



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

**DETERMINACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD TÉCNICO AMBIENTAL DEL MANEJO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ, DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO**

Ing. Edy Wilfrido Nimatuj Gómez

Asesorado por el Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD TÉCNICO AMBIENTAL DEL MANEJO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ, DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

INGENIERO EDY WILFRIDO NIMATUJ GÓMEZ

ASESORADO POR EL DR. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN CIENCIAS
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

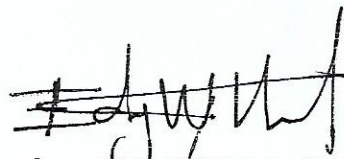
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matías Gil
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DETERMINACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD TÉCNICO AMBIENTAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

Tema que me 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 mayo de 2016.



Ingeniero **Edy Wilfrido Nimatuj Gómez**

Carné No.100024279

Correo electrónico: edy.nimatuj@gmail.com

Guatemala, 27 de febrero de 2019

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - U

Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212

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

**Determinación de la sostenibilidad técnico ambiental del
manejo de los residuos sólidos del municipio de Salcajá,
departamento de Quetzaltenango.**

Presentado por el estudiante de la maestría antes
mencionada,

Ingeniero Civil Edy Wilfrido Nimatuj Gómez

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma
satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela
Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –
ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la
realización de su estudio.

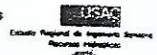
Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de
ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria

Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria
ERIS / USAC



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: Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, MSc. Ing. Joram Matías Gil y MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión de lingüística efectuada por la Licenciada En La Enseñanza Del Idioma Español y La Literatura Jessica Edith Melgarejo Monterroso colegiada No. 27,003, del trabajo del estudiante Ing. Edy Wilfrido Nimatuj Gómez, titulado:

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - UG

Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Fxt 86213 v 86212

**Determinación de la sostenibilidad técnico ambiental del
manejo de los residuos sólidos del municipio de Salcajá,
departamento de Quetzaltenango.**

En representación de la comisión de admisión y otorgamiento
de grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala, 28 de febrero de 2019

IMPRÍMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por todas las bendiciones que me brinda en todo momento.
Virgen María	Por darme la fuerza para lograr esta meta.
Mis padres y hermanos	Por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.
Municipalidad de Salcajá	Por su anuencia y colaboración para realizar el presente estudio en el municipio, especialmente al Licenciado Rolando Miguel Ovalle Barrios, Alcalde Municipal.
Oficina de medio ambiente y recursos naturales, fomento económico y turismo de la Municipalidad de Salcajá	Por su acompañamiento en el proceso de la realización del presente estudio, especialmente al Ingeniero Ángel Giovani Estrada Gramajo, por su colaboración y facilitación de información.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
INTRODUCCIÓN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVI
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ.....	1
1.1 Geografía	1
1.2 Clima.....	2
1.3 Relieve y topografía	3
1.4 Orografía.....	4
1.5 Hidrografía	4
1.6 Demografía	4
1.7 Economía del municipio	5
1.8 Educación	6
1.9 Servicios	7
1.9.1 Manejo de residuos sólidos.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9

2.1	Origen y clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	9
2.2	Características de los residuos sólidos.....	10
2.3	Composición de los residuos sólidos urbanos.....	10
2.4	Características físicas y químicas de los residuos sólidos urbanos..	11
2.4.1	Densidad	11
2.4.2	Contenido de humedad	11
2.4.3	Potencial de hidrógeno (pH)	12
2.4.4	Porcentaje de cenizas	12
2.5	Gestión de los residuos sólidos	12
2.5.1	Disposición final de los residuos sólidos	13
2.5.2	Reciclaje.....	13
2.5.3	Compostaje	14
2.6	Sostenibilidad	14
2.6.1	Sostenibilidad ambiental.....	15
2.6.2	Sostenibilidad técnica.....	15
3.	METODOLOGÍA	17
3.1	Determinación de cantidad y clasificación de los residuos sólidos a través de premuestreo.....	17
3.1.1	Delimitación del área de estudio.....	18
3.1.2	Premuestreo.....	18
3.1.3	Producción per cápita de residuos sólidos (PPC).....	19
3.2	Análisis de muestra real	20
3.2.1	Determinación del tamaño real de muestra de la caracterización	20
3.2.2	Prueba de densidad	21
3.2.3	Determinación de la composición física de los residuos sólidos	22

3.2.4	Determinación del potencial de hidrógeno (pH) de la muestra.....	23
3.2.5	Determinación del porcentaje de humedad	24
3.2.6	Determinación del porcentaje de cenizas	25
4.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SALCAJÁ.....	27
4.1	Características de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	27
4.1.1	Determinación de la cantidad y clasificación de los residuos sólidos a través de premuestreo	27
4.1.2	Determinación del tamaño real de la muestra	31
4.1.3	Caracterización de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá	32
4.1.4	Producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	32
4.1.5	Densidad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	35
4.1.6	Composición física de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	36
4.1.7	Resultados de la medición de potencial de hidrógeno (pH) de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	39
4.1.8	Determinación del porcentaje de humedad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	40
4.1.9	Determinación del porcentaje de cenizas de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	40
5.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	43
5.1	Diagnostico del ámbito técnico	43
5.2	Generación de los residuos sólidos	43

5.3	Caracterización de residuos y residuos sólidos	44
5.4	Servicio de recolección y transporte	44
5.5	Limpieza de áreas públicas	45
5.6	Tratamiento y disposición final de los residuos sólidos	45
5.7	Recopilación y análisis de información	46
5.8	Construcción de línea base	47
6.	PLAN DE ACCIÓN	49
6.1	Análisis de soluciones	50
6.2	Acciones a realizar	51
6.3	Monitoreo y evaluación	52
7.	ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ	55
7.1	Generalidades	55
7.2	Demanda del servicio	55
7.2.1	Mercado del reciclaje.....	56
7.2.1.1	Mercado del <i>compost</i>	58
7.3	Análisis del servicio actual	59
7.3.1	Orgánicos	59
7.3.2	Inorgánicos	60
7.3.3	Determinación de la sostenibilidad técnica.....	61
7.3.3.1	Determinación de posibles ingresos.....	63
7.3.4	Determinación de la sostenibilidad ambiental	66
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
	CONCLUSIONES.....	75
	RECOMENDACIONES	77

BIBLIOGRAFÍA..... 79
ANEXOS..... 83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Delimitación y colindancias del municipio de Salcajá.....	2
2. Mapa de actores.....	8
3. Composición de residuos sólidos en premuestreo	31
4. Diagrama de relación para la formulación de objetivos y metas	49
5. Pasos básicos para la elaboración del plan de acción	51
6. Ubicación de centro de acopio de reciclables en Salcajá.....	57
7. Porcentajes de inorgánicos reciclables en el municipio de Salcajá.....	60
8. Matriz de Leopold.....	68
9. Composición de los desechos sólidos del municipio de Salcajá	69
10. Comparación de volúmenes reciclables respecto a la producción total de desechos	70
11. Crecimiento en la producción de desechos sólidos en el municipio de Salcajá en Kg/año	71
12. Balance de ingresos y egresos	72

TABLAS

I. Porcentaje de población por sexo y edades, municipio de Salcajá.....	5
II. Número de viviendas para el premuestreo con base en el riesgo α	19
III. Encuesta en fase de premuestreo	28
IV. Producción per cápita en fase de premuestreo.....	29
V. Composición de los residuos sólidos en fase de premuestreo.....	30
VI. Producción per cápita de ruta 1	33
VII. Producción per cápita de ruta 2	33

VIII.	Producción per cápita de ruta 3	34
IX.	Promedio de producción per cápita	35
X.	Densidad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	35
XI.	Composición física de los residuos sólidos de la ruta 1 del municipio de Salcajá	37
XII.	Composición física de los residuos sólidos de la ruta 2 del municipio de Salcajá	37
XIII.	Composición física de los residuos sólidos de la ruta 3 del municipio de Salcajá	38
XIV.	Composición física general de los residuos sólidos del municipio de Salcajá	39
XV.	Potencial de hidrógeno (pH) de los residuos sólidos	39
XVI.	Porcentaje de humedad de los residuos sólidos.....	40
XVII.	Porcentaje de ceniza de los residuos sólidos	41
XVIII.	Producción <i>per cápita</i> del municipio	44
XIX.	Análisis de la información recopilada.....	46
XX.	Línea base	47
XXI.	Propuesta de programa de inversiones	52
XXII.	Plan general de monitoreo y evaluación	53
XXIII.	Herramientas de monitoreo	54
XXIV.	Incremento en la producción de residuos sólidos en Salcajá	56
XXV.	Valor en el mercado de los desechos sólidos aprovechables.....	57
XXVI.	Proyección de costos.....	62
XXVII.	Gastos para inicio de operaciones.....	63
XXVIII.	Estimación de posibles ingresos.....	64
XXIX.	Balance de ingresos versus egresos mensuales	64
XXX.	Tarifa mínima para cubrir déficit	65

GLOSARIO

Basurero	Acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, que generen riesgos ambientales y a la salud.
Botadero	Lugar donde se arrojan los residuos sin ningún tipo de tratamiento sanitario ni separación previa.
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).
Compostaje	Descomposición controlada de los residuos orgánicos sólidos.
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.

Muestra	Es una parte extraída de un universo o conjunto, por métodos que permiten considerarla representativa del mismo.
pH	Término que indica la concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de una disolución
PP	Es una estimación de la producción promedio de residuos sólidos por persona, puede ser a nivel domiciliario, comercial, institucional, municipal, nacional, etc.
Residuos sólidos	Todo material descartado por la actividad humana que no tiene utilidad inmediata.
Relleno sanitario	Técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar contaminación del medio ambiente y proteger la salud de la población.
Véctor	Portador de huésped intermedio de un parásito o virus que transmite el germen de una enfermedad a otro huésped.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos. Con el crecimiento cada vez más acelerado de la población, la producción de residuos sólidos ha alcanzado niveles exorbitantes, convirtiéndose en una fuente importante de contaminación ambiental.

La disposición final de los residuos sólidos se refiere a la acción de depositar o confinar permanentemente los residuos recolectados, en sitios donde se garantiza que no estarán libres en el ambiente, para que se prevengan las afectaciones a la salud de la población, a los ecosistemas y sus elementos.

Este documento analiza y brinda información acerca de la generación, composición y disposición de los residuos sólidos del municipio de Salcajá, y se determinará si es técnico y ambientalmente sostenible su adecuada disposición final.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los volúmenes de desechos sólidos generados crecen día con día en el municipio de Salcajá. En este municipio, si bien se tiene un buen sistema de recolección que evita la proliferación de botaderos clandestinos, no se cuenta con adecuada disposición final, por lo que se generan vectores y adicionalmente se ubican viviendas a los alrededores del botadero municipal. El botadero utilizado actualmente se encuentra en un 95 % de su capacidad total, por tal motivo la Municipalidad de Salcajá debe encontrar las alternativas y métodos para disponer adecuadamente los residuos generados por el municipio. Con el simple hecho de separar y tratar adecuadamente la materia orgánica se puede reducir el volumen de residuos a desechar y prolongar la vida del botadero.

