, de los problemas a la salud y al ambiente que se generan por un mal manejo de los residuos sólidos, esto se realizará a través de divulgación escrita, radial y televisiva.
- Colocar información referente al manejo de los residuos sólidos en sitios concurridos por la comunidad (tiendas, supermercados, mercados farmacias y transportes).

- Establecer programas de colonias limpias, premiando de forma mensual a la que se adapta más a este modelo, publicándolas en todo el municipio con el fin que incite a la población a mejorar.

5.13. Líneas priorizadas

Las líneas de acción y aspectos priorizados, respecto al manejo de residuos sólidos hacia un desarrollo local ambientalmente sostenible, son las siguientes:

5.13.1. Institucionalización y organización

La problemática de residuos sólidos y su manejo implica el compromiso y la decisión política de la autoridad edil, que coloca el tema en la agenda municipal y lo prioriza, facilitando su institucionalización y organización social.

Las municipalidades comprometidas con el manejo de residuos sólidos favorecen:

- La creación de una instancia específica en la estructura organizativa municipal, gerencia o subgerencia de residuos sólidos con capacidad técnica, directiva, administrativa y financiera.
- La implementación del Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos, con el diseño y ejecución de proyectos contextualizados, a partir de diagnósticos participativos.
- La emisión y control de la aplicación de ordenanzas para el manejo de residuos sólidos.
- El fortalecimiento y desarrollo de capacidades en los profesionales, técnicos, o agentes comunitarios para zonas rurales.

- La formación de comités multisectoriales y/o consejos locales en el manejo adecuado de residuos sólidos.
- La captación de financiamiento de fuentes cooperantes para proyectos de:
 - Desarrollo de capacidades.
 - Equipamiento e implementación de plantas de tratamiento para reciclaje, y rellenos sanitarios.
 - Fortalecimiento de redes.
 - Desarrollo de investigaciones.
- La integración de distritos aledaños para proyectos conjuntos de implementación de plantas de tratamiento y reciclaje, como de rellenos sanitarios.
- La implementación de un sistema de incorporación y capacitación de los segregadores informales.

5.13.2. Participación social y empoderamiento comunitario

Es tarea de las municipalidades incentivar la responsabilidad social de las instituciones, organizaciones y vecinos(as). Esta participación debe ser informada y activa, y darse en todo el ciclo del manejo de residuos sólidos. Para esto, las municipalidades deben facilitar la información y herramientas pertinentes.

Para que la población participe y se empodere en el manejo adecuado de residuos sólidos, las municipalidades deben favorecer los siguientes aspectos:

- Dinámica y organización social de la comunidad, fortaleciendo los liderazgos locales.

- Identificación de la problemática local de residuos sólidos en diagnósticos ambientales participativos.
- Participación en todas las etapas de los proyectos.
- Capacitación de promotores ambientales comunitarios.
- Formación de comités de limpieza y vigilancia ciudadana de los servicios.
- Campañas de barrido y limpieza de calles.
- Formación de ecoclubes para la mejora de la calidad de vida, según principios ecológicos, reciclaje y comercialización de residuos sólidos.
- Elaboración de proyectos productivos comunitarios autogestionarios.
- Formación de microempresas de servicios de manejo de residuos sólidos.
- Realización de concursos y ecoferias con grupos que trabajan con materiales reciclados.

5.13.3. Investigación

La producción de conocimientos respecto al manejo de residuos sólidos aún es escasa en el país; no hay estudios sobre el tema, ni sobre su impacto en la salud.

Las municipalidades pueden favorecer el impulso de la investigación:

- Estableciendo alianzas con universidades y organizaciones no gubernamentales para el desarrollo de investigaciones.
- Fomentando investigaciones universitarias que contribuyan a generar conocimiento en el sector acerca de:
 - La problemática de residuos sólidos, según las condiciones económicas, políticas y sociales de las localidades que oriente el diseño de programas y proyectos contextualizados.

- Los beneficios del manejo adecuado de residuos sólidos, que estimule y fomente iniciativas empresariales en la comunidad.
- Difundiendo y socializando la información producida para construir conocimiento sobre el tema.
- Aplicando el conocimiento producido en la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar la intervención.

6. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RELLENO SANITARIO SEMIMECANIZADO

El relleno debe tener un plan de operación con una secuencia de llenado definida durante las diferentes fases de la vida útil del sitio (Bolton, 1995). Este plan sirve para optimizar la operación para que sea la más económica. El plan también debería ser revisado anualmente, en el caso que las cantidades y características de los desechos llegando al relleno hayan cambiado y como resultado, la operación necesitaría un ajustamiento.

Es obvio que cualquier relleno fracasará si no existe el personal capacitado para su operación adecuada. Para efectuar las labores de operación de una manera eficiente se deben incluir los costos, el desarrollo de tarifas apropiadas para cubrir los gastos y, por supuesto, contratar al personal calificado.

Todos los rellenos requieren un ingeniero supervisor de tiempo parcial con capacitación en la operación de rellenos manuales o semimecanizados. La responsabilidad de este ingeniero es supervisar la operación entera, analizar todos los datos de operación para mejorar su eficiencia, contratar personal, capacitar u organizar la capacitación de personal contratado, contratar especialistas cuando sea necesario y seleccionar maquinaria.

Todos los rellenos, también requieren un encargado de tiempo completo capaz de inspeccionar y pesar las cargas (o medir el volumen si no hay báscula), registrar todos los datos recolectados en el archivo de operación, y responsable para tomar las decisiones necesarias en la operación de rutina del

relleno. El encargado necesita capacitación en la operación de rellenos y experiencia en construcción.

Los trabajadores y los operadores de equipo 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.

Esta instalación requiere de dos guardianes de tiempo completo, para que personas no autorizadas o animales domésticos o silvestres no entren el sitio.

Finalmente se contratarán especialistas cuando sea necesario para obras específicas, como construcción de vías internas o canaletas para el escurrimiento, o trabajos específicos como muestreos de lixiviados o biogás.

Tabla XLIX. **Actividades recomendadas en la operación de rellenos sanitarios**

Actividad	Frecuencia	Observaciones
Control de operación Plan de operaciones y llenado del relleno	Cuando sea necesario	Desarrollado para optimizar la operación a corto y a largo plazo.
Personal requerido	Cuando sea necesario	Incluyen: supervisor, inspector, marcador, trabajador, y operador de equipo.
Capacitación de personal	Anual o cuando sea necesario	Capacitación en la operación

Continuación de tabla XLIX.

Caseta de control		
Medición por peso o volumen	Diario	Medición de desechos por peso con báscula o por volumen con cinta de medida.
Revisión de carga para desechos peligrosos o residuos sólidos	Diario	La revisión ocurre cuando se entra el camión (carga) y cuando se descargan los desechos.
Especiales		Una factura de peso, cobro, y certificado que la carga contiene o no desechos peligrosos o residuales sólidos especiales.
Certificado de desechos y facturación	Diario	
Archivos de operación	Diario	Tonelaje de RSM, cantidades de desechos peligrosos y residuos sólidos especiales, establecimiento de tarifas, historia de mantenimiento de equipo, costos de combustible, materiales.
Descarga de desechos	Diario	Los camiones cargadores están dirigidos a la zona de descarga de la celda diaria por un marcador.
Operación de la celda diaria		
Método de Trinchera:	Mensual o cuando sea necesario	Excavar con una excavadora con operador capacitado.
Excavación de trinchera	Mensual o cuando sea necesario	Apropiada a las dimensiones de la trinchera.
Construcción de zanjas para lixiviados y chimeneas para biogás	Diario	Sacar desechos peligrosos o residuos sólidos especiales.

Continuación de tabla XLIX.

Operación de la celda diaria		
Descarga de desechos	Diario	Se cubre con la materia de la excavación de la próxima trinchera.
Aplicación de cobertura diaria	Mensual o cuando sea necesario	Excavar y llevar con operadores capacitados.
Aplicación de cobertura diaria		Sacar desechos peligrosos o residuos sólidos especiales.
Método de área:		
Excavación y llevado de cobertura	Cuando sea necesario Diario	Esparcir y compactar los desechos en capas con espesor < 0,6m.
Descarga de desechos	Diario	Apropiadas a las dimensiones de las celdas o los niveles.
Compactación de desechos	Cuando sea necesario o	Aplicar y compactar un espesor de 0,3 metros para obtener un espesor final de 0,15 metros.
Construcción de zanjias para lixiviados y chimeneas para biogás	Diario	
Aplicación y compactación de cobertura		
Operación y mantenimiento de rutina		
Llevado de desechos peligrosos o RSE o almacenamiento	Diario o cuando sea necesario	Si se aceptan o se encuentran desechos peligrosos o RSE, se les lleva a la zona de almacenamiento designada para dichos desechos.

Continuación de tabla XLIX.

<p>Operación y mantenimiento de rutina</p> <p>Construcción y mantenimiento de vías internas</p> <p>Construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje de escurrimiento</p> <p>Disposición final de desechos peligrosos o RSE</p>	<p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p>	<p>Construido de suelo o grava con drenaje adecuado.</p> <p>Construcción de pendientes y canaletas temporáneas apropiados al sitio; limpieza de canales y la laguna de sedimentación.</p> <p>Los desechos están llevados a otro sitio adecuado o enterrado <i>in situ</i> en un lugar específico para ellos.</p>
<p>Control ambiental</p> <p>Desechos dispersos</p> <p>Polvo</p> <p>Malos olores</p> <p>Vectores domésticos y silvestres</p> <p>Erosión</p> <p>Lodos</p>	<p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario.</p>	<p>Colocación de cercos especiales para desechos dispersos volantes.</p> <p>Recoge de desechos dispersos.</p> <p>Aplicación de agua de camiones cuando sea necesario.</p> <p>Compactación de desechos y cobertura; quema de biogás.</p> <p>Uso de cercos y cobertura adecuada; uso de venenos o trampas.</p> <p>Desvío apropiado de escurrimiento; siembras de vegetación.</p>

Continuación de tabla XLIX.

<p>Control ambiental</p> <p>Incendios</p> <p>Biogás</p> <p>Lixiviados</p>	<p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p>	<p>Almacenamiento de material para la época lluviosa; mallas especiales para vías artificiales.</p> <p>Se extingue con agua o cobertura adecuada.</p> <p>Colocación de chimeneas para ventilación.</p> <p>Sistema de recolección, tratamiento y descarga o disposición final</p>
<p>Monitoreo ambiental</p> <p>Lixiviados</p> <p>Biogás</p>	<p>Cuando sea necesario</p> <p>Cuando sea necesario</p>	<p>Muestreo de agua subterránea en pozos de monitoreo abajo el relleno.</p> <p>Muestreo de metano en los límites del relleno.</p>

Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.192.

El encargado del relleno llevará el registro de las actividades relacionadas en él, entre las cuales se tienen:

- Fecha y hora del volumen de desechos sólidos ingresados, los llevados a la bodega de reciclaje y a la galera de compost. Avance alcanzado en el

relleno de desechos comunes, longitud de zanja rellenada y faltante de rellenar.

- Para los desechos peligrosos, el avance alcanzado y el volumen pendiente de rellenar.
- El registro de los materiales colocados en la bodega de reciclaje y en la de compost.
- Controlar y registrar el volumen de lixiviados situados en la laguna y su disposición.
- Dirigir a los acomodadores de desechos en las actividades bajo su responsabilidad y supervisar que las ejecuten adecuadamente.
- Establecer los requerimientos de materiales y equipo que se necesiten semestralmente, para el buen funcionamiento del relleno. Realizar las actividades que le asigne su jefe inmediato, relacionado con el relleno.
- Informar inmediatamente de cualquier situación que se presente y que pueda afectar el desarrollo de las operaciones en el relleno.
- Presentar a su jefe inmediato un informe semanal de las actividades desarrolladas.

6.1.1. Seguridad y salud ocupacional

Un programa de seguridad y salud ocupacional es fundamental en la operación apropiada de un relleno sanitario. Todo el personal debería 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. También, el relleno debería tener un programa médico que incluye la administración de vacunas (para el tétanos), y chequeos médicos para todo el personal una vez por año. Finalmente, deberían mantener equipo de protección para la seguridad del trabajo, por ejemplo:

- 3 palas punta cuadrada
- 3 pisones de mano
- 3 piochas
- 3rastrillos
- 3 carretillas de mano llantas neumáticas
- 4 pares de guantes
- 4 pares de botas
- 4 uniformes
- 1 rodillo compactador
- Caseta de control

La caseta de control es el corazón de la operación del relleno. Aquí se controla lo que entra en el relleno; se pesa los camiones con una báscula o se mide el volumen con cinta métrica; se revisan las cargas para desechos peligrosos o residuos sólidos especiales; se monitorea los camiones descargadores; se registran todos los datos en los archivos de operación y se dirigen los camiones a la zona de descarga. Además, la caseta sirve como almacenaje de herramientas, ropa, y 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.

Asimismo es necesaria la revisión de camiones en búsqueda de desechos sólidos peligrosos o residuos sólidos especiales. Esta es necesaria para clasificar y cuantificar los desechos que llegan al relleno para poder plantear una solución a largo plazo. La administración del relleno tiene que decidir si aceptará desechos peligrosos o residuos sólidos especiales, y si los acepta, se dispondrán de obras especiales para su manejo, tratamiento y disposición final.

El monitoreo de los desechos descargados es fundamental en establecer los costos mensuales y anuales que se llevan a cabo en el relleno. Para los desechos peligrosos o residuos sólidos especiales encontrados, también son necesarios su monitoreo, la carga para costear las obras especiales a realizar que son hermeticas. Toda la información registrada diariamente tiene que ser registrada en los archivos de operación, para que se pueda calcular el tonelaje de desechos diarios, mensuales y anuales; las cantidades y características de desechos peligrosos y residuos sólidos especiales almacenados; establecimiento de tarifas; historia de mantenimiento de equipo; y costos de materiales utilizados en la operación del relleno.

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. El personal operativo debe utilizar el equipo de protección y los utensilios de trabajo recomendados.

Figura 23. Boleta para el registro diario de desechos

Fecha: _____ Persona Encargada: _____

Firma: _____

Hora	Placa de Camión	Tipo de Camión	Tipo de Desechos	Peso Bruto kg	Peso Camión kg	Peso Neto de Desechos kg
				Total Diario, kg:		
				Total Diario, toneladas:		

Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.214.

Figura 24. **Boleta para la revisión de camiones con desechos sólidos peligrosos y residuos sólidos especiales**

Fecha: _____ Hora: _____

Descripción de Camión Descargador: _____

Número de Placa: _____

Se Encontraron los Sigüientes Desechos Peligrosos o Residuos Sólidos Especiales:

Descripción de Material	Tipo de Contenedor (Barril, etc.)	Cantidad por Peso o Volumen (kg o m ³)	Lugar de Disposición Final	Persona Encargada de Ubicación

Comentario: _____

Nombre de Persona Encargada de Revisión: _____

Firma: _____

Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.215.

Figura 25. **Boleta para el registro y monitoreo de desechos descargados**

Nombre de Relleno Sanitario: _____

Fecha: _____

Hora de Entrada: _____ Hora de Salida: _____

Tipo de Camión: _____ Placa: _____

Descripción de Desechos: _____

Desechos Peligrosos Encontrados: _____

Residuos Sólidos Especiales Encontrados: _____

Peso Bruto, kg	
Peso de Camión, kg	
Peso de Desechos, kg	
Volumen de Desechos, m ³ (Si no hay báscula)	
Tarifa	
Ajustamiento: Desechos Peligrosos	
Ajustamiento: Residuos Sólidos Especiales	
Cantidad a Pagar	

Nombre de Conductor: _____

Firma: _____

Nombre de Persona Encargada del Relleno: _____

Firma: _____

Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.216.

6.1.2. Recolección, acomodo, compactación y enterramiento de los desechos

La recolección y transporte de los desechos comunes se hará por medio de camión pequeño, con capacidad para llevar 15 metros cúbicos de desechos, o los que resulten de la producción diaria, para ser transportados 3 veces por semana. La prestación de este servicio se estará organizando por medio de una cooperativa.

En la garita de control del relleno, al ingresar el camión recolector hacer el registro, anotando la fecha, hora y el nombre del piloto del vehículo. La recolección y transporte se hará 3 veces a la semana, pudiendo hacerse el lunes, miércoles y viernes.

Una vez el vehículo ingrese, será llevado al área de descarga, donde los ayudantes del camión y personal del relleno estarán vaciándolo y luego haciendo la separación de los desechos, de la manera siguiente: los desechos biodegradables de restos de comida y material putrescible se separará, formando 1 metros cúbicos de los mismos y llevados a la bodega de compost. Los materiales inertes como plástico, papel, metales y otros; se llevarán al área de reciclaje. El resto de desechos se estarán enterrando en la trinchera respectiva.

El acomodo, compactación y enterramiento de los desechos se hará cuidando de no dañar los elementos que están dentro de la zanja, como la geomembrana, la tubería de lixiviados y demás elementos que la componen, haciéndolo de la forma siguiente:

Los acomodadores de desechos los colocarán dentro de la trinchera construida, en capas de aproximadamente 0,30 centímetros de alto, compactándolos bien con el apisonador de mano, de manera que se reduzca la altura alcanzada a la mitad, luego se colocará otra capa de desechos, continuando con la compactación hasta llegar a los 0,50 centímetros de alto. Luego se aplicará 1 capa de material sacado de la zanja (limoso arenoso) de 20 centímetros de espesor y se le pasará el rodillo manual por un mínimo de 6 pasadas, de tal manera que queden bien compactados los desechos. Se continuará con la aplicación de otros 30 centímetros de desechos, compactándolos con el apisonador manual, hasta completar el total de desechos transportados, colocando la capa de 20 centímetros de arcilla, pasándole el rodillo manual y luego, la última capa de 30 centímetros de suelo natural, hasta completar la altura de la trinchera; pasándole nuevamente el rodillo para que quede bien compactado todo el material; con lo cual se estará completando la actividad de ese día. Se tiene que tener cuidado que, la trinchera quede completamente cubierta y compactada con el material señalado. Se estará cubriendo el tramo relleno con el plástico negro para que no penetre la lluvia.

Para los desechos que llegan la siguiente vez, se procede de la misma forma, quitando la armadura metálica y el plástico negro que cubre la zanja, colocando los desechos en capas bien compactadas hasta rellenar completamente la trinchera. Se continúa el relleno de la misma forma, avanzando dentro de la trinchera.

6.1.3. Operación y mantenimiento de rutina

Luego de, aproximadamente, 8 meses de operación y 30 metros antes de terminar de rellenar la zanja de la primera celda, se procederá a la apertura de

la segunda celda y a la construcción de los elementos que la conforman, así como las chimeneas de biogás que se construyeron en la primera zanja. Las chimeneas se construirán a cada 25 metros de espaciamiento.

En la laguna de lixiviados se estará controlando la altura de los mismos, y se aplicará 0,25 kilogramos de cal mensualmente, para neutralizar el ácido, con el objeto que se produzca la decantación de elementos dentro de la misma. Mensualmente se estarán extrayendo los excedentes de lixiviados por bombeo, o en forma manual, por medio de cubetas de 5 galones y se colocarán en tonel plástico de 40 galones, que será llevado a la zanja rellena, donde se estarán regando. Los sedimentos o lodos que queden en la laguna (0,5 kg al mes), se estarán colocando dentro de la zanja del relleno sanitario.

Los materiales inorgánicos que tienen un valor comercial se colocarán en el compartimiento correspondiente de la bodega de materiales, se colocarán ordenadamente y se compactarán para reducir su volumen. Se estará controlando el volumen.

Para el compost se estará formando la pila con los desechos orgánicos, que son llevados 3 veces por semana, hasta completar 4 metros cúbicos, que corresponde a 1 quincena. Para tener una buena aireación y que el proceso de descomposición se realice efectivamente, se hará el volteo de los desechos, 2 veces por semana. A los 3 meses de duración, el compost estará listo y se llevará a la máquina de tamizado, extrayendo los plásticos y otros materiales, que no forman el compost, los que serán depositados en el relleno. El compost será puesto en sacos para su comercialización o bien será aplicado en las plantas existentes en el área.

Se revisarán mensualmente los drenajes y cajas de registro de agua de lluvia y de lixiviados, para establecer su funcionamiento y no se tengan taponamientos.

Una vez a la semana se llenará el depósito elevado de agua por medio de camión cisterna, cuidando que quede tapado. Se controlará que el servicio de agua funcione bien y que se haga buen uso del mismo.

Una vez al año se limpiará la fosa séptica, contratando a una empresa especializada en este servicio que esté autorizada por el MARN y el MSPAS.

Para el monitoreo y control de los parámetros ambientales se determinarán anualmente las características físico-químicas del compost y cada 6 meses la DBO y DQO del agua subterránea en el pozo de observación del relleno.

6.1.4. Control ambiental

El control ambiental es parte de la operación de rutina del relleno que protege el medio ambiente dentro y fuera del sitio, monitoreando y controlándolos. El control ambiental incluye el de desechos dispersos, polvo, malos olores, vectores, erosión, lodos, incendios, biogás y lixiviados.

Los desechos dispersos incluyen los volantes llevados por el viento, y los que caen de los camiones cargadores. El control de los desechos dispersos es importante para evitar atracción de vectores, producción de malos olores, y la deterioración de la vista estética del relleno. Se controlan los desechos dispersos por su recolección diaria y enterramiento en la celda diaria al fin del día. Para acumular los desechos volantes y hacer su recoga más fácil, los

rellenos más grandes colocan en lugares estratégicos cercos de vientos, con malla orientados abajo de la dirección del viento dominante.

El mejor método para controlar el polvo generado por los camiones es la aplicación de agua; también se puede controlar el polvo con la aplicación de aceites o químicos especiales que se utilizan en proyectos de construcción, como cloruro de magnesio o calcio, o sulfonato de lignina (Bolton, 1995). También se puede controlar la producción de polvo por la velocidad máxima que se permite en las vías internas, y en el uso de vías de grava u otro material duro.

Los malos olores generados en un relleno pueden provenir de los desechos que entran, los desechos depositados, y el biogás. Si algunas cargas de los desechos que entran el relleno tienen malos olores que causarán problemas, se puede ajustar la operación para compactar y cubrir estos desechos tan pronto como entren al sitio. Si los malos olores provienen de los desechos depositados, el problema queda en la integridad de la cobertura; con una adecuada, y buena compactación en rellenos mecanizados, los desechos depositados no tendrán malos olores que salen por la superficie. Si hay malos olores por el biogás producido *in situ*, se pueden controlar por la quema de gas en las chimeneas cuando sea necesario; en este caso las chimeneas necesitarán que la última sección sea no perforado con una caperuza metálica.

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 de el uso diario de cobertura. Si en algún caso hay un problema con roedores que hacen madrigueras en las terrazas del relleno, se debe controlar con venenos o trampas. El control de erosión, como un control ambiental y no como una operación de rutina de construcción de canaletas, se

hace por la siembra de vegetación, especialmente en los taludes del relleno. La vegetación sembrada debe tener las siguientes características:

- Plantas locales resistentes a la sequía.
- Plantas que produce una estructura fuerte de raíces que no penetren por la capa de cobertura (como pasto).
- Plantas resistentes a los biogases y suelos con bajo pH.
- Plantas que sobreviven en suelos bajos en nutrientes.

El control de lodo es importante durante la época lluviosa; si existe mucho por la lluvia, los camiones entrando al relleno pueden dañar las vías internas hasta que no puedan pasar. Se controla el lodo por el almacenamiento de material seco, que puede estar cubierto con un techo de plástico, que se utiliza solamente durante la lluvia para controlar los problemas de lodo. El material almacenado puede ser suelo para la cobertura o para llenar depresiones, y grava para aplicar en las vías.

Finalmente se puede utilizar mallas, de geotextiles como vías artificiales, que se coloca encima de las vías en zonas donde se forma lodo.

De vez en cuando hay incendios en rellenos causados por la autocombustión de los desechos. Hay dos tipos de incendios superficiales: causados por los desechos no cubiertos con cobertura; y subsuperficiales; causados por los desechos depositados y cubiertos con capas de cobertura. Se extinguen los superficiales con agua, extintores químicos (que deben estar guardados en la caseta de control), o una cobertura de suelo. Para extinguir los subsuperficiales, la fuente de oxígeno tiene que ser eliminada. El oxígeno entra el subsuelo por falta de cobertura adecuada, o por fracturas en la cobertura.

Se controla el biogás por su ventilación a través de las chimeneas. El número y colocación de chimeneas tienen que ser suficientes para que el biogás no migre en el subsuelo fuera del relleno. Se determina si la ventilación es suficiente por el monitoreo de metano discutido abajo.

Si se determina que la ventilación no es suficiente y el metano está migrando lateralmente, el método de control es la instalación de más chimeneas.