De acuerdo con estadísticas del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social se identifican enfermedades relacionadas al sistema osteomuscular, enfermedades del sistema respiratorio y enfermedades gastrointestinales, vinculadas a las condiciones sanitarias del municipio. En este sentido se puede decir que el principal problema de un mal manejo de los residuos sólidos se relaciona directamente a la salud humana.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible dar un manejo adecuado a los residuos sólidos del municipio de Salcajá en forma técnica y que adicionalmente sea ambientalmente sostenible?

OBJETIVOS

General

Determinar la sostenibilidad técnico ambiental del manejo de los residuos sólidos del municipio de Salcajá, estableciendo los parámetros adecuados, procesos y/o tratamientos de los mismos.

Específicos

1. Determinar las características de los residuos sólidos generados en el municipio de Salcajá.
2. Analizar la sostenibilidad técnica de la gestión de los residuos sólidos, desde la generación de los mismos hasta su disposición final.
3. Determinar la sostenibilidad ambiental de los procesos de disposición final de los residuos sólidos del municipio de Salcajá.

HIPÓTESIS

El manejo y disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá es sostenible técnica y ambientalmente con una tarifa mínima y el subsidio municipal para completar el costo del servicio.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la Municipalidad de Salcajá no cuenta con un registro de datos que contenga la información necesaria para definir el método más adecuado de manejo y disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio. Por tal motivo es necesario conocer las características y cantidades que se producen.

El manejo de los residuos sólidos está directamente relacionado a la calidad de vida del ser humano y sus actividades de subsistencia. Se estima que, de acuerdo a las actividades agrícolas y comerciales de los pobladores de Salcajá, los residuos sólidos generados contienen un alto porcentaje de materia orgánica. Actualmente los residuos sólidos se disponen sin ninguna clasificación ni tratamiento, en un botadero a cielo abierto que ha llegado al 95 % de su capacidad, por lo que es necesario determinar una nueva metodología que permita a la municipalidad gestionar los residuos sólidos dándoles una adecuada disposición final.

Actualmente, a pesar que existen tecnologías disponibles para el tratamiento, recuperación o eliminación de residuos sólidos, no se cuenta con sistemas adecuados de disposición final de residuos. Incluso son inexistentes los sistemas de tratamiento en el municipio, adicionalmente la Municipalidad de Salcajá no cuenta con la información necesaria para elaborar un análisis de alternativas y así poder definir cuál es el método más apropiado para la disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio. Otro factor que justifica la investigación es contribuir a la conservación del medio ambiente, determinando si las prácticas actuales son ambientalmente sostenibles.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación se limita a determinar la sostenibilidad desde el punto de vista técnico y ambiental del manejo de los residuos sólidos del municipio de Salcajá, realizando la caracterización de los mismos, análisis del servicio de recolección y transporte, limpieza de áreas públicas y actual tratamiento de los residuos sólidos.

ANTECEDENTES

Salcajá es el municipio con menor extensión territorial del país: 12 km². con una población de 18,600 habitantes. En los últimos años el municipio se encuentra con problemas relacionados con el manejo de residuos sólidos, pues el botadero a cielo abierto que actualmente se utiliza para la disposición final de los residuos se encuentra en un 95 % de su capacidad. La Municipalidad de Salcajá prevé que el botadero a cielo abierto que actualmente se utiliza llegue al 100 % de su capacidad en el mes de agosto del año 2018.

El municipio de Salcajá ha tenido un crecimiento comercial y urbano acelerado en los últimos años, por tal motivo la Municipalidad de Salcajá ha desarrollado el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), con la finalidad de evitar que el municipio crezca en forma desordenada. El POT prevé la planificación y corrección para el desarrollo del municipio, minimizando la improvisación y anarquía del mismo.

El municipio de Salcajá tiene una alta cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos, gracias a eso se ha evitado la creación de basureros clandestinos, lo cual trae numerosos beneficios a la población, ya que disminuye la contaminación ambiental y los padecimientos o enfermedades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos.

A pesar de la alta cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos, el problema de Salcajá radica en el botadero a cielo abierto utilizado para la disposición final de los mismos, ya que este opera de forma inadecuada y se encuentra en un 95 % de su capacidad. Las autoridades municipales se

encuentran en la búsqueda de un nuevo predio que cumpla con los requisitos ambientales, económicos, sociales y políticos, para la disposición de los residuos sólidos.

En el país son pocos los municipios que cuentan con información sobre la generación de los residuos sólidos. La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) ha desarrollado algunos estudios que pueden proporcionar información de referencia acerca de este tema:

- BARRAZA CABEZAS, Mario. *Disposición de residuos sólidos en la Ciudad Universitaria*. 1975.
- DEL CID FLORES, Juan Rafael. *Análisis de la composición de las basuras en la Ciudad de Guatemala para una posible reutilización*. 1975.
- DOMÍNGUEZ DE FRANCO, Vicelda María; FRANCO CRUZ, Noriel Alfredo. *Manejo integral de los residuos sólidos en San Lucas Sacatepéquez*. 1996.
- FIGUEROA CAMPOS, Gustavo Adolfo; GARCÍA RAMOS, Luiz Gabriel. *Gestión integral de residuos sólidos con énfasis en residuos susceptibles a valoración y disposición final, para la cabecera departamental de Jalapa*.
- LEWIS, Gilroy Francis; MATÍAS PALACIOS, Ronald David. *Análisis de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*. 2005.

- MORENO PONCE, León Julio. Estudio de recolección y disposición de los residuos sólidos del Municipio de Sumpango, Sacatepéquez. 1991.
- RAUDALES OSORTO, Rommel Josué; GRÁDIZ CÁCERES, Marvin Ovidio. *Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del Municipio de Santa Catarina Pínula*. 2012.
- REYES VÁSQUEZ, Alcibíades. *Caracterización de los residuos sólidos del mercado municipal de Antigua Guatemala*. 1994.
- RUIZ QUIRÓS, Manuel Enrique. *Relleno sanitario, análisis económico del equipo usado en la ciudad de Guatemala*. 1974.
- SANTOS VIGIL, Amelia Elizabeth. *Sistema de residuos sólidos en un área marginada de la Ciudad de Guatemala*. 1986.
- TAY OROXOM, José Manuel. *Evaluación preliminar del proceso de compostamiento en la planta de tratamiento de la Municipalidad de Guatemala*. 1984.
- VALLECILLO CHÉVEZ, María Lourdes. *Análisis sobre el sistema de recolección de residuos sólidos en una zona de la Ciudad de Guatemala, tomando en cuenta los problemas de circulación*. 1979.
- WYSS OROZCO, Juan Rodolfo. *Estudio de la eliminación de residuos sólidos en el Hospital Roosevelt de la Ciudad de Guatemala*. 1984.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ

Salcajá es uno de los veinticuatro municipios que conforman el departamento de Quetzaltenango, del altiplano occidental del país. Sus pobladores se dedican a la agricultura, explotando: la manzana, melocotón (variedad Salcajá), maíz, trigo, haba y hortalizas en menor cantidad; su principal actividad artesanal es la producción de cortes típicos y el comercio. El maíz es uno de los productos que lo cultivan para consumo propio, en algunos casos se vende el excedente. También se produce aguardiente que localmente se conoce como caldo de frutas, por dejar que las mismas se añejen en el licor. Aunque es prohibido por ley, se tiene conocimiento que este licor se ha elaborado de manera clandestina, lo que ha sido tradición del municipio. La feria titular se celebra del 21 al 25 de agosto en honor a San Luis Rey de Francia, patrono del lugar. La mayoría de habitantes profesa la religión católica y en una pequeña proporción otras religiones.

1.1 Geografía

El municipio de Salcajá pertenece al departamento de Quetzaltenango con un área aproximada DE 12 km². Dista 9 km de la cabecera departamental, por la ruta nacional 1 según SEGEPLAN (2010), y está a 195 km aproximadamente de la capital. El parque San Luis está a 2,321.67 metros sobre el nivel del mar (msnm), latitud 14°52'37", longitud 91°27'13", teniendo un clima frío, con una temperatura promedio de 21.9 grados centígrados.

Según el mapa de colindancias del municipio de Salcajá, este colinda al norteste con San Cristóbal Totonicapan, al sureste con Cantón Paxtoca San

Cristóbal, al sur con cantón San Ramón y Llanos de Urbina Cantel, al suroeste con Quetzaltenango y al noroeste con San José Chiquilajá y San Andrés Xecul.

Figura 1. Delimitación y colindancias del municipio de Salcajá



Fuente: Oficina de Planificación Municipal de Salcajá. 2012.

1.2 Clima

Salcajá, por estar situado a una altura de 2,321.67 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un clima frío, con una temperatura máxima promedio anual de 21.9° centígrados y una mínima promedio anual de 7.3° centígrados. Se marcan dos estaciones, la lluviosa y la seca, que se hacen presentes de mayo a octubre la primera y de noviembre a abril la segunda.

Por tener clima frío, en el municipio se recoge una cosecha al año, se siembra en el mes de marzo y se cosecha en los meses de noviembre y

diciembre. El municipio cuenta con un clima frío, con una temperatura máxima promedio anual de 21. 9° centígrados y una mínima promedio anual oscilante de entre 7. 3° y -12 ° centígrados. La precipitación pluvial anual oscila entre los 1,500 a 2,500 milímetros, la humedad oscila entre 06 y 100 % durante el año y el régimen de lluvia tiene un promedio de 131 días al año en los meses de invierno.

Se puede identificar una zona de vida en todo el municipio, siendo esta un bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical. El relieve es muy accidentado, la vegetación natural predominante que puede considerarse como indicadora es *Cupressus lusitánica*, *Alnus jorullensis* y *Quercus spp.* También están la *Zinowiewia spp* y la *Budleia spp.* Además el ciprés común, pino blanco, curtidor, roble y encino.

Entre los cultivos principales de esta área se puede encontrar el trigo, maíz, papas, haba, verduras, frutales como manzana, durazno y pera. Esta zona tendría que ser manejada cuidadosamente debido a la densidad de población, pues el área tiende a disminuir, dando paso a la erosión en las pendientes fuertes.

1.3 Relieve y topografía

La topografía es suavemente quebrada con pendientes no tan altas, siendo en su mayoría planas, con cierto grado de pendiente, la región se ve afectada por los vientos alisos durante los meses de marzo a junio, clasificándose con una brisa moderada.

1.4 Orografía

El municipio de Salcajá está delimitado por macizos montañosos. Al Este se encuentran la cumbre de Alaska (3,100 m.s.n.m.), el cerro de Oro (2,720 m.s.n.m.) y la montaña de Juchanep (2,900 m.s.n.m.); al Norte el Rancho de Teja (2,600 m.s.n.m.); al Oeste las montañas de San Francisco la Unión, y al Sur, las Rosas y el cerro Quiac.