Finalmente, en los rellenos más grandes se controlan los lixiviados producidos, después de tomar todas las medidas de minimizar la producción de ellos, discutidos anteriormente; por el sistema de recolección seguida por una laguna de evaporación. Durante la época lluviosa, si es necesario, la laguna puede funcionar como una laguna de tratamiento de flujo continuo, con una descarga a agua superficial abajo del relleno.

6.1.5. Monitoreo ambiental

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. También se debe 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. El metano es inflamable y explosivo en concentraciones entre 5—15 por ciento por volumen en aire. La administración del relleno tendría que contratar personal calificado para el muestreo y también, laboratorios certificados para los análisis.

Tabla L. **Monitoreo ambiental**

Razón de monitoreo	Lugar de monitoreo	Frecuencia	Constituyentes analizados
Contaminación de agua subterránea o superficial con lixiviados	Pozos de monitoreo de agua subterránea en los alrededores del relleno	Anual o cuando sea necesario	DBO DQO Sólidos Disueltos pH Alcalinidad Cloruro Sulfato Manganeso Sodio Hierro Coliformes Fecales Metales Pesados ¹ Químicos Orgánicos volátiles ¹
Migración de biogás con peligro de explosiones o incendios	Los límites del relleno en pozos construidos, específicamente, para el monitoreo de biogás	Anual o cuando sea necesario	Metano ²

Fuente: OAKLEY, *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. p.104.

6.1.6. Medidas higiénicas y de seguridad

El relleno debe contar siempre con una fuente de agua limpia, jabón y cloro. Es aconsejable utilizar toallas desechables de papel para evitar que, debido a la necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela, estas

permanezcan demasiado tiempo sin lavar y pueden servir como un foco de infección.

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, y 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, deben lavarse las manos con agua limpia y jabón. Si se hace alguna comida en el recinto de la instalación, se debe designar un área para ese fin, y 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 desechos contaminados. Lo más recomendable es no comer cerca de desechos depositados o almacenados.

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 haya producido.

El sitio debe disponer de electricidad, y el trabajador, ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, deberá asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén siempre secos.

La entrada del sitio debe mantenerse cerrada cuando está fuera de operación. Es importante recordar sobre 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

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Premuestreo

El objetivo fundamental durante las labores de premuestreo fue obtener un valor inicial de la PPC para estimar el tamaño de la muestra. El valor encontrado fue de 0,42 kilogramos/persona-día.

7.2. Producción per cápita (ppc)

La producción de residuos sólidos domiciliarios por habitante (PPC) en el municipio de Jalapa, muestreándose un máximo de 169 viviendas fue de 0,66 kilogramo/persona – día, valor que es elevado para la región, ver tabla LI.

Los factores que podrían influir directamente en la elevada tasa de producción de residuos sólidos en el municipio son:

- Existe un alto grado de consumismo en los últimos años, derivado del alto nivel de desarrollo que experimenta el municipio, lo cual se traduce en una mayor generación de residuos sólidos.
- Es posible que durante el proceso de caracterización, se haya presentado una modificación en los patrones habituales en cuanto a la generación de residuos, aprovechando las personas la recolección diaria para disponer aquellos materiales que ya no les representaban ninguna utilidad.

Tabla LI. Valores de PPC para diferentes ciudades

Ciudad de estudio	PPC (kg/persona-día)
San Lucas Sacatepéquez, Guatemala ¹	0,45
Zacamil, El Salvador ²	0,50
Coatepeque, Guatemala ³	0,51
Ciudad de Guatemala ²	0,54
San Salvador ²	0,54
Managua ²	0,60
Tegucigalpa ²	0,65
Santa Cruz del Quiché, Guatemala ⁴	0,70
Santa Catarina Pínula, Guatemala ⁵	0,83
Belice ⁶	0,93
PROARCA/2003 ⁷	0,3 – 1,4
Jalapa, Guatemala ⁸	0,66

1. DOMÍNGUEZ, et al., 1996. *Manejo integral de desechos sólidos San Lucas Sacatepéquez*. p.59.
2. GUIDO ACURIO; et al., 1998. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe*. p.48.
3. GILROY LEWIS, et al., 2005. *Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*. p.142.
4. Diseño de un sistema de operación y de disposición final sanitariamente segura de los residuos y desechos sólidos municipales de la ciudad de Santa Cruz del Quiché, Guatemala. p.58.
5. RAUDALES, et al., 2012 *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*. p.124.
6. Solid Waste Management Project, Profile II, 2002
7. BROWN, et al., *Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales enfoque Centroamérica*; AIDIS, CARE El Salvador, PROARCA/SIGMA, 2003.

Fuente: elaboración propia.

7.3. Variación de la PPC durante los días de estudio

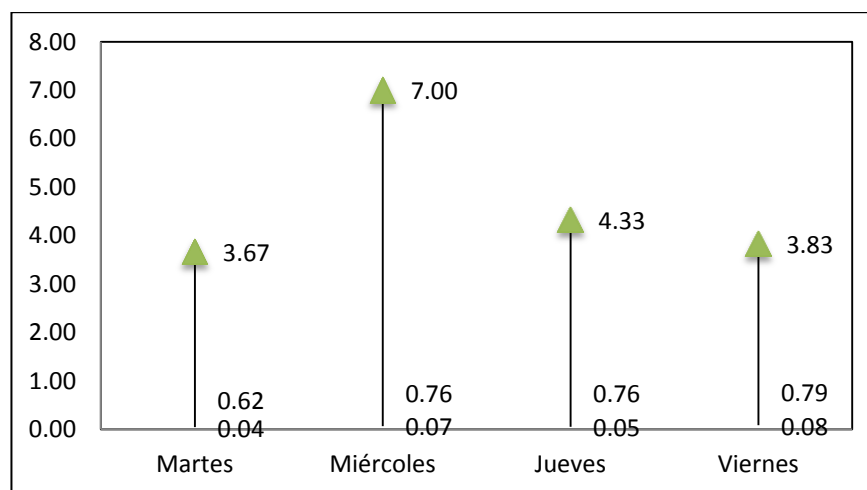
Las variaciones en la producción per cápita diaria se ven reflejadas en la tabla LII. Puede observarse que los valores medios son bastante similares, encontrándose los mismos dentro del rango promedio para la PPC, el cual fue de 0,66 kilogramos/persona-día.

Tabla LII. Variación de la PPC durante el estudio de caracterización

Día	PPC (Kg/persona-día)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Martes	0,04	0,62	3,67
Miércoles	0,07	0,76	7,00
Jueves	0,05	0,76	4,33
Viernes	0,08	0,79	3,83

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Variación de la PPC durante el estudio de caracterización



Fuente: elaboración propia.

7.4. Composición de los residuos sólidos domiciliarios

La composición de los residuos sólidos obtenidos durante la caracterización, en relación con los diferentes estudios realizados en la región de América Latina y el Caribe se ilustra en la tabla LIII.

- El porcentaje de restos de comida (materia orgánica) es relativamente similar al de la región, con excepción del valor obtenido en el estudio realizado en San Lucas Sacatepéquez, Guatemala, donde la composición es del 57,82 por ciento.
- Se encontró que el 66,99 por ciento de los materiales que componen los residuos sólidos de Jalapa, pueden ser reaprovechados mediante técnicas adecuadas de reciclaje o valorización.

Tabla LIII. **Comparación de la composición de los residuos sólidos domiciliarios urbanos de Jalapa y otras ciudades de la región**

Categorías	% Jalapa	% Santa Catarina Pínula ¹	% Coatepeque ²	% San Lucas Sacatepéquez ³	Composición región ⁴
Papel y cartón	11,20	7,06	14,71	5,50	13,90
Plástico	10,06	6,56	14,31	3,53	8,10
Pet	1,83	1,68	N/D	N/D	N/D
Restos de comida	34,76	57,82	54,24	85,69	63,30
Metales	2,74	1,17	1,17	1,51	1,80
Duroport	1,83	0,47	N/D	N/D	N/D
Textiles y hule	14,94	6,36	3,53	1,54	3,60
Vidrio	4,27	2,40	2,06	2,23	3,20
Papel higiénico y pañales	18,37	15,90	6,04	N/D	N/D
Madera	0	0,57	N/D	N/D	N/D
Otros e inertes	0	N/D	3,94	N/D	6,10
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

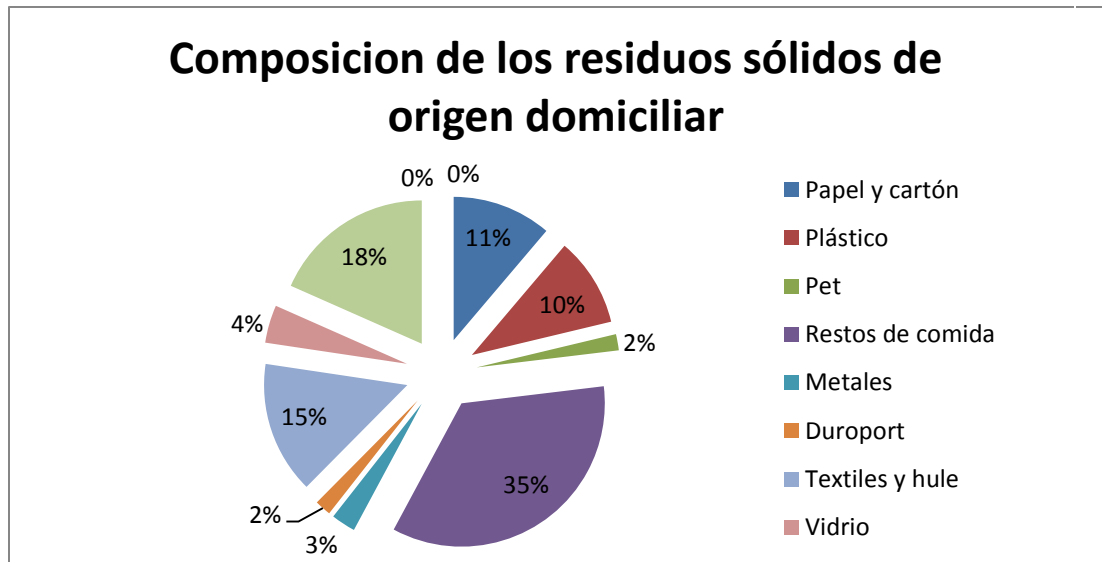
Continuación de tabla LIII.

1. Grádiz Marvin; Raudales Rommel, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*, p. 129.
2. GILROY LEWIS; et al., 2005. Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque, p.76.
3. VICCELDA, et al., 1996. Manejo de desechos sólidos San Lucas Sacatepéquez, p.47.
4. GUIDO ACURIO, et al., 1,998. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe, p.45.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 27 se observa la distribución de la composición promedio de los residuos sólidos de origen domiciliario en el municipio de Jalapa, véase que el mayor porcentaje corresponde a la fracción de materia orgánica proveniente de restos de comida, seguida del papel y cartón.

Figura 27. **Gráfico de composición promedio de los residuos sólidos domiciliarios en Jalapa**



Fuente: elaboración propia.

7.5. Composición de los residuos sólidos institucionales

Los resultados obtenidos en la caracterización de los residuos sólidos de origen institucional se comparan con las investigaciones realizadas en los municipios de Coatepeque y Santa Catarina Pinula, ver tabla LIV.