1.5 Hidrografía

El mayor recurso hidrológico del municipio lo constituyen los ríos Samalá, que divide en dos partes a la cabecera municipal, y el Cancujá; por su caudal son los más importantes, pero también se cuenta con los ríos Curruchiche y Xequijel y con el riachuelo El Rastro. En la actualidad el caudal del río Samalá ha decrecido, debido a la deforestación y pérdida de flora y fauna existentes en la cuenca del río, en cuyo recorrido los pobladores cada día se dedican más a las distintas actividades agrícolas y domésticas.

1.6 Demografía

La población del municipio según INE para el año 2012 asciende a un total de 18,538 habitantes, de ellos 47 % son hombres y 53 % mujeres. El 35 % de la población pertenece a la comunidad lingüística K'iche', del pueblo maya, y el 65 % a la población no indígena.

Tabla I. **Porcentaje de población por sexo y edades, municipio de Salcajá**

GRUPO DE EDAD	MASCULINO	%	FEMENINO	%	TOTAL	%
De 0 a 11 meses	139	49	145	51	284	1.55
De 01 a 04 años	1241	50.14	1234	49.86	2475	13.35
de 05 a 09 años	1268	49.76	1281	50.24	2549	13.75
de 10 a 14 años	1085	48.63	1146	51.37	2230	12.03
de 15 a 19 años	1025	48.93	1070	51.07	2095	11.3
de 20 a 24 años	874	47.8	954	52.2	1828	9.86
de 25 a 29 años	684	45.35	825	54.65	1509	8.14
de 30 a 34 años	469	41.5	662	58.5	1131	6.1
de 35 a 39 años	343	40.02	514	59.98	856	4.62
de 40 a 44 años	298	40.75	433	59.25	730	3.94
de 45 a 49 años	272	42.95	362	57.05	634	3.42
de 50 a 54 años	235	44.73	290	55.27	525	2.83
de 55 a 59 años	214	45.75	253	54.25	467	2.52
de 60 a 64 años	191	46.77	217	53.23	408	2.2
de 65 a 69 años	402	49.19	415	50.81	818	4.41
TOTAL	8739	47.2	9799	52.8	18538	100

Fuente: Dirección del Área de Salud de Quetzaltenango. *Memoria de labores*. 2011

1.7 Economía del municipio

La economía del municipio se basa en la agricultura, el municipio se dedica a la siembra de maíz, del cual un porcentaje es para consumo propio y otro porcentaje para venderlo. Las personas también se dedican a la siembra y cosecha de frutas para exportación.

Salcajá cuenta con un suelo muy fértil que permite la siembra de maíz, trigo, hortalizas, árboles frutales como durazno, melocotones, manzanas, cerezos, guindas, peras, vegetales, entre otros. Entre la diversidad de árboles del municipio se encuentran: ciprés, pino, aliso, nísperos, plantas medicinales como: bougambilias, manzanillas, pericón, salvia santa, amarga, romero, etc.

1.8 Educación

En cuanto a cobertura y servicios para la educación a nivel municipal, según el Ministerio de Educación (MINEDUC), existen 13 establecimientos para párvulos, en su mayoría anexos a escuelas oficiales, ocho son oficiales y cinco son privados, cinco de ellos se ubican en el área urbana y ocho en el área rural. Hay 25 centros educativos para el nivel primario, 16 oficiales y nueve privados, todos son monolingües. Por su ubicación 13 son urbanos y 12 rurales. A pesar de contar con un buen nivel de cobertura de la educación primaria, existe el desafío de la terminación de sexto primaria, debido a que de cada 10 niños que ingresan al sistema educativo a nivel departamental, 5 de ellos terminan sexto de forma satisfactoria.

Con base en datos del Ministerio de Educación, la población total comprendida entre las edades de 7 a 12 años es de 2,672, conformada por 1,316 hombres y 1,356 mujeres. En relación a los inscritos en el nivel primario, ascienden a la cantidad de 3,496 alumnos, por lo que la tasa bruta de escolaridad es de 130.84 %, lo que indica que hay niños mayores de 12 años o menores de 7 años que están en este nivel.

1.9 Servicios

Según datos del INE, el municipio tiene una cobertura del 95.5 % en agua potable y 75.7 % en saneamiento básico, es decir que la mayoría de las viviendas del municipio cuentan con estos servicios, aun así, son pocos los sectores que carecen de drenaje, este es el caso del paraje de Buena Vista.

Por otro lado, según el documento Índice de Cobertura Eléctrica, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas en el año de 2013, existe un 99 % de cobertura eléctrica en el municipio de Salcajá, agregando a esto que el área rural necesita que se implemente alumbrado público.

1.9.1 Manejo de residuos sólidos

En el municipio de Salcajá se han realizado esfuerzos por parte de la municipalidad para brindar un adecuado servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos, siendo satisfactorio el servicio de recolección, barrido y transporte, sin embargo, la disposición final es inadecuada. La municipalidad ha convocado a distintas mesas técnicas con el fin de unir esfuerzos para solventar los problemas que aún se tienen, a dichas mesas se han integrado las siguientes instituciones:

- COMUDE
- COCODES
- Mancomunidad Metrópoli de los Altos
- MARN
- MAGA
- MSPAS
- SEGEPLAN

La Oficina Municipal de Medio Ambiente es la coordinadora de dichas mesas por parte de la municipalidad, la estructura se presenta a continuación:

Figura 2. **Mapa de actores**



Fuente: elaboración propia.

No existe una periodicidad para la realización de dichas reuniones, sin embargo, la totalidad de las instituciones que participan muestran voluntad, aunque aún no se tiene definida la agenda o lineamientos a seguir para la adecuada disposición final de los residuos sólidos. Se recomienda que a través de las mesas técnicas se busquen alianzas con instituciones no gubernamentales que puedan brindar asesoría técnica y recursos financieros para la gestión adecuada de los residuos sólidos.

2. MARCO TEÓRICO

Según Tchobanoglous, “los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos”¹. A través de esta definición es posible deducir que los residuos sólidos existen desde el inicio de la humanidad y su producción es inherente al ser humano. En ese sentido, en los centros de aglomeraciones humanas, asentamientos y ciudades actualmente se vive con el problema de eliminar los residuos, dónde colocarlos, y cómo manejarlos.

2.1 Origen y clasificación de los residuos sólidos urbanos

El origen de los residuos sólidos se refiere a su tipo y procedencia, de esta manera, en una población determinada se pueden tener múltiples orígenes. Las diferentes literaturas brindan clasificaciones variables de los residuos sólidos urbanos, a continuación se presentan los más comunes:

- Domésticos
- Comerciales
- Industriales
- Agrícolas
- Hospitalarios
- Construcción²

¹ TCHOBANOGLIOUS, George, et al. *Gestión integral de residuos sólidos*.p. 3

² Ibíd p. 47

2.2 Características de los residuos sólidos

Los residuos sólidos generados en una urbe no solo varían en cantidad sino también en características, pudiendo haber también grandes diferencias en composición. Los factores que influyen en la composición de los residuos sólidos municipales son entre otros:

- El clima: en áreas húmedas como la Ciudad de Sao Paulo, Brasil, el contenido de humedad de los residuos sólidos es comúnmente del 50 %.
- Las costumbres sociales: ciertas áreas étnicas consumen pocos alimentos de preparación rápida, por lo cual se producen más residuos de alimentos crudos.
- El ingreso *per cápita*: las áreas de bajos ingresos producen menos residuos totales, aunque con mayor cantidad de restos de alimentos.
- El grado de urbanización e industrialización del área: cambiará la composición y contenido de los residuos.³

2.3 Composición de los residuos sólidos urbanos

La composición de los residuos sólidos urbanos varía con la localización, la condición económica y muchos otros factores, sin embargo, típicamente están compuestos de: residuos de alimentos, papel, cartón, plásticos, textiles, residuos de jardín, madera, vidrio, envases de hojalata, tierra, metales no ferrosos y ferrosos, entre otros. Es importante debido a la variabilidad de su composición, realizar un estudio sobre si la distribución de los componentes es un factor crítico en un proceso particular de decisiones de manejo.

³ HENRY, J. Glynn; HEINKE, Gary W. *Ingeniería ambiental*. 1999. P. 572

2.4 Características físicas y químicas de los residuos sólidos urbanos

Las características físicas y químicas más importantes de los residuos sólidos urbanos incluyen: densidad, contenido de humedad, potencial de hidrógeno y porcentaje de cenizas. Todos estos datos son importantes para la toma de decisiones en cuanto al manejo y disposición final de los residuos.

2.4.1 Densidad

Con frecuencia se necesitan datos de densidad para evaluar la masa total y el volumen que se deben manejar. Es también conocida bajo el concepto de peso específico, su definición es el peso por unidad de volumen. Existe poca uniformidad en la literatura para presentar los pesos específicos, frecuentemente no se hace ninguna distinción entre residuos sólidos urbanos compactados y no compactados.⁴ Para el caso de la presente tesis se determinará el valor para los residuos sin compactar.

2.4.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad de los residuos sólidos normalmente se expresa de dos formas. En el método de medición de peso húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje de peso del material húmedo; en el método de peso seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. El método de peso húmedo se usa más frecuentemente en el campo de la gestión de los residuos sólidos.⁵

⁴ TCHOBANOGLOUS, op. .cit., pág, 59

⁵ Ibíd, pág 84

2.4.3 Potencial de hidrógeno (pH)

Se refiere a un valor que indica el grado de acidez o basicidad de los residuos sólidos urbanos, dato importante para la toma de decisiones sobre el manejo y disposición final de estos.

2.4.4 Porcentaje de cenizas

Este valor se refiere al peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto. La ceniza resultante de la incineración se transforma en un sólido que debe ser dispuesto adecuadamente, por lo que es importante conocer este dato.⁶

2.5 Gestión de los residuos sólidos

La gestión de los residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de los residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas.

Los problemas asociados a la gestión de residuos sólidos en la sociedad actual son complejos, por la cantidad y la naturaleza diversa de los residuos, por el desarrollo de las zonas urbanas dispersas, por las limitaciones de fondos para los servicios públicos, por los impactos de la tecnología y por las limitaciones emergentes de energía y materias primas.

⁶ LÓPEZ PÉREZ, María Dolores. Operaciones para la gestión de residuos industriales. p. 27

2.5.1 Disposición final de los residuos sólidos

Existen variadas alternativas para dar disposición final adecuada a los residuos sólidos, las más comunes son:

- Rellenos sanitarios: es el método mediante el cual se depositan los residuos sólidos en el suelo, luego de ser clasificados y compactados. Los residuos son cubiertos con material para cobertura y compactados al final del día.
- Incineración: quemar la basura puede ser la solución más limpia, sin embargo, el inconveniente principal es el elevado costo económico de construir y mantener las incineradoras. Otro inconveniente es que las cenizas resultantes deben ser enterradas o almacenadas en algún sitio.