Tabla LIV. Comparación residuos sólidos institucionales

Categorías	% Jalapa	% Santa Catarina Pinula ¹	% Coatepeque ²
Papel y cartón	26,51	33,24	33,66
Plástico	7,69	9,02	25,85
Pet	7,69	3,38	N/D
Restos de comida	42,18	43,38	31,71
Metales	1,51	0,56	2,44
Duroport	2,98	3,38	N/D
Textiles y hule	0,00	0,56	N/D
Papel higiénico y pañales	9,94	6,20	6,34
Vidrio	1,51	0,28	N/D
Madera	0,00	0,00	N/D
Total	100,00	100,00	100,00

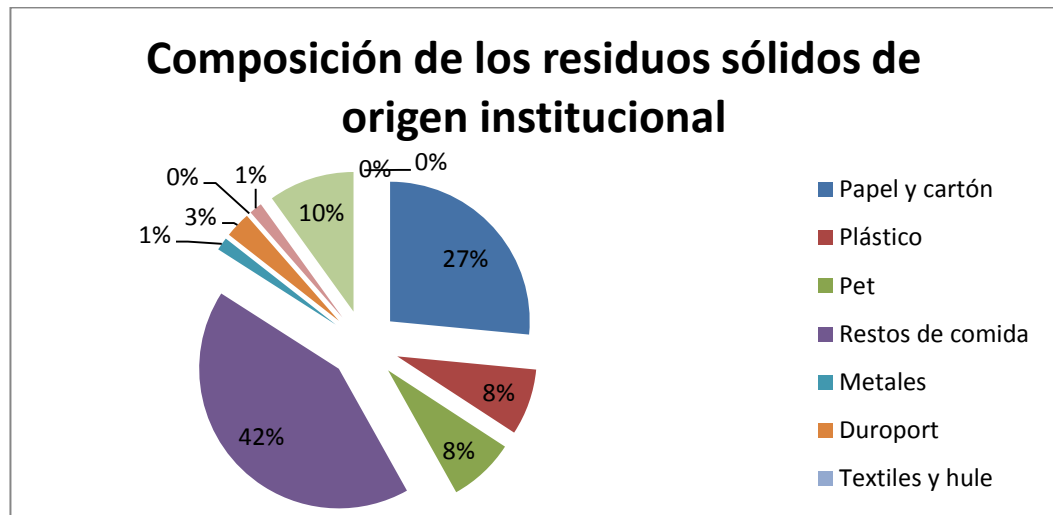
1. Marvin Grádiz; Rommel Raudales, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*. p.65.
2. GILROY LEWIS; et al., 2005. *Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*. p.48.

Fuente: elaboración propia.

Analizando los datos obtenidos en la tabla LIV, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El porcentaje de la materia orgánica (restos de comida) de los residuos sólidos institucionales es mayor debido a la cantidad de personas que laboran en las instituciones y los hábitos de refaccionar en la mañana y en la tarde, como también personas que realizan su hora de almuerzo en la institución.
- La categoría altamente reutilizable en los residuos institucionales, la constituyen el cartón y papel, comparando este valor con el obtenido en Coatepeque y Santa Catarina Pinula se puede observar que es un poco menor, esto debido a que la generación no es tan alta como en los otros municipios.

Figura 28. **Composición de los residuos sólidos institucionales en Jalapa**



Fuente: elaboración propia.

7.6. **Composición residuos sólidos comerciales**

En el análisis de los residuos sólidos comerciales realizados en Jalapa, se obtuvieron los siguientes valores, los cuales se detallan en la tabla LV.

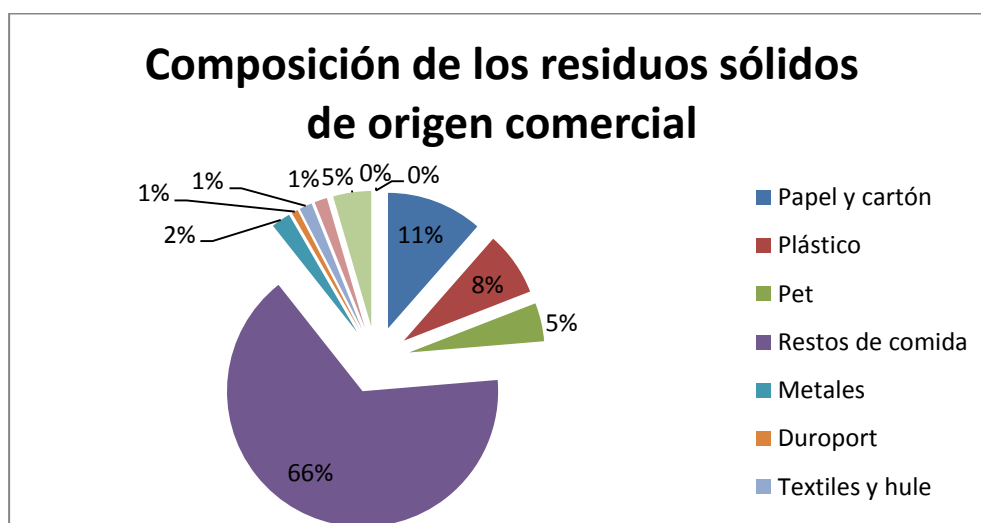
Tabla LV. **Composición residuos sólidos comerciales**

Categorías	% Jalapa	% Santa Catarina Pínula ¹
Papel y cartón	11,46	16,62
Plástico	7,64	24,20
Pet	4,58	2,92
Restos de comida	65,68	39,65
Metales	2,29	0,87
Duroport	0,76	1,46
Textiles y hule	1,53	1,75
Vidrio	1,53	0,29
Papel higiénico y pañales	4,54	5,83
Madera	0	0,29
Desechos electrónicos	N/D	0,29
Otros e inertes	0	5,83
Total	100,00	100,00

1. Marvin Grádiz; Rommel Raudales, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*. p.65.

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Composición de los residuos sólidos comerciales del casco urbano de Jalapa**



Fuente: elaboración propia.

Al igual que en los residuos domésticos e institucionales, los residuos de origen comercial se encuentran constituidos en su mayor porcentaje por residuos orgánicos de comida. Vale la pena mencionar que un buen porcentaje, 23,00 por ciento, está constituido por productos plásticos, papel y cartón.

7.7. Composición residuos sólidos provenientes del barrido de calles

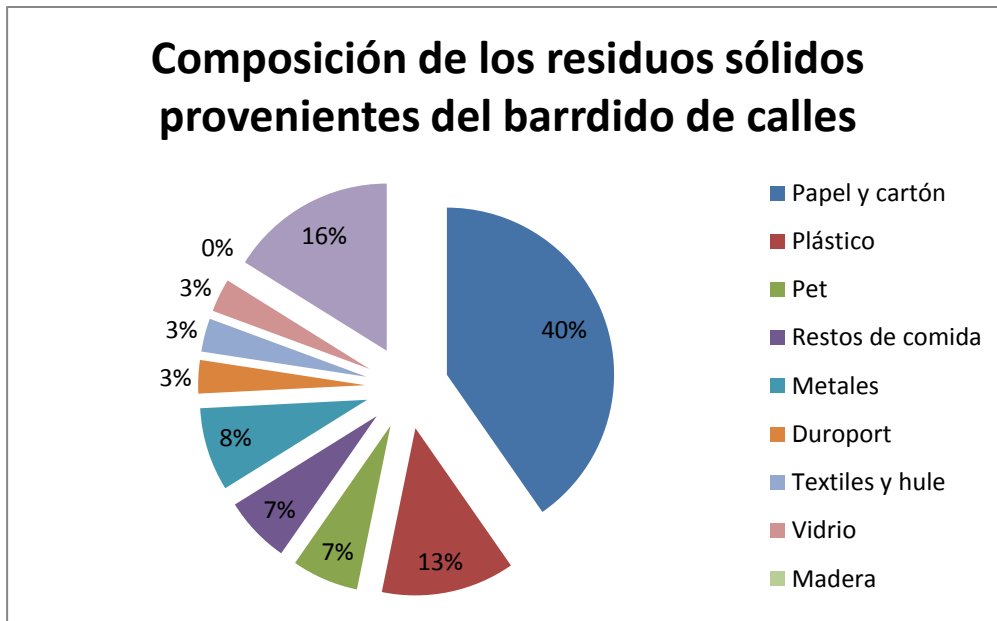
En el análisis de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles de la cabecera municipal de Jalapa, se obtuvieron los siguientes valores, los cuales se detallan en la tabla LVI.

Tabla LVI. **Composición residuos sólidos provenientes del barrido de calles**

Categorías	% Jalapa
Papel y cartón	40,32
Plástico	12,90
Pet	6,45
Restos de comida	6,45
Metales	8,06
Duroport	3,23
Textiles y hule	3,23
Vidrio	3,23
Madera	0,00
Otros	16,13
Total	100,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Composición de los residuos sólidos provenientes del barrido de calles en el casco urbano de Jalapa**



Fuente: elaboración propia.

Los residuos del barrido de calles se encuentran constituidos en su mayor porcentaje por papel y cartón. Vale la pena mencionar que en la categoría de otros se encuentra tierra y residuos inertes.

7.8. Consolidado de las características de los residuos sólidos según su origen

Al analizar en conjunto las diferentes composiciones obtenidas de acuerdo al origen de los residuos sólidos, puede observarse que prevalecen, en primer lugar, los residuos orgánicos de comida.

Tabla LVII. **Composición de los residuos sólidos según su origen**

Categorías	Doméstico (%)	Institucional (%)	Comercial (%)	Barrido de calles (%)
Papel y cartón	11,20	26,51	11,46	40,32
Plástico	10,06	7,69	7,64	12,90
Pet	1,83	7,69	4,58	6,45
Restos de comida	34,76	42,18	65,68	6,45
Metales	2,74	1,51	2,29	8,06
Duroport	1,83	2,98	0,76	3,23
Textiles y hule	14,94	0,00	1,53	3,23
Vidrio	4,27	1,51	1,53	3,23
Papel higiénico	18,37	9,94	4,54	0,00
Madera	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	0,00	0,00	0,00	16,13
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: elaboración propia.

Sin importar el origen de los residuos, las categorías de papel–cartón, plástico, pet y metales constituyen los tipos de materiales con mayor volumen de reaprovechamiento por medio del reciclaje.

El papel–cartón, pet y plástico presentan un porcentaje mayor dentro de los residuos del barrido de calles, esto da un indicador de los malos hábitos en el manejo de desechos sólidos que tienen la población al tirar a la calle los residuos, las instituciones tienen el segundo mayor porcentaje de pet, disminuyendo en los residuos de origen comercial y domiciliario, lo cual puede ser un indicativo de que se está realizando reciclaje de este producto.

Las densidades obtenidas varían sustancialmente de acuerdo al origen de los residuos sólidos, como se observa en la tabla LVIII.

Tabla LVIII. **Densidades residuos sólidos de Jalapa según su origen**

Origen	Densidad (kg/m³)
Domiciliar	108,18
Institucional	54,58
Comercial	34,73
Barrido de calles	64,51

Fuente: elaboración propia.

Estos valores de densidad son útiles para determinar la capacidad de almacenaje y diseño del relleno sanitario semimecanizado, de acuerdo al tipo de residuos, asimismo permite seleccionar el vehículo de transporte más adecuado en cada caso.

7.9. Análisis de los parámetros físicos y químicos de los residuos sólidos domiciliarios

Los valores obtenidos de los análisis físicos pueden ser comparados con los obtenidos en otros estudios realizados en Guatemala, ver tabla LIX.

Tabla LIX. **Análisis físicos residuos sólidos domiciliarios**

Parámetro	Jalapa	Santa Catarina Pínula ¹	San Lucas Sacatepéquez ²	Coatepeque ³
Densidad	108,19	233,23	270,00	255,00
% Humedad	60,65	71,19	41,18	63,13
% Cenizas	29,49	11,79	19,16	N/D
pH	6,40	6,04	6,37	N/D

1. Marvin Grádiz; Rommel Raudales, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*, p.65.
2. Viccelda Domínguez y Noriel Franco, et al., *Manejo integral de desechos sólidos San Lucas Sacatepéquez*, p.114.
3. Gilroy Lewis y Ronald Matías, et al., 2005. *Análisis de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*, p.45.

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Análisis físicos residuos sólidos comerciales, institucionales y barrido de calles**

Parámetro	Comercial	Institucional	Barrido de calles
Densidad	34,74	54,59	64,51
% Humedad	101,38	100,00	138,07
%Cenizas	20,12	19,18	22,40
pH	5,40	5,70	6,20

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar cierta similitud en los valores obtenidos en Jalapa con los de las otras comunidades estudiadas, lo cual corrobora la veracidad de los resultados obtenidos.

- Densidad y porcentaje de humedad: al analizar estos parámetros se aprecia que la materia orgánica presenta un alto grado de humedad, tanto en los residuos domiciliarios, comerciales, institucionales y barrido de calles, de manera que, al tratar dichos residuos da lugar a la formación de un volumen considerable de lixiviados.

Lo anterior permite, no solo analizar el comportamiento en el sitio de disposición final, sino también evaluar las etapas de almacenamiento y transporte. Es usual que en el municipio se utilicen sacos y cajas de cartón como medio de almacenaje temporal de los residuos, lo cual facilita el derrame de lixiviados al no ser estos impermeables, de manera que se genera contaminación del suelo y los cuerpos de agua.

De la misma forma se pueden usar estos análisis para evaluar el tipo de vehículo empleado para la recolección y transporte de los residuos, en Jalapa, la cobertura en cuanto a la recolección domiciliar está a cargo de operadores privados, quienes emplean camiones de cajón cerrado. El uso de estos camiones evita derramamiento de líquidos a lo largo de las rutas de recolección.

- Porcentaje de cenizas: se obtuvo un valor de 29,49 por ciento en los residuos domiciliarios; 20,12 comerciales; 19,18 institucionales y 22,40 barrido de calles, esto permite ver la reducción del volumen de los residuos sólidos mediante la técnica de incineración, alargando la vida útil de los sitios de disposición final. Esta técnica eleva, considerablemente, los costos del tratamiento de los residuos.
- Potencial de hidrógeno (pH): es un rango útil para determinar si la materia orgánica puede presentar cierto grado de descomposición al momento de

ser recolectada, permitiendo de esta forma determinar el tiempo máximo de almacenamiento en los hogares. El valor de pH domiciliar fue de 6,40 de manera que el residuo se encuentra en un rango ligeramente ácido. El pH comercial de 5,40 e institucional de 5,70 indica que el residuo entra en proceso de descomposición en menor tiempo, en cuanto al pH del barrido de calles presenta un pH parecido al domiciliar con un 6,20.

7.9.1. Análisis químicos

Los análisis químicos de la materia orgánica se efectuaron con el objetivo de determinar si esta cumple con los requerimientos mínimos para la elaboración de compost. La tabla LXII muestra los valores obtenidos, y a la vez se hace una comparación con valores recomendados para esta transformación biológica.

- Relación carbono nitrógeno y porcentaje de humedad: constituyen los dos parámetros esenciales para determinar si los residuos sólidos son aptos para la elaboración de compost por métodos aerobios. En el caso de los residuos domiciliarios y comerciales de Jalapa, los valores se encuentran dentro los rangos óptimos, los residuos institucionales y del barrido de calles presentan una relación de carbono nitrógeno alta, lo que indica que su descomposición es prolongada.

Tabla LXI. **Valores recomendados para elaboración de compost**

Parámetro	Unidad	Jalapa	Valor Santa Catarina Pínula ¹	Valor de referencia (OPS) ²	Valor de referencia (Tchobanoglous-Theisen-Vigil) ³
pH	-	6,40	5,60	-	5 - 7
Contenido de humedad	-	60,65	71,19	-	50 - 60
Fósforo	%	0,27	0,44	0,2 – 1,5	-
Potasio	%	1,33	4,99	0,4 – 1,3	-
Manganeso	ppm	135	40	430 - 600	-
NT	%	1,92	1,76	0,6 – 1,7	-
C:N	-	16,0:1	25,9 : 1	-	20 - 25 : 1

1. Marvin Grádiz; Rommel Raudales, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*, p.79.
2. CEPIS/OPS/OMS, 1997. *Guía para el manejo de los residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales*, p.89.
3. TCHOBANOGLIOUS, George et al., *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, p.186.

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Análisis químicos de los residuos comerciales, institucionales y barrido de calles**

Parámetro	Unidad	Comerciales	Institucionales	Barrido de calles
pH	-	5,40	5,70	6,20
Contenido de humedad	-	101,38	100,00	138,07
Fosforo	%	0,42	0,16	0,10
Potasio	%	0,73	1,21	1,09
Manganeso	ppm	25	40	80
NT	%	1,60	1,25	1,02
C:N	-	21,2:1	38,6:1	45,9:1

Fuente: elaboración propia.

- **Potencial de hidrógeno (pH):** es recomendable que el pH inicial de los residuos se encuentre en el rango de 5-7, debe recordarse que los valores de pH indicados en este estudio, corresponden a muestras con un solo día de almacenamiento, si se considera que la frecuencia mínima de recolección en el municipio es de 3 veces por semana, se puede afirmar que dicho valor de pH será más bajo el momento de efectuar la recolección.
- **Concentraciones de minerales:** en el análisis de los residuos domiciliarios puede observarse que las concentraciones de minerales como el potasio y manganeso, se encuentran dentro de los rangos óptimos, los cuales ayudan a facilitar el enriquecimiento del suelo al aplicar el compost orgánico.

En cuanto a la materia orgánica proveniente de las instituciones, los análisis químicos no están dentro de los parámetros establecidos para la elaboración de compost orgánico.

7.9.2. Análisis de la carga contaminante generada por los residuos sólidos

Con base al resultado obtenido y al análisis realizado de la carga contaminante de cada tipo de residuos sólidos generados en el municipio de Jalapa, se puede afirmar que los residuos sólidos de origen domésticos producen la menor contaminación, mientras tanto la contaminación generada por los residuos de origen del barrido de calles presenta la mayor carga contaminante, los desechos institucionales y comerciales generan cargas contaminantes similares. La tabla LXII muestra las cargas contaminantes según su origen.

Tabla LXIII. Comparación de la carga contaminante de los diferentes tipos de residuos sólidos según su origen

Componente	Carga contaminante (base húmeda)			
	Domiciliar	Institucional	Comercial	Barrido de calles
Carbono	31,97	45,64	30,14	94,83
Hidrogeno	49,29	71,35	47,11	146,05
Oxigeno	17,35	26,26	16,90	52,32
Nitrógeno	1,00	1,00	1,00	1,00
Azufre	0,06	0,09	0,07	0,11

Fuente: elaboración propia.

7.9.3. Análisis del contenido energético de los componentes de los residuos sólidos

El análisis realizado del contenido energético mediante la carga contaminante de cada tipo de residuos sólidos generados en el municipio de Jalapa, se puede determinar que los residuos del barrido de calles producen el mayor contenido energético, mientras tanto el menor contenido energético es generado por los residuos institucionales, esto se debe a la composición de los diferentes tipos de residuos que se generan en cada actividad. La tabla LXV muestra las cargas contaminantes según su origen.

Tabla LXIV. **Comparación del contenido energético de los diferentes tipos de residuos sólidos según su origen**

Contenido energético (KJ/kg)			
Domiciliar	Institucional	Comercial	Barrido de calles
4 965.21	4 743.08	4 738.82	4 971.51

Fuente: elaboración propia.

7.10. Diagnóstico de la ruta crítica de la gestión integral de residuos sólidos

Teniendo en cuenta el valor de la producción per cápita obtenida (0,66 kilogramos/persona-día.) se puede estimar la generación diaria de residuos sólidos domiciliarios, tal como se observa en la tabla LXV.

Tabla LXV. **Generación de residuos sólidos en Jalapa**

Población total	PPC(kg/Hab/día)	Kilogramos/día	Toneladas/día
57 395,00	0,66	37 880,70	37,88

Fuente: elaboración propia.

Vale la pena mencionar que, esta podría ser mayor, de no estar llevándose a cabo actividades de reciclaje de algunos productos como; plásticos y aluminio. Lejos de producir impactos negativos esta actividad permiten minimizar los volúmenes de generación, influyendo directamente en los requerimientos necesarios para el transporte, tratamiento y disposición final.

7.10.1. Barrido de calles

Con el valor de densidad obtenido (64,51 kilogramos/metro cúbico) se puede estimar la producción diaria de residuos sólidos provenientes del barrido de calles, ver tabla LXVI.

Tabla LXVI. **Generación diaria por barrido de calles**

Ubicación	Volumen recolectado (m ³)	Peso (kg)	Peso (Ton)
Cabecera municipal	2 066	400	0,40
	Total	400	0,40

Fuente: elaboración propia.

7.10.2. Separación de los residuos sólidos

La separación de los residuos sólidos en el origen, antes de que estos sean recolectados es un paso crítico de la gestión integral. La separación de restos de papel, cartón, latas de aluminio, vidrio y envases plásticos, en el punto de generación; es una de las formas más positivas y eficaces de lograr la valorización de los materiales.

En el caso particular del municipio de Jalapa, existe muy poca separación de los residuos producidos en el origen. Quienes practican dicha actividad lo hacen con la finalidad de generar de forma aislada algún ingreso económico al núcleo familiar, pero no con el objetivo de hacer más eficientes las diferentes etapas del manejo integral de los residuos sólidos.

Durante la realización de la caracterización se realizó una encuesta a los domicilios que participaron en el estudio y se preguntó sobre la disposición de las personas para clasificar los residuos en orgánicos e inorgánicos. Un 80 por ciento de las personas encuestadas planteó que si llevaría a cabo dicha clasificación, lo que permite apreciar que la población tiene conocimiento de la importancia que representa esta técnica, facilitando con esto algún programa que promueva la separación por parte de la Municipalidad.

7.10.3. Almacenamiento de los residuos sólidos

Esta actividad en el municipio de Jalapa, varía tanto en las zonas urbanas como rurales. En las urbanas utilizan principalmente, bolsas plásticas, cajas de cartón y cualquier recipiente plástico para acumular los residuos generados. Por su parte en las rurales donde no existe sistema de recolección, los almacenan en cajas de cartón, costales, los entierran y, en el peor de los casos, los queman.

Algunos de estos recipientes utilizados para el almacenamiento no son los recomendados, ya que generan una serie de efectos que alteran las características y propiedades de los residuos en general, dentro de los efectos detectados están:

- Descomposición microbiana.
- Absorción de fluidos.
- Contaminación de los componentes de los residuos.
- Proliferación de ambientes desagradables en calles, provocados por vectores.

El principal problema del uso de recipientes, temporales es la dificultad que implica cargarlos. Los recipientes de cartón y papel tienden a desintegrarse por el escape de líquidos. Cuando se utilizan las bolsas de plástico desechables para recortes de césped, frecuentemente se estiran o se rompen cuando el recogedor levanta una bolsa cargada. Esta rotura es potencialmente peligrosa y puede causar daños al trabajador, por la presencia de vidrio roto u otros objetos peligrosos en los residuos.

El servicio privado cuenta para esta actividad de recolección, con camiones de caja cerrada. Camiones son la mejor opción para transportar los residuos sólidos, ya que tienen la ventaja de tener espacio suficiente para transportar los residuos sólidos de forma separada. Debe recordarse que la recolección en el municipio es llevada a cabo puerta a puerta o mediante recolección en acera, de tal manera que, siempre existe un contacto entre el personal de recolección y la fuente de generación, lo cual ha permitido ejercer cierto control sobre los usuarios que no hacen el pago del servicio.

7.11. Recolección y transporte de los residuos sólidos

La recolección de los residuos sólidos en la zona urbana del municipio de Jalapa, resulta compleja, motivada por el creciente desarrollo urbanístico y comercial de la ciudad. Mientras las formas de generar residuos se vuelven más difusas y se incrementa la cantidad total de residuos, la logística de recolección se vuelve más compleja.

7.11.1. Tipo de recolección utilizada en Jalapa

El tipo de recolección que se realiza en el municipio de Jalapa, es el de acera o puerta a puerta. La técnica se basa en el hecho de que el propietario de

la casa, es el responsable de colocar en la acera los contenedores o recipientes conteniendo los residuos a ser recolectados el día especificado, o el recolector toca la puerta para que el propietario entregue los residuos, devolviendo los contenedores vacíos a su lugar.

No obstante, es común observar en las áreas urbanas en diferentes puntos o basureros clandestinos, que las personas llegan a depositar sus residuos, las cuales en muchos de los casos no pagan por los servicios de recolección, quedando la responsabilidad de la Municipalidad, llevar a cabo dicha tarea como parte del barrido y limpieza de calles y en ocasiones, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales ha realizado actividades de limpieza.

Figura 31. **Tipo de recolección empleada en el municipio.**



Fuente: zona 1, Jalapa, Jalapa.

7.11.2. Problemática identificada por el uso de este tipo de recolección

Uno de los principales problemas identificados por la práctica de esta forma de recolección, es que los contenedores llenos de basura en ocasiones son sacados a las aceras con varias horas de anticipación, al horario

establecido por los operarios privados, dando lugar a la proliferación de vectores.

Figura 32. **Almacenamiento fuera de las viviendas**



Fuente: zona 1, Jalapa, Jalapa.

El problema tiende a agravarse, producto de la gran cantidad de perros que deambulan en las calles, los cuales, rompen o vierten los recipientes regando la basura, generando entornos con un alto potencial de contaminación y afección a la salud pública.

Otro de los problemas identificados, es la falta de cobertura de recolección en algunas zonas del municipio, las cuales, por no disponer de un servicio de recolección optan por practicar técnicas inapropiadas para eliminar la basura como; la quema, depósito en terrenos baldíos, enterrándola o vertiéndolas en barrancos y corriente de agua. Generando con ello mayor contaminación ambiental e incrementando la vulnerabilidad de la salud de las personas que viven en las cercanías de estos lugares.

Figura 33. **Sitios inadecuados de disposición de residuos generados**



Fuente: zona 4, Jalapa, Jalapa.