2.5.2 Reciclaje

Se refiere a usar ciertos residuos como materia prima para producir nuevas mercancías. Hay muchos objetos que no se pueden reutilizar, pero sí los materiales de los cuales están hechos pueden reciclarse una y otra vez. Las latas de aluminio, el vidrio, papel, cartón, botellas de plástico y otros envases pueden ser llevados a un centro de reciclaje. En estos centros se clasifican los materiales y se envían a las fábricas, que hacen con ellos nuevos productos; por ejemplo: a partir de pasta de papel se puede fabricar nuevo papel. Las botellas de cristal usadas se trituran y se funden para fabricar nuevos artículos de vidrio. Las latas de aluminio usadas se funden y se forman láminas con las que se hacen nuevas latas u otros productos de aluminio.

El reciclaje previene que materiales potencialmente útiles sean enterrados o quemados reduciendo así la cantidad de basura.

2.5.3 Compostaje

El compostaje es un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO en su documento *Manual del agricultor* define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.⁷

2.6 Sostenibilidad

La definición de sostenibilidad según el diccionario es la siguiente: el adjetivo sostenible refiere algo que está en condiciones de conservarse o reproducirse por sus propias características, sin necesidad de intervención o apoyo externo. El término puede aplicarse sobre diversas cuestiones: métodos productivos, procesos económicos, entre otros.

En la actualidad el término sostenibilidad es ampliamente utilizado, inclusive dentro de los objetivos del milenio. El Proyecto IICA/GTZ (1991), en su libro *Definición de Sostenibilidad, las Variables Principales y bases para establecer indicadores*, define este concepto como: una relación entre los sistemas económicos humanos dinámicos y sistemas ecológicos más grandes, dinámicos, pero con cambios más lentos en los cuales la vida humana puede continuar indefinidamente. OXFAM, en el año 2018, lo define como la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras

⁷ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María; PANTOJA, Alberto. *Manual de compostaje del agricultor*. p. 22

de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. Dentro del concepto de sostenibilidad y por la amplitud de su definición se desprenden de este otros conceptos como sostenibilidad ambiental y sostenibilidad técnica.

2.6.1 Sostenibilidad ambiental

Como conceptos de sostenibilidad ambiental es posible citar:

- Es el equilibrio que se genera a través de la relación armónica entre la sociedad y la naturaleza que lo rodea y de la cual es parte. Esta implica lograr resultados de desarrollo sin amenazar las fuentes de los recursos naturales y sin comprometer los de las futuras generaciones.⁸
- Promueve un uso racional de los recursos naturales, se basa en la compatibilidad entre las diferentes actividades económicas y la preservación actual y futura de la biodiversidad y de los ecosistemas.⁹
- Evita impactos ambientales negativos que puedan afectar el suelo, agua y aire.¹⁰

Para el presente estudio se utilizará este último concepto.

2.6.2 Sostenibilidad técnica

Para garantizar la sostenibilidad de los proyectos hay que asegurarse de que los encargados de su mantenimiento disponen de la capacidad técnica y de

⁸ Coherencia. *Ideario final*. www.coherencia.pe/https-scribd-comdoc212271285001-ideario-final-1-1/sostenibilidad-ambiental/. Consulta: mayo de 2018.

⁹ Coporación Horizontes. *Curso virtual de responsabilidad ambiental*. <https://es.slideshare.net/CorporacinHorizontes/sostenibilidad-ambiental>. Consulta: mayo de 2018.

¹⁰ CEPIS/OPS/OMS. *Guía para el manejo de los residuos sólidos*. p. 33

gestión necesaria para mantener las actividades o bienes generados por el proyecto, a esto se refiere la sostenibilidad técnica. La publicación *Transversalización del enfoque de género y pueblos indígenas en proyectos de agua y saneamiento, del programa de agua y saneamiento con enfoque de cuenca en la parte alta de la sub-cuenca del río Cuilco*, del año 2017, se refiere a la sostenibilidad técnica como la que está basada en el mantenimiento físico, funcional y operativo.

3. METODOLOGÍA

La metodología de investigación consistirá en determinar inicialmente la cantidad de contenido de materia orgánica de los residuos sólidos municipales a través del método de premuestreo que presenta CEPIS (método elaborado por el Dr. Sakurau Kunitoshi en 1982). Posteriormente se determinará la muestra real y se realizarán en campo actividades de pesaje y clasificación para determinar: producción per cápita, densidad y composición física, mientras que en el laboratorio se desarrollarán los análisis para determinar: pH, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas según métodos detallados en la sección 3.2 de este documento. Todos estos parámetros servirán para elaborar un análisis de mercado según la composición física que se tenga, y con ello establecer si es posible la sostenibilidad económica y ambiental de la disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá.

A continuación se desarrolla la metodología para cada paso de la investigación:

3.1 Determinación de cantidad y clasificación de los residuos sólidos a través de premuestreo

Para mejorar o diseñar los sistemas de disposición final de los residuos sólidos es necesario conocer las características físicas y químicas de esos residuos, tasa de generación, composición y densidad, valores que son indispensables para desarrollar un método adecuado para el almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final.

3.1.1 Delimitación del área de estudio

El estudio se enfoca en el área urbana y periurbana, que son cubiertas por el tren de aseo de la Municipalidad de Salcajá y que son depositadas en el botadero a cielo abierto del municipio. Los mapas de las rutas de recolección se encuentran en los anexos.

3.1.2 Premuestreo

El objetivo de realizar un premuestreo es determinar cuál es la producción per cápita por día (PPC) del municipio de Salcajá, esto proporcionará la información adecuada para estimar cuál es el volumen de residuos sólidos que se generan en el municipio.

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 II. Número de viviendas para el muestreo con base en el 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.* <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa061.pdf>. Consulta: mayo de 2018.

Se toma como base la Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, ya que en Guatemala no existe una norma de muestreo de los residuos sólidos. La norma mencionada es la que más se adapta a esta realidad y considera todas las variables que se presentan en campo para realizar la toma de muestras.

El número de muestras a tomar en cuenta se justifica en que el factor de riesgo para el presente estudio es de 0.30, pues se tiene un alto conocimiento del municipio, que además tiene poca extensión territorial. La toma de muestras se hizo personalmente y las características de la localidad proporcionan facilidad para realizar el muestreo. Determinando el factor de riesgo de 0.30 se determina que el número de muestras representativas es de 20 viviendas para realizar el muestreo.

3.1.3 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:

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

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:

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

3.2 Análisis de muestra real

Luego de tener los datos preliminares del premuestreo se procede a la toma de muestras finales, con el objetivo de confirmar los datos obtenidos previamente y obtener un resultado más apegado a la realidad.

3.2.1 Determinación del tamaño real de la muestra de la caracterización

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 25 % de la PPC.

N: número total de viviendas de la comunidad.

3.2.2 Prueba de densidad

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

- Se prepara un recipiente para contener los residuos sólidos y la balanza para efectuar el pesaje.
- Se pesa el recipiente vacío y se toman sus dimensiones para calcular su volumen.
- Se coloca 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 30 centímetros con el objetivo de llenar los espacios que pudiesen haber quedado vacíos, repitiendo esta actividad por 3 veces. Se prosigue de la misma forma hasta llenar a ras el recipiente.
- Se pesa 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 (kilogramos)

V = volumen del recipiente (metro cúbico)

3.2.3 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:

- Se prepara una superficie plana con un área adecuada para la manipulación de las muestras.
- Se rompen las bolsas y se depositan 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.
- Se divide la muestra en cuatro partes y se unen 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 analizadas (papel y cartón, plástico, pet, residuos de comida, aluminio, *duroport*, textiles, vidrio, madera, papel higiénico y aluminio). Se pesa 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.
- Se determina 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 3 días, obteniendo de esta forma los promedios correspondientes a cada una de las categorías previamente establecidas.

3.2.4 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.

3.2.5 Determinación del porcentaje de humedad

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

- Preparar cápsulas de porcelana secándolas hasta 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 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.
- Introducir los materiales pesados y triturados en la cápsula sin comprimir el material. Se pesa 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 se introduce en un desecador, se enfría y se pesa hasta peso constante (P2, gramos).
- Se calcula 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)

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

3.2.6 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 se introduce en un desecador, se enfría y se pesa 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)

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

4. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SALCAJÁ

4.1 Características de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

En esta sección se determinarán características tales como cantidad, clase y composición de los residuos sólidos generados en Salcajá.

4.1.1 Determinación de la cantidad y clasificación de los residuos sólidos a través de muestreo

En la etapa de muestreo se realizaron las siguientes actividades:

- Definir número de viviendas para muestreo
- Selección de viviendas al azar
- Visitas en viviendas
- Aplicación de encuesta para conocer información de la localidad
- Recolección y transporte de muestras
- Determinación de la PPC
- Determinación de porcentajes de residuos sólidos

Como se indica en el capítulo 3, el tamaño de la muestra para el muestreo es de 20 viviendas. Para visitar estas casas se elaboró una encuesta con las siguientes preguntas y resultados:

Tabla III. Encuesta en fase de premuestreo

1	¿Cuántas personas habitan en su casa? 4.6 habitantes en promedio
2	¿Practica el reciclaje? SI 75 %; NO 25 %
3	Si no lo hace, ¿estaría dispuesto a hacerlo? SI 100%
4	¿Cuál es su percepción del servicio de recolección de residuos? BUENA 85 %; REGULAR 15 %
5	¿Cuál es la tarifa por recolección de residuos sólidos? GRATUITA 85 %; NO SABE 15 %
6	¿Estaría dispuesto a pagar más por el servicio de recolección? SI 70 %; NO 30 %
7	¿Cuál es la frecuencia de recolección de los residuos sólidos en su hogar? 2 veces por semana el 100 %

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se recolectaron los residuos sólidos generados en estas 20 viviendas, para poder determinar la producción per cápita y la densidad de los residuos.

Para la determinación de la producción per cápita (PPC) se elaboró la siguiente tabla con la información obtenida en campo:

Tabla IV. **Producción per cápita en fase de muestreo**

No. De Vivienda	PPC (kg/hab/día)
1	0.70
2	0.52
3	0.80
4	0.53
5	0.32
6	0.31
7	0.78
8	0.77
9	0.64
10	0.27
11	0.74
12	0.72
13	0.76
14	0.23
15	0.36
16	0.30
17	0.45
18	0.32
19	0.38
20	0.43
PPC PROMEDIO	0.52

Fuente: elaboración propia.