Figura 34. **Limpieza de basureros clandestinos por parte de la Municipalidad y el MARN**



Fuente: zona 3, Jalapa, Jalapa.

De parte de la Municipalidad y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Jalapa existen campañas de identificación y recolección de basureros clandestinos.

7.11.3. Trazado de rutas de recolección

El trazado de rutas de recolección, constituye un elemento que si bien es cierto puede optimizar el proceso, también puede conducir al fracaso, cuando se emplean rutas inapropiadas, que incrementan el consumo de combustible y los costos derivados del empleo de mayores tiempos de recolección.

En Jalapa, la etapa de recolección se realiza por medio de rutas establecidas por sentido común, experiencia o por prueba y error, sin seguir ningún criterio técnico. De esta forma se puede decir, que no existe optimización de los recursos económicos y tiempo, incrementando con ello los gastos.

7.11.4. Frecuencia y horarios de recolección

Los operadores privados emplean una frecuencia de recolección de 3 días por semana, alternando el servicio de lunes a sábado en las diferentes zonas en cobertura, según su plan de trabajo. Los horarios de recolección de estas empresas empiezan desde de las 6 horas, sin tener una hora específica de finalización, ya que se desplazan sobre las diferentes zonas del municipio.

7.11.5. Transporte

La etapa de transporte va de la mano con la actividad de recolección, en Jalapa se realiza de forma simultánea, pues la comunidad no cuenta con

centros de tratamiento o procesamiento de los residuos sólidos recolectados, de manera que estos son llevados en forma inmediata al sitio de disposición final.

7.11.5.1. Transporte municipal

La Municipalidad emplea un camión compactador con capacidad de 12 metros cúbicos, tres camiones de 12 metros cúbicos y un carretón, para realizar la actividad de recolección y transporte en parques y calzadas, calles del casco urbano, mercado municipal, rastro municipal y edificios municipales.

7.11.5.2. Transporte privado

El servicio de recolección privada emplea camiones de cajón cerrado. Tienen capacidades de recolección que oscilan entre las 10 y 15 toneladas.

Dadas las características que poseen los residuos sólidos en Jalapa, se constituyen como el medio de transporte más indicado, ya que no se someten los residuos a un proceso de compactación.

Vale la pena mencionar que la flota de camiones de estos operadores tiene una vida útil de más de 20 años, desconociéndose con exactitud el estado de las unidades.

7.11.6. Disposición final

Las características topográficas y socioeconómicas del municipio de Jalapa dificultan la ubicación de un sitio adecuado para la disposición final.

- En primer lugar, las tierras poseen una alta plusvalía y la Municipalidad no cuenta con espacios idóneos para tal actividad.
- En segundo lugar, el municipio tiene un crecimiento residencial acelerado, por lo que si se construyera un sitio de estos, habría muchas quejas de parte de la población por aspectos como: producción de olores, vulnerabilidad en el ambiente y salud.
- Se propone realizar un relleno sanitario semimecanizado y un centro de valorización de residuos en el lugar que actualmente se utiliza para colocar los residuos, esto con el fin de evitar problemas sociales y económicos para la Municipalidad.

7.12. Proyección generación de residuos sólidos

Haciendo uso de la proyección de población que maneja el Instituto Nacional de Estadística (INE), se puede hacer un análisis de la generación de residuos sólidos de origen domiciliar (hasta el 2020), que estarían siendo producidos en forma diaria en el municipio de Jalapa, y que requerirán por tanto, de un sistema adecuado de manejo.

Para la proyección se parte de una PPC de 0,66 kilogramos/habitante-día.

Tabla LXVII. **Proyección de la generación de residuos sólidos en Jalapa hasta el 2020**

Año	Población¹	Producción residuos sólidos (Kg)	Producción Total (Ton)
2014	57 395	37 880,70	37,88
2015	59 117	39 017,12	39,02
2016	60 890	40 187,63	40,19
2017	62 717	41 393,26	41,39
2018	64 599	42 635,06	42,64
2019	66 537	43 914,11	43,91
2020	68 533	45 231,54	45,23
2021	70 589	46 588,48	46,59
2022	72 706	47 986,14	47,99

1. Instituto Nacional de Estadística

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la producción de residuos sólidos experimentará un crecimiento del 26,69 por ciento al 2022, representando esto un aumento de 10 toneladas de residuos por año.

7.13. Marco legal

Una gran limitante evidenciada en el manejo de los residuos sólidos en el municipio de Jalapa, es la falta de un marco regulatorio. La inexistencia de un reglamento frena las acciones que pueda emprender la Municipalidad, para mejorar de una forma sustancial, el manejo del servicio y la imposición de sanciones a las personas que están haciendo una disposición inadecuada.

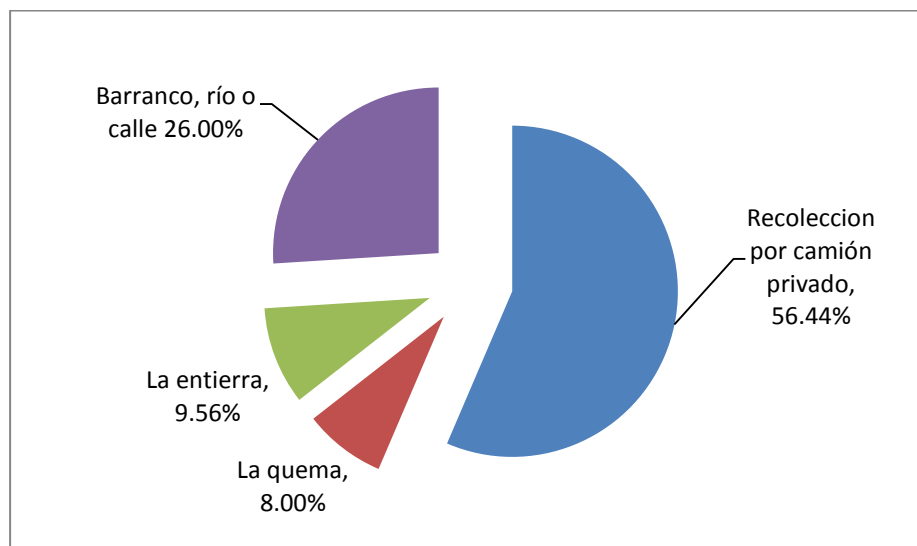
7.14. Resultados de la encuesta

El promedio de personas por vivienda encontrado durante la encuesta fue de 4,58.

7.14.1. Formas de disposición

Tal como se había adelantado en los antecedentes, el mayor porcentaje de la población (56,44 por ciento), hace uso del sistema de recolección privado para disponer de sus residuos sólidos, hay un alto porcentaje de la población que dispone los residuos en las calles, ríos o barrancos, generando así fuentes de contaminación y botaderos clandestinos.

Figura 35. **Gráfico de los porcentajes de disposición de residuos sólidos**

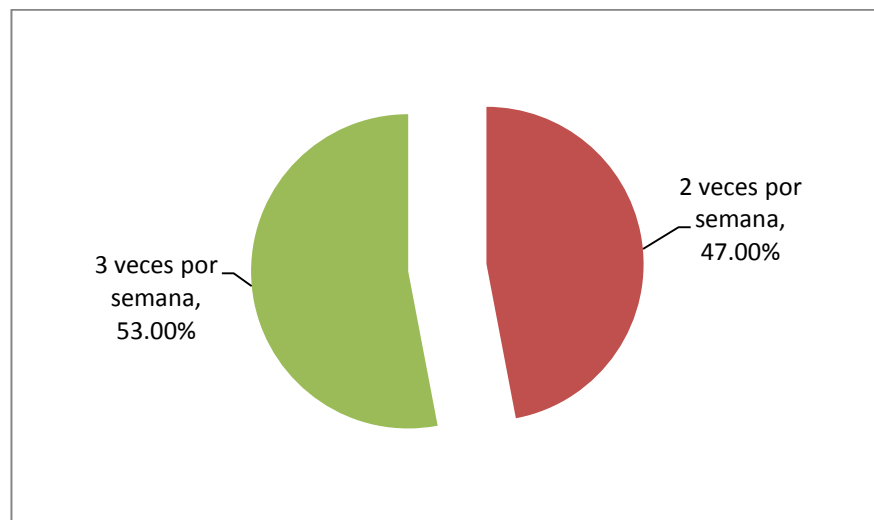


Fuente: elaboración propia.

7.14.2. Frecuencia de recolección

Se encontró una frecuencia de recolección de 3 veces por semana, la cual corresponde con el servicio prestado por los operadores privados.

Figura 36. Frecuencia de recolección de residuos sólidos

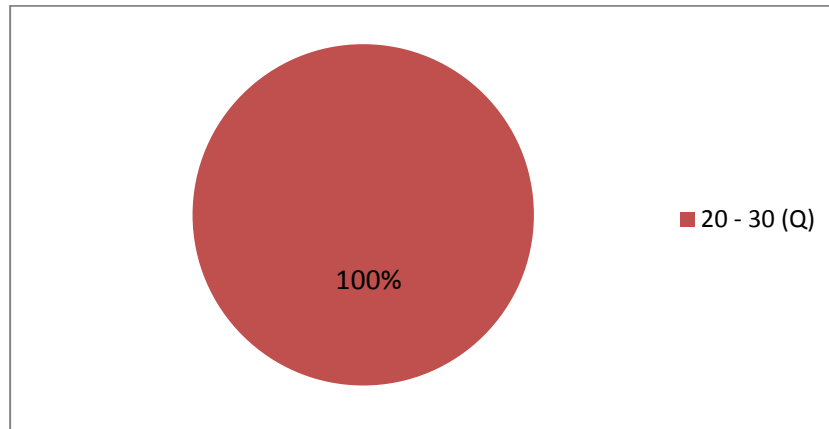


Fuente: elaboración propia.

7.14.3. Costo promedio del servicio de recolección

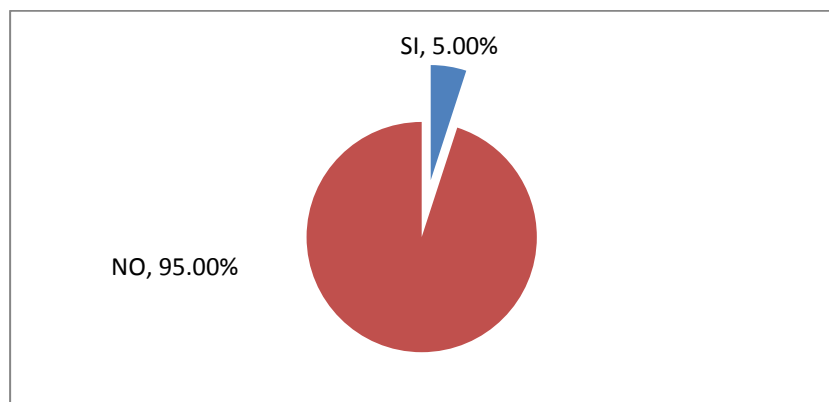
El costo de los servicios de recolección oscila entre los Q.20,00 y Q.30,00. Estos valores son las tarifas que manejan los operadores privados en toda el área urbana de Jalapa.

Figura 37. **Gráfico de tarifa por servicio de recolección de residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Disposición para asumir incrementos en la tarifa**



Fuente: elaboración propia.

Las mejoras en el manejo de los residuos sólidos implican inversiones que pueden llevar a incrementos en la tarifa, en tal sentido se abordó la disponibilidad de los usuarios para asumir incrementos tarifarios, obteniéndose una negativa en este aspecto, tal como se muestra el gráfico de la figura 38.

CONCLUSIONES

1. La producción de los residuos sólidos en la cabecera departamental de Jalapa es 37,88 toneladas/año, al realizar la valorización y reducción en la fuente se obtiene una reducción del 68,64 por ciento, con lo cual se valida la hipótesis.
2. Mediante la caracterización de los residuos sólidos y análisis de laboratorio de materia orgánica, se obtuvo el 66,99 por ciento de residuos susceptibles a valorización.
3. El servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio de Jalapa presenta un déficit del 43,56 por ciento, motivando en gran medida, el aumento de botaderos clandestinos.
4. Los residuos sólidos domiciliarios tiene un valor de producción per cápita de 0,66 kilogramos/habitante/día, lo cual se considera alto con relación a la región y una densidad con un valor de 108,19 kilogramo sobre metro cúbico, esto se debe a lo homogéneo de su composición.
5. Dado el alto porcentaje de humedad de los residuos sólidos domiciliarios, 60,65 por ciento, se puede afirmar que el vehículo de caja cerrada utilizado por la empresa de recolección es el más adecuado, evitando así la generación de lixiviados durante la etapa de transporte.

6. El pH de 6,40 domiciliar, 5,70 institucional, 5,40 comercial y 6,20 barrido de calles obtenido para la materia orgánica, se encuentra en un estado ácido, lo que indica un proceso de descomposición.
7. El porcentaje de cenizas de 29,42 domiciliar, 19,19 institucional, 20,12 comercial y 22,40 barrido de calles, muestra que el método de tratamiento por incineración es factible, sin embargo, dadas las condiciones económicas de la cabecera departamental no es viable.
8. Tomando en cuenta los valores de fósforo, potasio, pH y relación carbono nitrógeno de la materia orgánica de origen domiciliar, comercial e institucional; se determinó que es apta para valorizar los residuos mediante el compostaje.
9. El volumen de desechos generados por el barrido de calles presenta la mayor carga contaminante con $C_{94,83}H_{146,05}O_{52,32}NS_{0,11}$, sin embargo, esto refleja la mala gestión integral de residuos sólidos y la falta de educación sanitaria de la población de la cabecera departamental de Jalapa.
10. La carga contaminante de los residuos sólidos domiciliarios tuvo una reducción de 21,72 por ciento carbono, 21,48 por ciento hidrógeno, 23,52 por ciento oxígeno y 0,94 por ciento azufre, residuos sólidos institucionales de 20,50 por ciento carbono, 20,07 por ciento hidrógeno, 18,97 por ciento oxígeno y 8,19 por ciento azufre y residuos sólidos comerciales de 23,92 por ciento carbono, 23,05 por ciento hidrógeno, 21,04 por ciento oxígeno y 4,38 por ciento azufre, debido a la valoración de los componentes de papel y cartón, pet, restos de comida, vidrio, textiles y hule.

11. Debido a la composición de los residuos generados por los domicilios y al alto poder calorífico del papel, cartón y plástico, se tiene un poder calorífico de los residuos domiciliarios de 4 965,21 kilojoules sobre kilogramo.
12. Para la elaboración de las rutas de recolección se utilizó sectorización, densidad de población, producción per cápita, equipo utilizado en la recolección, densidad de basura en el camión y frecuencia de recolección, con la cual se obtuvieron los tiempos óptimos para cada sector.
13. El relleno sanitario semimecanizado es la opción más adecuada para la disposición final de la cabecera departamental de Jalapa, debido al poco uso de maquinaria y sus bajos costos en operación y mantenimiento.
14. El área total necesaria para la vida útil de 20 años para el relleno sanitario semimecanizado es de 51,2 hectáreas. Esto incluye 178 trincheras, 2 metros entre cada una, para la estabilidad y accesibilidad, 5 metros de profundidad, 4 metros de ancho y 500 metros de largo. La superficie requerida por persona es de 0,29 m²/ habitante/año.
15. Los lixiviados generados por el relleno sanitario semimecanizado, están afectados por el área total del proyecto, precipitación, temperatura y evapotranspiración, estos lixiviados varían en el transcurso del año, como resultado de los diferentes balances hídricos.

16. El municipio no cuenta con un reglamento que brinde los lineamientos en cuanto al manejo de los residuos sólidos, limitando de esta forma mejoras en el servicio y la imposición de sanciones a las personas que están haciendo una disposición inadecuada.
17. Implementar talleres participativos que se conformen de manera integral con representantes de la Municipalidad, Instituciones, escuelas, domicilios y comercios para fomentar la importancia de una gestión integral de residuos sólidos y los beneficios que esta conlleva, así también recalcar sobre la importancia de la reducción en la fuente mediante el reciclaje y la reutilización.
18. Incorporar la educación sanitaria dentro de las actividades que se desarrollan en las escuelas, de manera que los más jóvenes tengan un efecto multiplicador sobre los adultos. Llevar a cabo una campaña de concientización a nivel municipal, mediante la elaboración de afiches y mantas en donde se explique la importancia de tener una ciudad limpia. Asimismo, instalar contenedores en puntos visibles de las principales calles, de manera que la gente deposite sus residuos en sitios adecuados en lugar de tirarlos sobre las calles.

RECOMENDACIONES

1. La Municipalidad de Jalapa deberá convertirse en un ente rector de los desechos sólidos en la cabecera departamental, para ejercer mejor control y cobertura en el servicio.
2. Establecer un reglamento en el tema del manejo integral de desechos sólidos y establecer faltas en el manejo de los mismos, acompañadas de su respectiva multa o sanción.
3. Unificar los servicios públicos, tales como: recolección de residuos, barrido de calles, disposición final, agua y luz, con la finalidad de contar con un mejor control de acción, identificar a personas que no cumplan con el pago de los servicios y generar un desarrollo autosostenible.
4. La Municipalidad de Jalapa, como ente rector, deberá contar con una base de datos donde establezca el nombre de la empresa que presta el servicio, dirección, teléfonos, número de personal, tipo de vehículo, empleados, área de cobertura, horario, frecuencia de recolección, número de viviendas o establecimientos servidos. Dicha información deberá ser actualizada cada año, llevándose a cabo además, una inspección técnica de los vehículos recolectores para renovación de los permisos correspondientes.

5. Debido al estado ácido del potencial de hidrógeno presentado por los residuos sólidos de la cabecera departamental de Jalapa, la recolección debe darse con una frecuencia mínima de 2 veces por semana, para evitar un proceso de descomposición, pudiendo generar vectores y enfermedades en los sitios temporales de disposición que afecten a la población.
6. Los resultados del porcentaje de cenizas obtenidas en laboratorio y los cálculos del contenido energético, indican que la incineración como método de disposición final es factible, sin embargo, no se recomienda la utilización de este método, por sus altos costos económicos en maquinaria, equipo, personal, operación y mantenimiento.
7. Los análisis de valores para la utilización de la materia orgánica como compost orgánico, indican que los residuos domiciliarios y comerciales tienen la mejor relación carbono nitrógeno, comparado con los de origen institucional, aunque estos mismos pudieran mejorar adicionando residuos con altas concentraciones de nitrógeno y así poder valorizarlos, evitando su llegada al relleno sanitario semimecanizado.
8. Para el método de trinchera, los lixiviados tienen la oportunidad de ser eliminados si se cubre la misma con una estructura de techo, que puede ser movable, mientras la trinchera está en proceso de llenado.
9. El relleno sanitario semimecanizado debe cubrir los residuos sólidos con material inerte y controlar el agua de escorrentía, para evitar la generación de lixiviados.

10. Los acondicionadores de desechos harán la selección de los desechos, colocarán y compactarán los desechos en la zanja, realizarán el volteo de compost y harán trabajos de colocación de llantas como bordillos y jardinería de las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACURIO, G., et al. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe*, México: Serie Ambiental No. 1998 BID, OPS/OMS. 217 p.
2. Banco Interamericano de Desarrollo, *Guía para la evaluación de impacto ambiental para proyectos de residuos sólidos municipales*. Procedimientos básicos, Washington, DC.: BID, 1997.
3. BROWN, Doreen; et. al. *Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales enfoque Centroamérica*; AIDIS, CARE El Salvador, PROARCA/SIGMA, 2003. 158 p.
4. CANTANHEDE; Álvaro, et. al, *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos*, Brasil, CEPIS/OPS, 2005.
5. COLLAZOS; Héctor. *Diseño y operación de rellenos sanitarios*. Escuela Colombiana de Ingeniería. 3ª ed. Colombia: 2008 102 p.
6. CORBITT; Robert A. *Manual de referencia de la ingeniería ambiental*, 2a edición España: McGraw-Hill, 2003. 87 p.
7. DAMAZ, María; et. al. *Borrador, Jalapa, Guatemala el proyecto de diseño de relleno sanitario de residuos sólidos municipales*, California: University, Chico, 2014. 67 p.

8. DOMÍNGUEZ DE FRANCO, V. M., et al. *Manejo integral de los desechos sólidos en San Lucas Sacatepéquez*, estudio Especial. 1996. 45 p.
9. FERNÁNDEZ, Alejandro; SÁNCHEZ, Mayra. *Guía para la gestión integral de los desechos sólidos urbanos* (ONUDI/SECO/LARE), Cuba: 2007. 200 p.
10. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Características de la población y de los locales de habitación censados, censos nacionales XI de población y VI de habitación*, Guatemala: INE, 2003. 271 p.
11. JARAMILLO, Jorge. *Guía para el manejo de los residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales*. México: 1997. 89 p.
12. KIELY, Gerard; *Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. España: 1999. 143 p.
13. KUNITOSHI, S., HDT 17: *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*, CEPIS/OPS. 1981.
14. Guatemala. Ley general de descentralización. Decreto 14–2002, 2002. 60 p.
15. LEWIS, Gilroy, et al, *Análisis de la situación del manejo de los desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*. Estudio especial. Coatepeque. 6ª ed. 2007. 250 p.

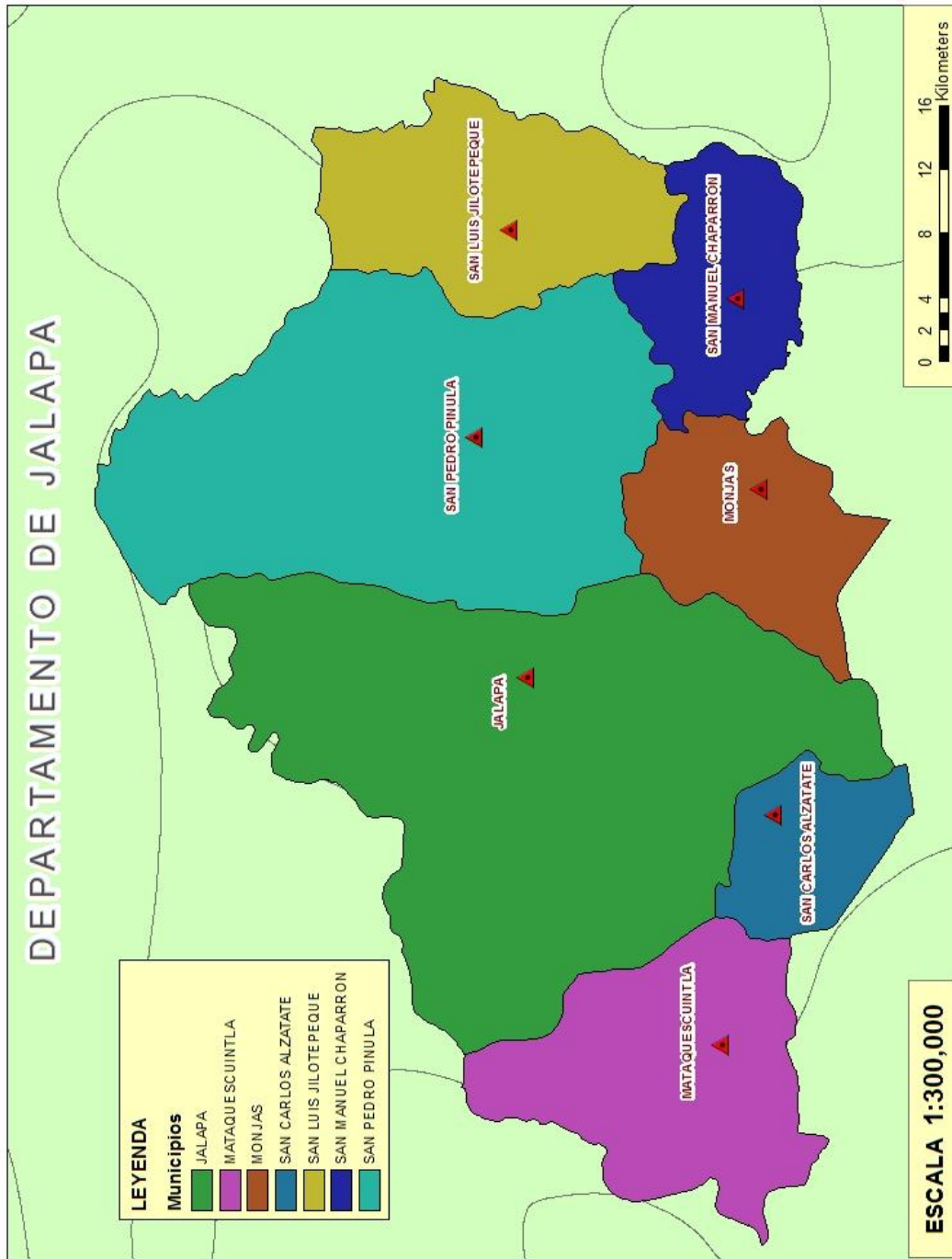
16. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, GTZ, *Manual de elaboración de planes municipales de gestión integral de residuos sólidos*. Costa Rica: 2008. 203 p.
17. MORENO PONCE, L. J., et al. *Estudio de recolección y disposición de los desechos sólidos del municipio de Sumpango, Sacatepéquez*, Estudio especial. Sacatepéquez. 1991. 50 p.
18. OAKLEY, Stewart M., *Manual de diseño y operación de rellenos sanitarios en Honduras*: USAID: 2005. 218 p.
19. PONTE de Chacin, Carmen. *Programa de reciclaje, manejo integrado de residuos sólidos*: 2ª ed. Venezuela. 2008. 160 p.
20. RAUDALES, Rommel; et al, *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula*, Estudio especial: Guatemala: 2012.
21. REYES VÁSQUEZ, A., et al. *Caracterización de los desechos sólidos del mercado municipal de Antigua Guatemala*, Estudio especial. Sacatepéquez: 1994. 65 p.
22. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, Norma MX-AA-61-1985, *protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la generación*. México: 1985. 103 p.
23. TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel. *Gestión integral de residuos sólidos, Volumen 1 y 2*, España: McGraw-Hill, 1997. 85 p.