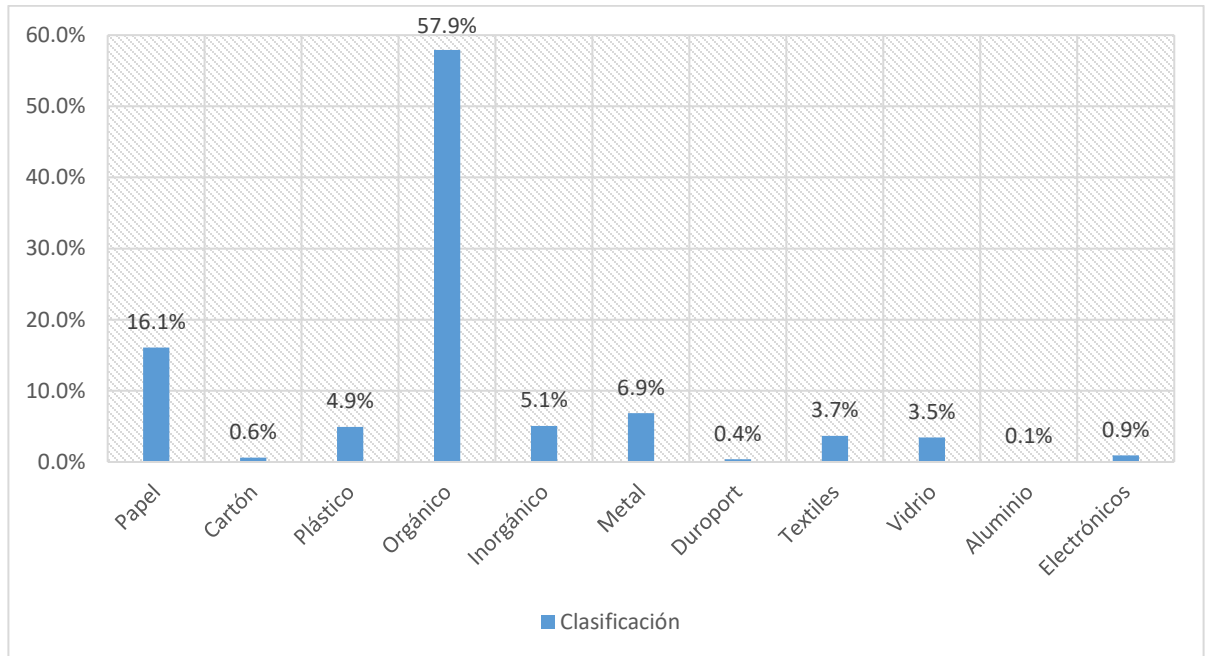
La composición de los residuos sólidos del municipio de Salcajá en fase de muestreo se detallan a continuación a partir de una muestra de 20 viviendas:

Tabla V. Composición de los residuos sólidos en fase de premuestreo

No. De Vivienda	Papel (lb)	Cartón (lb)	Plástico (lb)	Orgánico (lb)	Inorgánico (lb)	Metal (lb)	Duroport (lb)	Textiles (lb)	Vidrio (lb)	Aluminio (lb)	Electrónicos (lb)	Total (lb)	Total (kg)	hab/casa	Período de recolección (día)	PPC (kg/hab/día)
1	1		0.5	17								18.5	8.41	6	2	0.70
2	0.5				11							11.5	5.23	5	2	0.52
3			0.3	13.7								14	6.36	4	2	0.80
4	0.1		0.5			13.4						14	6.36	6	2	0.53
5		0.3	4				0.4		1			5.7	2.59	4	2	0.32
6	5		2	1.3								8.3	3.77	6	2	0.31
7			5	7.5		1.5			6.5			20.5	9.32	6	2	0.78
8			0.5	13								13.5	6.14	4	2	0.77
9				13.8			0.2					14	6.36	5	2	0.64
10	3.5		0.1									3.6	1.64	3	2	0.27
11			0.25	12.5			0.1			0.25		13.1	5.95	4	2	0.74
12	16							1			2	19	8.64	6	2	0.72
13	2	1		14				3				20	9.09	6	2	0.76
14	3.8		0.1				0.1					4	1.82	4	2	0.23
15				6				2				8	3.64	5	2	0.36
16				4								4	1.82	3	2	0.30
17	1			5								6	2.73	3	2	0.45
18	1		1	5								7	3.18	5	2	0.32
19	1			2				2				5	2.27	3	2	0.38
20			0.5	7								7.5	3.41	4	2	0.43
Totales	34.90	1.30	10.75	125.80	11.00	14.90	0.80	8.00	7.50	0.25	2.00	217.20	98.73	92.00		
%	16.07%	0.60%	4.95%	57.92%	5.06%	6.86%	0.37%	3.68%	3.45%	0.12%	0.92%					

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Composición de residuos sólidos en premuestreo



Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Determinación del tamaño real de la muestra

De acuerdo a la ecuación descrita en la sección 3.1.4 de la presente investigación:

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

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 25 % de la PPC.

N: número total de viviendas de la comunidad.

Se sustituyeron los resultados obtenidos en el premuestreo, de la manera siguiente:

$$n = \frac{520^2}{\left(\frac{130^2}{1,96}\right) + \left(\frac{520^2}{4,043}\right)} = 60.54$$

Por lo tanto, es necesario evaluar 61 muestras. De acuerdo a la encuesta realizada en la fase de premuestreo y a los datos de la Municipalidad de Salcajá, los cuales confirman que se recolectan los residuos sólidos de las viviendas dos veces por semana, lo que a su vez detalla que se tienen 3 rutas de recolección.

De las 61 muestras necesarias para el presente estudio, se analizarán 20 de la ruta 1, 20 de la ruta 2 y 21 de la ruta 3. En la ruta 1 se recolectan los residuos sólidos los días lunes y jueves; en la ruta 2 se recolectan residuos sólidos los días martes y viernes; en la ruta 3 se recolectan residuos sólidos los días miércoles y sábados.

4.1.3 Caracterización de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá

El presente estudio determina la producción *per cápita*, densidad, composición física, potencial de hidrógeno, porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas de los residuos sólidos del municipio de Salcajá.

4.1.4 Producción per cápita (PPC) de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

Se determinó la producción per cápita de cada una de las 61 muestras recolectadas, las cuales se tabularon de la siguiente forma:

Tabla VI. **Producción per cápita de la ruta 1**

No. De Muestra	Total lbs	Total kgs	hab/casa	Días acumulados recolección	PPC (kg/hab/dia)
1	17.5	7.95	4	4	0.50
2	17	7.73	3	4	0.64
3	14.00	6.36	4	4	0.40
4	22.5	10.23	5	4	0.51
5	17	7.73	4	4	0.48
6	8.5	3.86	3	4	0.32
7	17	7.73	5	4	0.39
8	12.5	5.68	3	4	0.47
9	18.5	8.41	5	4	0.42
10	13	5.91	4	4	0.37
11	18.5	8.41	4	4	0.53
12	21.5	9.77	5	4	0.49
13	23	10.45	5	4	0.52
14	32	14.55	6	4	0.61
15	27	12.27	6	4	0.51
16	20.5	9.32	4	4	0.58
17	15.5	7.05	3	4	0.59
18	20	9.09	4	4	0.57
19	26	11.82	5	4	0.59
20	25.5	11.59	6	4	0.48
Promedio					0.50

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Producción per cápita de la ruta 2**

No. De Muestra	Total lbs	Total kgs	hab/casa	Días acumulados recolección	PPC (kg/hab/dia)
21	24.5	11.14	5	4	0.56
22	19	8.64	4	4	0.54
23	26	11.82	5	4	0.59
24	21	9.55	4	4	0.60
25	26	11.82	5	4	0.59
26	24.5	11.14	6	4	0.46
27	23	10.45	4	4	0.65

Continuación tabla VII.

28	25	11.36	5	4	0.57
29	24.5	11.14	5	4	0.56
30	27.5	12.50	5	4	0.63
31	23	10.45	6	4	0.44
32	19	8.64	4	4	0.54
33	17	7.73	3	4	0.64
34	22.5	10.23	5	4	0.51
35	25.5	11.59	6	4	0.48
36	25.5	11.59	6	4	0.48
37	28.5	12.95	6	4	0.54
38	23	10.45	5	4	0.52
39	20.5	9.32	4	4	0.58
40	27.5	12.50	5	4	0.63
	Promedio	0.56			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Producción per cápita de la ruta 3**

No. De Muestra	Total lbs	Total kgs	hab/casa	Días acumulados recolección	PPC (kg/hab/día)
41	21.5	9.77	6	3	0.54
42	21	9.55	5	3	0.64
43	20.5	9.32	5	3	0.62
44	21	9.55	5	3	0.64
45	17	7.73	5	3	0.52
46	24.5	11.14	6	3	0.62
47	14.5	6.59	4	3	0.55
48	13.5	6.14	4	3	0.51
49	16.5	7.50	5	3	0.50
50	16	7.27	4	3	0.61
51	11	5.00	3	3	0.56
52	17	7.73	5	3	0.52
53	15.5	7.05	4	3	0.59
54	13.5	6.14	4	3	0.51
55	17.5	7.95	6	3	0.44
56	18	8.18	5	3	0.55
57	17.5	7.95	5	3	0.53
58	13.5	6.14	4	3	0.51

Continuación tabla VIII.

59	15.5	7.05	4	3	0.59
60	15.5	7.05	4	3	0.59
61	18.5	8.41	6	3	0.47
				Promedio	0.55

Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados anteriores se tienen los siguientes promedios:

Tabla IX. **Promedio de producción per cápita**

Ruta / días de recolección	PPC (kg/hab/día)
Ruta 1 (lunes y jueves)	0.50
Ruta 2 (martes y viernes)	0.56
Ruta 3 (miércoles y sábado)	0.55
Promedio Total	0.54

Fuente: elaboración propia.

4.1.5 Densidad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

Se determinó la densidad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla X. **Densidad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá**

Ruta / días de recolección	Densidad (kg/m ³)
Ruta 1 (lunes y jueves)	227.78
Ruta 2 (martes y viernes)	216.67
Ruta 3 (miércoles y sábado)	233.34

Continuación tabla X

Promedio	225.92
-----------------	---------------

Fuente: elaboración propia.

4.1.6 Composición física de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

A partir de la separación y selección de los residuos sólidos contenidos en las 61 muestras recolectadas, se detallan los siguientes grupos principales de residuos sólidos:

- Papel y cartón
- Desperdicios sanitarios
- Plástico
- Orgánicos compostables
- Restos de alimentos
- Textiles
- Metales
- *Duroport*
- Vidrio
- Aluminio
- Electrónicos

Las cantidades y porcentajes de cada una de las rutas se detallan a continuación:

Tabla XI. **Composición física de los residuos sólidos de la ruta 1 del municipio de Salcajá**

Desecho	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Papel y cartón	9.77	5.53
Desperdicios sanitarios	15	8.48
Plásticos	9.32	5.27
Orgánico compostable	92.95	52.57
Restos de alimentos	15.23	8.61
Textiles	12.95	7.33
Metales	5.23	2.96
Duroport	2.27	1.29
Vidrio	7.05	3.98
Aluminio	2.95	1.67
Electrónicos	4.09	2.31
Total	176.82	100

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Composición física de los residuos sólidos de la ruta 2 del municipio de Salcajá**

Desecho	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Papel y cartón	10.45	4.80
Desperdicios sanitarios	21.59	9.91
Plásticos	12.95	5.94
Orgánico compostable	107.73	49.43
Restos de alimentos	19.09	8.76
Textiles	7.05	3.23
Metales	17.95	8.24

Continuación tabla XII.

Vidrio	7.73	3.55
Aluminio	5.00	2.29
Electrónicos	6.36	2.92
Total	217.95	100

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Composición física de los residuos sólidos de la ruta 3 del municipio de Salcajá

Desecho	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Papel y cartón	5.23	3.19
Desperdicios sanitarios	16.36	9.97
Plásticos	4.77	2.91
Orgánico compostable	93.18	56.79
Restos de alimentos	13.86	8.45
Textiles	3.18	1.94
Metales	9.55	5.82
Duroport	4.55	2.77
Vidrio	4.32	2.63
Aluminio	4.77	2.91
Electrónicos	4.32	2.63
Total	164.09	100

Fuente: elaboración propia.

Los datos totales de las 3 rutas se presentan a continuación:

Tabla XIV. **Composición física general de los residuos sólidos del municipio de Salcajá**

Desecho	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Papel y cartón	25.45	4.55
Desperdicios sanitarios	52.95	9.48
Plásticos	27.05	4.84
Orgánico compostable	293.86	52.58
Restos de alimentos	48.18	8.62
Textiles	23.18	4.15
Metales	32.73	5.86
Duroport	8.86	1.59
Vidrio	19.09	3.42
Aluminio	12.73	2.28
Electrónicos	14.77	2.64
Total	558.86	100

Fuente: elaboración propia.

4.1.7 Resultados de la medición de potencial de hidrógeno (pH) de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

De acuerdo al análisis de laboratorio se determinó el pH, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XV. **Potencial de hidrógeno (pH) de los residuos sólidos**

Ruta / días de recolección	pH
Ruta 1 (lunes y jueves)	6.46
Ruta 2 (martes y viernes)	4.73

Continuación tabla XV.

Ruta 3 (miércoles y sábado)	6.03
Promedio	5.74

Fuente: elaboración propia.

4.1.8 Determinación del porcentaje de humedad de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

De acuerdo al análisis de laboratorio se determinó el porcentaje de humedad de los residuos sólidos de Salcajá, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XVI. **Porcentaje de humedad de los residuos sólidos**

Ruta / días de recolección	%
Ruta 1 (lunes y jueves)	87.67
Ruta 2 (martes y viernes)	78.32
Ruta 3 (miércoles y sábado)	82.07
Promedio	82.68

Fuente: elaboración propia.

4.1.9 Determinación del porcentaje de cenizas de los residuos sólidos del municipio de Salcajá

De acuerdo al análisis de laboratorio se determinó el porcentaje de cenizas de los residuos sólidos de Salcajá, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XVII. **Porcentaje de ceniza de los residuos sólidos**

Ruta / días de recolección	%
Ruta 1 (lunes y jueves)	16.46
Ruta 2 (martes y viernes)	19.02
Ruta 3 (miércoles y sábado)	14.81
Promedio	16.76

Fuente: elaboración propia.

5. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo a la guía para la formulación de planes de manejo municipal de residuos sólidos, en Guatemala es importante elaborar un diagnóstico de la situación actual, a partir del cual se definirá la línea base y metas para la elaboración de un plan de manejo de residuos sólidos.

5.1 Diagnóstico del ámbito técnico

En el ámbito técnico se han determinado los siguientes aspectos:

- Generación de los residuos sólidos
- Caracterización de residuos y residuos sólidos
- Servicio de recolección y transporte
- Limpieza de áreas públicas
- Tratamiento y disposición final de los residuos sólidos

5.2 Generación de los residuos sólidos

En este caso, de acuerdo al trabajo de campo realizado y tabulado en el capítulo 4 del presente documento, se tiene que:

Tabla XVIII. **Producción per cápita del municipio**

Generación	Cantidad
PPC (kg/hab/día)	0.54

Fuente: elaboración propia.

5.3 Caracterización de residuos y residuos sólidos

En el capítulo 4 de este documento se presentan los resultados de la caracterización de los residuos y residuos sólidos que se realizó en esta investigación en el municipio de Salcajá, destacando que el 52.58 % es material orgánico compostable. En la tabla 14, sobre la composición física general de los residuos sólidos del municipio de Salcajá, puede observarse el porcentaje y peso de cada uno de los tipos de residuos generados.

5.4 Servicio de recolección y transporte

El servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos se brinda por parte de la municipalidad, la cual cuenta con dos camiones que tienen 3 rutas, cada ruta se recorre dos veces a la semana, la ruta 1 se recorre los días lunes y jueves, la ruta 2 se recorre los días martes y viernes, la ruta 3 se recorre los días miércoles y sábados. De acuerdo a la encuesta realizada en el capítulo 4, el 100 % de la población entrevistada confirma que el servicio de recolección de residuos sólidos pasa dos veces por semana en cada vivienda y el 85 % de la población entrevistada considera que el servicio de recolección es bueno. El servicio de recolección empieza a recorrer las rutas respectivas a partir de las 7:00 horas y concluye a las 15:00 horas.

5.5 Limpieza de áreas públicas

La municipalidad de Salcajá ha hecho énfasis en la limpieza de áreas públicas, a tal punto que no se observan botaderos clandestinos dentro del territorio municipal ni basura en las calles, esto se debe principalmente a la adecuada recolección de residuos sólidos en el municipio y a que la municipalidad de Salcajá cuenta con cuadrillas de limpieza, las cuales recorren el municipio a diario recogiendo cualquier desecho que se encuentre en la vía pública. En el caso de alguna festividad o evento especial, la municipalidad coordina a las cuadrillas antes mencionadas para mantener la limpieza en el área del evento.

5.6 Tratamiento y disposición final de los residuos sólidos

En la actualidad el municipio de Salcajá no cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. Los camiones, después de recolectar los residuos sólidos de las rutas correspondientes, llegan a un botadero a cielo abierto, en donde los “guajeros” separan los residuos sólidos según ellos consideren que les puede generar un beneficio económico. El resto se vierte al botadero municipal a cielo abierto; de acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior un alto porcentaje de los residuos sólidos es material orgánico compostable, el cual no se aprovecha en la actualidad.

La inadecuada disposición final de los residuos sólidos genera contaminación ambiental y problemas de generación de vectores que afectan a los vecinos. En el capítulo siguiente se analiza la sostenibilidad técnica y ambiental de la disposición final de los desechos sólidos generados en el municipio.

5.7 Recopilación y análisis de información

Con base en la información obtenida del comité coordinador, encuestas generadas, análisis y caracterización de los residuos sólidos, se genera la siguiente tabla:

Tabla XIX. **Análisis de la información recopilada**

Tema	¿Qué sucede?	¿Causas?	¿Consecuencias?	¿Medidas a tomar?
Generación	El municipio genera residuos sólidos	Actividades cotidianas	Generación de residuos que deben ser gestionados adecuadamente	Implementar una adecuada gestión de los residuos sólidos
Recolección y Transporte	Se cuenta con recolección y transporte.	Buena gestión municipal	Se han eliminado botaderos clandestinos	Mantener el servicio
Recuperación de residuos valorizables	La municipalidad no recupera residuos valorizables	No cuenta con personal o centro de transferencia	Los residuos valorizables son desechados en el botadero	Promover el reciclaje de parte de la municipalidad
Disposición final	Se vierten los residuos en un botadero a cielo abierto	La municipalidad no cuenta con instalaciones o terreno para la adecuada disposición final	Contaminación ambiental Vectores Problemas de salud	Gestionar la adquisición de un lugar para la adecuada disposición final

Fuente: elaboración propia.

5.8 Construcción de línea base

Los análisis y resultados del capítulo anterior definen los parámetros de la situación actual, siendo esta la línea base con los siguientes resultados:

Tabla XX. **Línea base**

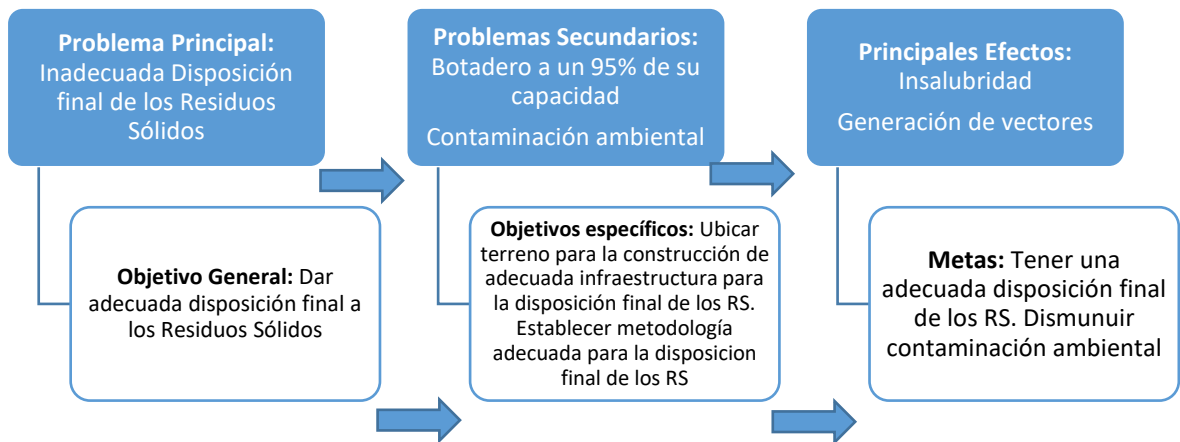
Tema	Indicador	Observación
Normativas municipales vigentes	1	Política municipal de medio ambiente y recursos naturales
Generación de residuos por habitante	0.54	Kg / hab / día
Botaderos no autorizados	0	unidades
Densidad de los residuos solidos	225.92	Kg/m ³

Fuente: elaboración propia.

6. PLAN DE ACCIÓN

Luego de haber realizado el diagnóstico, teniendo todos los resultados que permitan identificar la problemática a resolver, se deben definir las acciones necesarias a realizar y plantear las posibles soluciones. Este plan de acción debe estar basado en fechas y actividades lógicas y debe ser aprobado por el Concejo Municipal de Salcajá. Actualmente se cuenta con un plan de acciones plasmado en el plan operativo anual de la municipalidad; sin embargo, aún se deben definir acciones encaminadas a un adecuado manejo de los residuos sólidos, técnica y ambientalmente sostenibles. El siguiente diagrama ilustra la ruta a seguir para determinar objetivos y metas a partir de los problemas detectados:

Figura 4. Diagrama de relación para la formulación de objetivos y metas



Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados del diagnóstico, y tomando en cuenta los recursos disponibles, es posible definir objetivos y metas. En este caso, según los resultados de la investigación realizada, expuestos en el capítulo 4 de este

documento, se plantean las siguientes soluciones al problema de la disposición final de los residuos sólidos:

- Compostaje de la materia orgánica
- Venta de productos reciclables: plástico, aluminio, papel y vidrio

En el capítulo 7 de este documento se analizan los aspectos técnicos y ambientales de realizar estas actividades, con el fin de poder determinar si es posible que su desarrollo permita la sostenibilidad de la adecuada disposición final de los residuos sólidos.