APÉNDICES

- i. Mapa del municipio de Jalapa.
- ii. Plano basureros clandestinos.
- iii. Encuesta

Apéndice I.

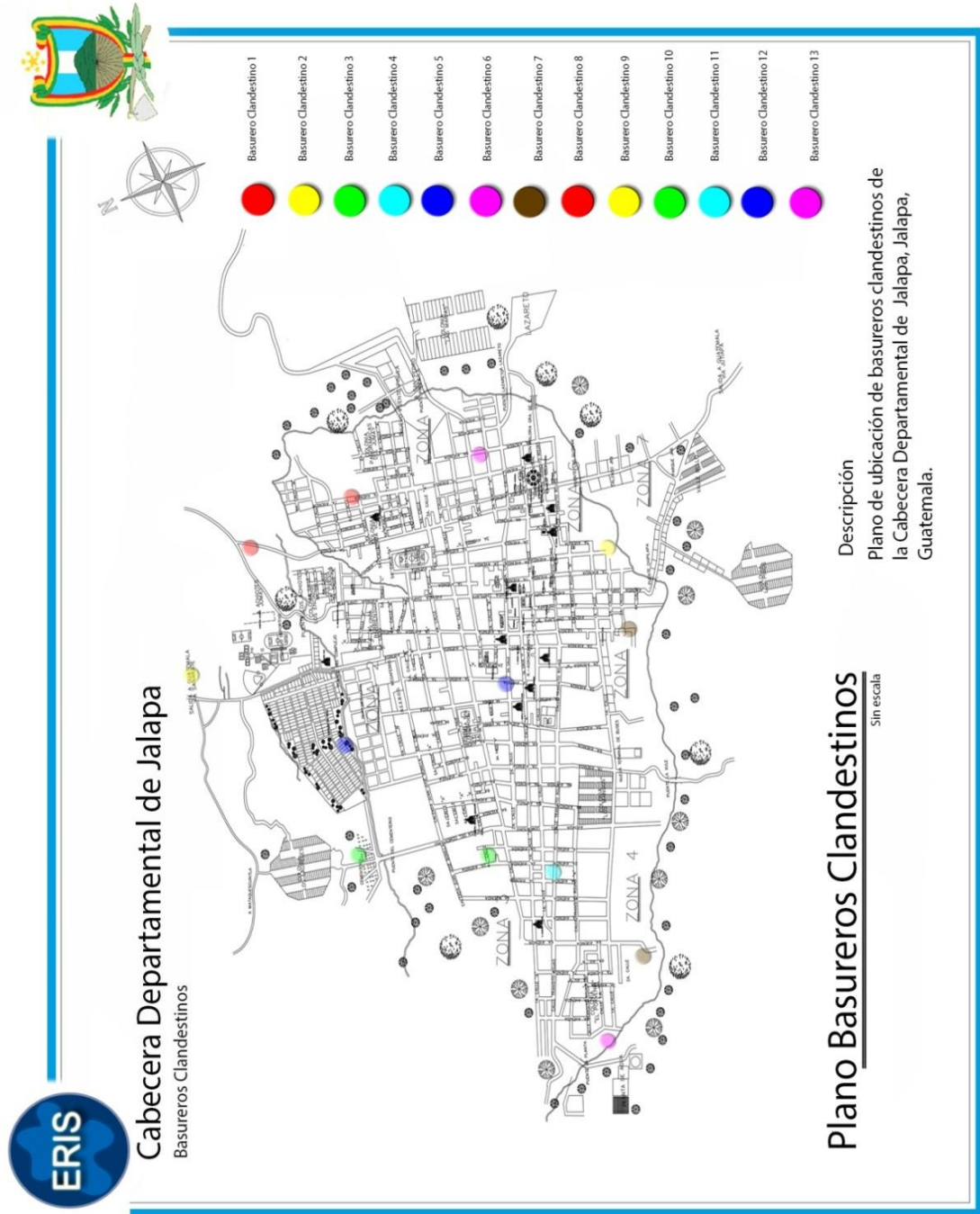
Figura 39. Mapa del municipio de Jalapa.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice II.

Figura 40. Plano basureros clandestinos.




Fuente: elaboración propia.

Apéndice III.

Figura 41. Encuesta caracterización

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
MUNICIPALIDAD DE JALAPA, GUATEMALA, C.A.
AÑO 2014



ENCUESTA
MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

1. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?

Número de Personas

2. ¿En qué forma dispone sus residuos sólidos?

.a	Recolección por camión privado	<input type="text"/>
.c	La Quema	<input type="text"/>
.d	La entierra	<input type="text"/>
.e	Barranco, río o calle	<input type="text"/>
.d	Otros	<input type="text"/>

Especifique _____

3. ¿En caso de utilizar recolección por camión privado o municipal, ¿Cuál es la frecuencia con que son recolectados los residuos sólidos?

.a	Día de por medio	<input type="text"/>
.b	3 veces a la semana	<input type="text"/>
.c	2 veces a la semana	<input type="text"/>
.d	1 vez por semana	<input type="text"/>
.e	1 vez cada 15 días	<input type="text"/>
.f	1 vez al mes	<input type="text"/>

4. ¿Cuál es el costo mensual del servicio de recolección?

.a	10 - 20 (Q.)	<input type="text"/>
.b	20 - 30 (Q.)	<input type="text"/>
.c	30 - 40 (Q.)	<input type="text"/>
.d	Más de 40 (Q.)	<input type="text"/>

5. ¿Estaría dispuesto a pagar más por un mejor servicio de recolección de residuos sólidos?

.a	Si	<input type="text"/>
.b	No	<input type="text"/>

Fuente: elaboración Propia.

ANEXOS

- I. Ley general de descentralización (decreto 14-2002)
- II. Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Local (Decreto 11 – 2002).
- III. Código municipal (Decreto 12-2002)
- IV. Código de salud (Decreto 90-97)
- V. Análisis de laboratorio.

ANEXO I.

Ley General de Descentralización (Decreto 14 – 2002)

Se menciona que se transfieren a los municipios, entre otras cosas, los recursos financieros necesarios para la prestación de servicios públicos, tomando en cuenta la participación ciudadana.

En los Artículos 4 y 5 se alude a que son principios básicos: la eficiencia y eficacia en la prestación de los servicios públicos y el restablecimiento y conservación del equilibrio ambiental y el desarrollo humano; así como universalizar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios básicos que se prestan a la población.

Fuente: congreso de la republica de Guatemala.

ANEXO II.

Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Local (Decreto 11 – 2002)

Se establecen las funciones de los Consejos Municipales de Desarrollo, entre las cuales las más importantes para este trabajo son las siguientes.

Artículo 12. Inciso b). Promover y facilitar la organización y participación efectiva de las comunidades y sus organizaciones, en la priorización de necesidades, problemas y sus soluciones, para el desarrollo integral del municipio. Inciso d) Promover políticas, programas y proyectos de protección y promoción integral para la niñez, la adolescencia, la juventud y la mujer.

Fuente: congreso de la republica de Guatemala.

ANEXO III.

Código Municipal (Decreto 12 – 2002)

Se menciona que es responsabilidad de los municipios servir a los intereses públicos, y cumplir con la prestación eficiente de los servicios. Además se menciona la modalidad de las mancomunidades. A continuación se presentan algunos de los artículos más representativos relacionados con la prestación de los servicios.

Artículo 17. Entre los derechos y obligaciones de los vecinos están: i) Utilizar de acuerdo con su naturaleza los servicios públicos municipales y acceder a los aprovechamientos comunales conforme a las normas aplicables. l) Solicitar la prestación, y en su caso, el establecimiento del servicio público municipal.

Artículo 35. Entre las competencias generales del Consejo Municipal están: e) El establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales, así como las decisiones sobre las modalidades institucionales para su prestación, teniendo siempre en cuenta la preeminencia de los intereses públicos. i) La emisión y aprobación de acuerdos, reglamentos y ordenanzas municipales. y) La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio.

Artículo 50. Los municipios tiene el derecho a asociarse con otros en una o varias mancomunidades.

Artículo 68. Entre las competencias propias del municipio se pueden mencionar: a) Abastecimiento de agua potable debidamente clorada,

alcantarillado, alumbrado público, mercados rastros, k) Modernización tecnológica de la municipalidad y de los servicios públicos municipales o comunitarios. l) Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.

Artículo 72. El municipio debe regular y prestar los servicios públicos municipales de su circunscripción territorial y, por lo tanto, tiene competencia para establecerlos, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, en los términos indicados en los artículos anteriores, garantizando un funcionamiento eficaz, seguro y continuo y, en su caso, la determinación y cobro de tasas y contribuciones equitativas y justas. Las tasas serán fijadas atendiendo costos de operación, mantenimiento y mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.

Fuente: congreso de la republica de Guatemala.

ANEXO IV.

Código de Salud (Decreto 90 – 97)

La sección IV del Código de Salud está dedicada a los desechos sólidos, contempla 7 artículos, los cuales se mencionan a continuación.

Artículo 102. Es responsabilidad de la municipalidad la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables.

Artículo 103. Está prohibido arrojar o acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, alrededor de zonas habitadas y en

lugares que puedan producir daños a la salud, a la población, al ornato o al paisaje, utilizar medios inadecuados para su transporte y almacenamiento o proceder a su utilización, tratamiento y disposición final, sin la autorización municipal, la que deberá tener en cuenta las medidas sanitarias establecidas, para evitar contaminación, específicamente de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos.

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

Artículo 105. Es obligación de los propietarios o poseedores de predios, sitios o espacios abiertos en sectores urbanos y rurales, deberán cercarlos y mantenerlos libres de desechos sólidos, malezas y aguas estancadas. Velar por esta disposición es responsabilidad de la municipalidad y de las autoridades sanitarias.

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

Artículo 107. Para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de los residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza de sus operaciones. Especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales.

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

Fuente: congreso de la republica de Guatemala.

Anexo V.

Análisis de laboratorio.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: LUIS GABRIEL GARCIA, GUSTAVO FIGUEROA
 PROCEDENCIA: JALAPA
 FECHA DE INGRESO: 18/8/2014

ANALISIS DE MATERIALES ORGANICOS

IDENTIFICACION	pH	mS /cm C.E.	%							ppm							%		
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O	NT	C: N					
M-1 COMERCIAL	5.4	16.90	0.42	0.73	1.63	0.14	5	65	690	25	2,250	33.88	1.60	21.2	1.1				
M-2 INSTITUCIONAL	5.7	23.75	0.16	1.21	15.00	0.19	10	110	3,100	40	5,250	48.22	1.25	38.6	1.1				
M-3 BARRIDO CALLE	6.2	10.95	0.10	1.09	1.19	0.09	10	50	10,500	80	1,000	46.86	1.02	45.9	1.1				
M-4 DOMICILIAR	6.4	24.10	0.27	1.33	2.13	0.19	10	120	2,250	135	3,875	30.73	1.92	16.0	1.1				

IDENTIFICACION	%	
	CENIZAS	HUMEDAD
M-1 COMERCIAL	20.12	101.38
M-2 INSTITUCIONAL	19.18	100.00
M-3 BARRIDO CALLE	22.40	138.07
M-4 DOMICILIAR	29.42	60.65



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, EDIFICIO T-6, SEGUNDO NIVEL, OFICINA B-5, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA.