6.1 Análisis de soluciones

Cualquiera que sea la solución que se adopte esta debe responder a la problemática identificada y debe ser analizada en todos los aspectos, de forma que se pueda concluir si dicha solución es la más adecuada o si se requiere considerar otra opción. La Municipalidad de Salcajá deberá revisar la solución a la problemática de la disposición final bajo los siguientes aspectos:

- Viabilidad física
- Viabilidad ambiental
- Viabilidad sociocultural
- Viabilidad legal
- Viabilidad económico-financiera
- Viabilidad institucional
- Viabilidad técnica

En el capítulo 7 de este documento se desarrollan los aspectos técnicos y ambientales de la propuesta de solución del reciclaje y el compostaje como disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio de Salcajá.

6.2 Acciones a realizar

La Municipalidad de Salcajá debe elaborar un plan de acción con fechas, actividades, responsables y recursos bien definidos. Considerando que, según encuesta realizada y con la información recolectada y observada se puede concluir que el servicio de recolección y barrido de calles es satisfactorio, se sugieren los siguientes pasos a realizar para lograr el objetivo de que la Municipalidad de Salcajá cuente con adecuada infraestructura para la disposición final de los residuos sólidos.

Figura 5. Pasos básicos para la elaboración del plan de acción

Establecer Actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Definir terreno para la infraestructura para disposición final • Construcción de infraestructura para disposición final • Campañas para incentivar cultura ciudadana
Responsables	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad • Comité Coordinador
Indicadores de Avance	<ul style="list-style-type: none"> • Para año 2019 se cuenta con infraestructura adecuada para la disposición final de RS • Se cuenta con estrategia para que ciudadanía practique reducir, separar y reciclar • Se cuenta con estrategia para uso de compost como abono
Temporalidad	<ul style="list-style-type: none"> • Tomando en cuenta que el botadero actual se encuentra a un 95% ; se estima un año.
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Se estiman alrededor de Q 2,000,000.00
Estrategia de Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura cuenta con obras de mitigación • Municipalidad elabora protocolo para recolección de RS en caso de desastre

Fuente: elaboración propia.

Como ejemplo se propone el siguiente programa de inversiones a realizar:

Tabla XXI. Propuesta de programa de inversiones

No.	Actividades / Proyectos	Responsable	Indicador	Corto plazo (meses 1-12)	Mediano plazo (meses 13-24)	Largo Plazo (meses 25-36)	Recursos financieros
1	Estudios de pre-factibilidad y factibilidad de acuerdo a las especificaciones de SEGEPLAN para la planificación del sistema de Gestión de los residuos sólidos.	Municipalidad	Estudios realizados	x			Q 630,000.00
2	Mercadeo del PIRDES	Municipalidad		x			Q 75,000.00
3	Gestión ante la Cooperación Internacional, asesoría y asistencia técnica para el funcionamiento del GIRDES	Municipalidad	Financiamiento de proyectos	x			Q 50,000.00
4	Compra de terreno para la construcción del relleno sanitario.	Municipalidad	Escritura del terreno	x			Q 800,000.00
5	Compra de minicargador	Municipalidad	Factura de compra		x		Q150,000.00
6	Compra de insumos para compostaje / reciclaje	Municipalidad	Facturas de compra		x	x	Q 75,000.00
7	Equipo y herramienta	Municipalidad	Factura de compra		x	x	Q 400,000.00
8	Capacitación del personal	Municipalidad	Personal capacitado	x	x	x	Q 50,000.00
9	Reuniones de trabajo	Comisión de Agua y Saneamiento	Ejecución del PIRDES	x	x	x	
Total							Q2,230,000.00

Fuente: elaboración propia.

6.3 Monitoreo y evaluación

El monitoreo comprende una serie de actividades sistemáticas y ordenadas a fin de establecer un control y seguimiento de las actividades establecidas en el plan de acción. A través del monitoreo es posible establecer si se están cumpliendo las actividades y metas planificadas, de ahí la importancia de su realización; asimismo también permite corroborar los impactos de las

actividades realizadas a través del tiempo, con base en evaluaciones periódicas, además permite disponer de documentación, registros y medios de verificación que evidencien las tareas que se realizan. A continuación se sugiere un plan general para la actividad de monitoreo y evaluación del plan de manejo municipal de los desechos sólidos:

Tabla XXII. **Plan general de monitoreo y evaluación**

Actividad	Resultados esperados	Temporalidad	Responsables
Realización del plan de monitoreo y evaluación	Plan de trabajo incluyendo: cronograma, tareas, responsables y recursos	Primer trimestre desde la aplicación del plan de manejo municipal	Comité Coordinador
Presentación de los resultados obtenidos del monitoreo y evaluación	Informe	Semestral	Técnico en monitoreo y evaluación
Aplicación de medidas preventivas y correctivas	Plan de medidas preventivas y correctivas	Dentro del primer trimestre luego de su elaboración	Municipalidad

Fuente: elaboración propia.

Es importante mantener el control del monitoreo de los residuos sólidos aprovechables, a continuación se sugieren unas tablas como herramienta para el monitoreo de las cantidades de residuos sólidos reciclables que se producen y las que son vendidas para la sostenibilidad económica de la disposición final de los residuos sólidos. A continuación se presenta una propuesta de herramientas

de monitoreo de las cantidades de residuos sólidos aprovechables que ingresan y que son comercializadoras, como se plantea en el capítulo 7.

Tabla XXIII. **Herramientas de monitoreo**

Entradas		Salidas		
Fecha	Libras de plástico recolectadas	Fecha	Libras de plástico vendidas	Precio de venta
Entradas		Salidas		
Fecha	Libras de aluminio recolectadas	Fecha	Libras de aluminio vendidas	Precio de venta
Entradas		Salidas		
Fecha	Libras de vidrio recolectadas	Fecha	Libras de vidrio vendidas	Precio de venta
Entradas		Salidas		
Fecha	Libras de Residuos orgánicos recolectados	Fecha	Libras de Compost Fabricado	

Fuente: elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SALCAJÁ

7.1 Generalidades

El mercado de los servicios de la adecuada disposición final de los residuos sólidos existe en todos los centros urbanos. Salcajá, siendo un municipio con prominente crecimiento urbano, es candidato a necesitar el servicio. Normalmente en este proceso intervienen dos actores principales: el usuario generador y el prestador del servicio. Es posible que puedan participar otros agentes como los recicladores y compradores de bienes en reciclaje.

7.2 Demanda del servicio

En Salcajá no existe un registro de la demanda a través de los años, sin embargo, puede asegurarse que conforme crece la población se amplía la actividad económica y se incrementa la generación de residuos sólidos y consecuentemente crece la necesidad de una solución a la problemática de la disposición de estos, de manera que, con los niveles actuales de población y actividad económica, el inadecuado manejo y disposición, se deteriora la calidad ambiental y el bienestar de la población.

Salcajá cuenta con un eficiente servicio de recolección de los residuos sólidos. Según la encuesta realizada, la población del municipio se encuentra satisfecha con el servicio de recolección, no así con la disposición final, la cual se realiza en un botadero a cielo abierto cercano a la ciudad, lo que ha provocado problemas de insectos a los vecinos, llevando consigo problemas de salud.

A continuación se presentan las proyecciones en cuanto al aumento de la cobertura del servicio de recolección y transporte, tomando en cuenta el incremento poblacional en los próximos 15 años, lo cual incidirá en el volumen de residuos y residuos sólidos.

Tabla XXIV. Incremento en la producción de residuos sólidos en Salcajá

Año	Habitantes	Producción diaria (Kg)
2017	20,413	11,023.02
2018	20,768	11,214.97
2019	21,130	11,410.26
2020	21,498	11,608.96
2021	21,872	11,811.11
2022	22,253	12,016.78
2023	22,641	12,226.04
2024	23,035	12,438.94
2025	23,436	12,655.54
2026	23,844	12,875.92
2027	24,260	13,100.14
2028	24,682	13,328.26
2029	25,112	13,560.35
2030	25,549	13,796.49
2031	25,994	14,036.73

Fuente: elaboración propia.

La proyección futura de la demanda será el 27 % en aumento respecto al año 1.

7.2.1 Mercado del reciclaje

En el área de Salcajá opera un centro de comercialización de bienes reciclables ubicado en las cercanías del vertedero. También en el municipio de

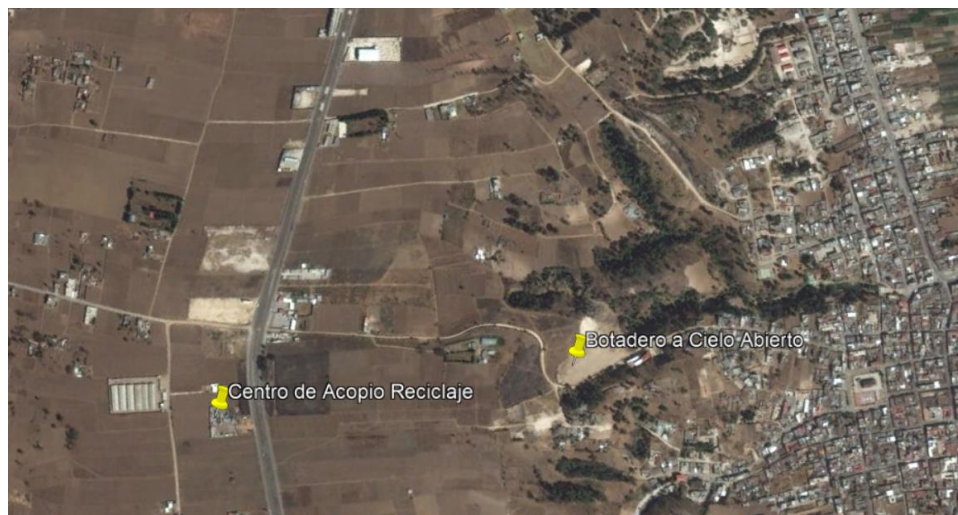
Quetzaltenango, ubicado a 9 kilómetros de Salcajá (ver figura 6), existen varios centros de comercialización de plástico, aluminio, papel y vidrio. Los precios promedio de compra son los siguientes:

Tabla XXV. **Valor en el mercado de los desechos sólidos aprovechables**

Material	Unidad	Precio de compra Salcajá	Precio de compra Quetzaltenango
Plástico	Libra	Q. 0.25	Q. 0.30
Vidrio	Libra	Q. 0.25	Q. 0.25
Aluminio	Libra	Q. 3.00	Q. 3.25
Papel	Libra	Q. 0.15	Q. 0.15

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Ubicación de centro de acopio de reciclables en Salcajá**



Fuente: elaboración propia.

7.2.1.1 Mercado del *compost*

La demanda del *compost* la conforman los agricultores y los hogares para su uso en jardines. En el mercado existe la alternativa de los abonos inorgánicos, lo cual debe ser analizado. A manera de ejemplo, si en una hectárea sembrada con papa se requieren 25 quintales de fertilizante químico de fórmula 12-24-12, alcanzar similares resultados con un abono orgánico procesado de fórmula 3-3-3 requerirá de 200 quintales para llegar al requerimiento de fósforo del fertilizante anterior. No obstante, las ventajas añadidas de los abonos orgánicos no solamente abarcan los elementos mayores, sino también elementos menores y la mejora en la estructura y contextura del suelo, que no son fácilmente percibidos y valorados por los agricultores.

Por 100 Kg de residuo orgánico se obtienen en promedio 30 Kg de abono gratuito. El abono que se obtiene del proceso de compostaje permite que se reduzca el uso de fertilizantes químicos, que no solo contaminan los acuíferos por un exceso de nitratos, sino que también contaminan durante el proceso de producción, embalaje y transporte. Actualmente instituciones como la FAO promueven el uso de abonos orgánicos para conservar suelos saludables y contribuir a contrarrestar el cambio climático.

En función de las características del *compost*, este puede emplearse en agricultura bien como suplemento orgánico actuando exclusivamente sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, o como abono. También puede utilizarse como sustrato en el ámbito de la horticultura o para el cultivo de hongos comestibles, como medio de crecimiento en viveros. En el mercado local un Kg de abono orgánico puede llegar a venderse por un valor de Q 1.00.

En Salcajá, según datos del Censo Agropecuario publicado por el MAGA en 2003, existen 723 productores agrícolas, que serían el mercado potencial del compostaje como fertilizante. En la actualidad internacionalmente se está dando un fenómeno de creciente demanda por los productos orgánicos, es posible que la municipalidad pueda generar concientización sobre los beneficios de estos productos en su población, que son tanto económicos como en salud, y de esta forma fomentar la necesidad de compra de los abonos orgánicos por parte de los productores.

7.3 Análisis del servicio actual

Actualmente el servicio de recolección de los residuos sólidos en los hogares urbanos de Salcajá está siendo cubierto por la municipalidad como único oferente. Se recoge la basura domiciliar en tres rutas, los días lunes y jueves se recoge la ruta 1, los días martes y viernes la ruta 2, y los días miércoles y sábado la tercera ruta. Este servicio es gratuito y atiende alrededor de 4,437 familias. Los residuos recolectados son transportados hacia el vertedero o botadero municipal.

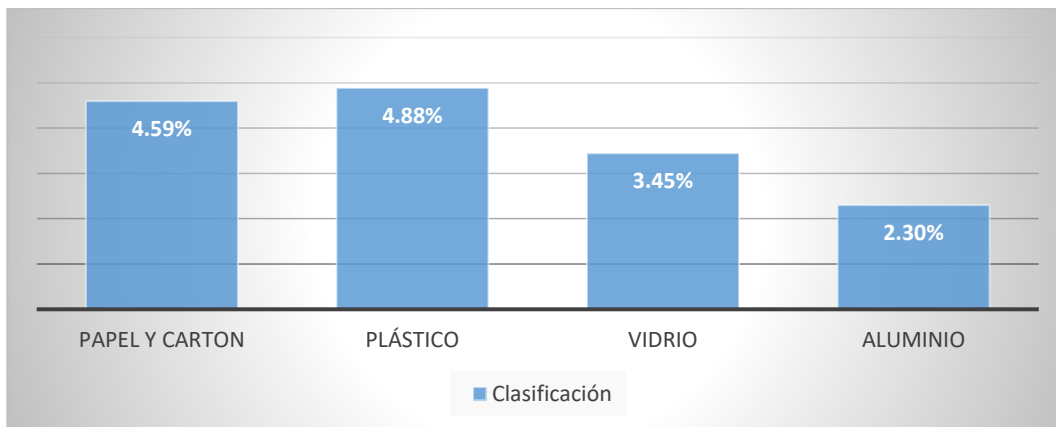
7.3.1 Orgánicos

En el desarrollo de la investigación se pudo determinar que dentro de la composición de los residuos sólidos del municipio, el porcentaje de orgánicos es considerable, por lo que la fabricación de *compost* es una alternativa. La bolsa de la basura diaria que se genera contiene en promedio un 53 % de materia orgánica que puede ser reciclada y devuelta a la tierra en forma de *humus* para las plantas y cultivos.

7.3.2 Inorgánicos

Dentro de los inorgánicos se encuentran algunos materiales que pueden ser reciclados, tales como: plástico, vidrio, papel, cartón y aluminio. A continuación se presentan los porcentajes de cada uno de estos materiales dentro de la composición de los residuos sólidos generados en Salcajá:

Figura 7. **Porcentajes de inorgánicos reciclables en el municipio de Salcajá**



Fuente: elaboración propia.

En el área urbana del municipio hay una demanda que se considera satisfecha en cuanto al servicio de recolección; sin embargo, es un reto mantener esta satisfacción en la población en la medida en la que esta vaya creciendo.

Existe una demanda insatisfecha en cuanto a la adecuada disposición final de los residuos sólidos, generando inconformidad en los usuarios, principalmente en los que residen en las cercanías al predio donde se ubica el botadero a cielo abierto, que tampoco satisface las condiciones mínimas para proteger el medio ambiente.

En lo que respecta a realizar acciones relacionadas con la gestión de los residuos sólidos, tales como la clasificación de los residuos por parte del usuario generador para facilitar su adecuada disposición final y efectuar actividades como el reciclaje y la fabricación de compostaje, se considera un reto, así como mejorar la escasa disposición de pago por el servicio de parte de los vecinos.

7.3.3 Determinación de la sostenibilidad técnica

De acuerdo al término de sostenibilidad técnica definido en la sección 2.6.2 para el presente estudio, se define como sostenibilidad técnica a la capacidad operativa para el buen funcionamiento del proyecto. En este sentido se debe analizar la parte económica que permita sufragar los costos de operación en que se incurre para garantizar un adecuado manejo de los residuos sólidos, así como las capacidades operativas.

En cuanto a capacidades, actualmente el servicio de recolección cubre un 100 % del área urbana, y un 60 % en el área rural. Según encuesta realizada para esta investigación se puede considerar que la población se encuentra satisfecha con el servicio, el cual es gratuito. El barrido de calles es funcional y no se observan botaderos clandestinos dentro del área urbana.

La municipalidad cuenta con una oficina denominada Oficina Municipal de Fomento Económico, Turismo, Medio Ambiente y Recursos Naturales, y desde el año 2016 cuenta con una Política Municipal de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que entró en vigencia en junio del año 2017. Se cuenta con acciones estratégicas definidas y metodología para la gestión de los desechos sólidos; anualmente se trabaja de acuerdo a un plan operativo, que permite definir y administrar los recursos de una manera controlada.

Las capacidades para el adecuado manejo de los desechos sólidos se han venido fortaleciendo, sin embargo el factor económico es determinante. El cobro de una tarifa puede asegurar la operatividad de la gestión de los residuos sólidos, sin embargo, este tema se vuelve político, pues actualmente no se cobra por dicho servicio y la aceptación del cobro de parte de los usuarios pasa a ser sensiblemente complicado.

A continuación se presenta un estimado de los costos en los que se incurriría al implementar un relleno sanitario controlado, y actividades de compostaje:

Tabla XXVI. **Proyección de costos**

Descripción	Costo Mensual	Costo Anual
a. Servicio de recolección		
Jefe unidad administrativa	Q6,000.00	Q72,000.00
Pilotos (4)	Q12,000.00	Q144,000.00
Recolectores (12)	Q30,000.00	Q360,000.00
Barrenderos (6)	Q15,000.00	Q180,000.00
Equipo para barrido de calles	Q800.00	Q9,600.00
Uniformes y equipo de protección	Q450.00	Q5,400.00
Mantenimiento	Q500.00	Q6,000.00
Combustible	Q24,000.00	Q288,000.00
b. Servicio de disposición final		
Encargado del Relleno Sanitario	Q2,500.00	Q30,000.00
Personal operativo relleno sanitario (10)	Q25,000.00	Q300,000.00
Operador de maquinaria	Q2,500.00	Q30,000.00
Maquinaria (minicargador)	Q6,000.00	Q72,000.00
Insumos para compostera	Q800.00	Q9,600.00
Mantenimiento	Q500.00	Q6,000.00
Capacitaciones	Q300.00	Q3,600.00
Vigilancia	Q2,500.00	Q30,000.00
c. Pago de servicios básicos		
	Q2,300.00	Q27,600.00

Continuación tabla XXVI.

	Totales	Q131,150.00	Q1,573,800.00

Fuente: elaboración propia.

Tomando en consideración la proyección de costos anteriormente expuesta y la inversión inicial (Tabla XXI. Propuesta de programa de inversiones), es posible determinar que se necesita un monto de Q 3,803,800.00.

Tabla XXVII. **Gastos para inicio de operaciones**

Concepto	Inversión
Programa de inversiones	Q 2,230,000.00
Gastos operativos anuales	Q 1,573,800.00
Total	Q 3,803,800.00

Fuente: elaboración propia.

7.3.3.1 Determinación de posibles ingresos

Para poder determinar los posibles ingresos que permitan sufragar los gastos operativos de la adecuada disposición de los residuos sólidos, es importante evaluar la composición de los residuos obtenida a través de la caracterización de estos que se muestra en el capítulo IV. Con estos datos se observa que el 53 % del volumen total es orgánico, cuya biodegradabilidad hace posible que se pueda elaborar *compost*.

A continuación se presenta un estimado de ingresos que supone la venta del total de productos inorgánicos reciclables y la venta del *compost* fabricado.

Se ha tomado un precio de venta para el abono (*compost*) de Q 1.00 por kilogramo, que es el más bajo del mercado como precio de introducción, para evaluar su comportamiento.

Tabla XXVIII. **Estimación de posibles ingresos**

Tipo de desecho	Cantidad mensual (kg)	Cantidad de producto para la venta (kg)	Precio de venta	Estimado de ingresos al mes
Orgánico	175,266	52,580	Q1.00	Q52,579.81
Plástico	16,138	16,138	Q0.55	Q8,875.74
Aluminio	7,606	7,606	Q6.60	Q50,198.83
Papel y Cartón	15,179	15,179	Q0.33	Q5,008.97
Vidrio	11,409	11,409	Q0.55	Q6,274.85
Total de posibles ingresos				Q122,938.20

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla XXVI, el costo mensual que supone la gestión de los residuos sólidos, recolección y adecuada disposición final es de Q131,150.00 por mes, se considera que se puede reunir la cantidad de Q122,938.20 con la residuos reutilizables, sin embargo estos generan un ingreso para las personas que se dedican a su recolección (pepenadores) en el área, por lo que no se considera para el cálculo de la tarifa.

Tabla XXIX. **Balance de ingresos versus egresos mensuales**

Ingresos	Egresos	Saldo
Q 0.00	Q 131,150.00	-Q 131,150.00

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los datos de la tabla anterior, se tiene un déficit de Q131,150.00 mensuales, lo cual se puede cubrir estableciendo una tarifa mínima para cada vivienda atendida por el servicio de recolección. En la tabla siguiente se establece el valor de la tarifa mínima de acuerdo al crecimiento poblacional del municipio de Salcajá, considerando que el déficit mencionado es fijo en el tiempo:

Tabla XXX. Tarifa mínima para cubrir déficit

Año	Familias atendidas	Déficit a cubrir	Tarifa mínima
2019	4594	Q131,150.00	Q28.55
2020	4674	Q131,150.00	Q28.06
2021	4755	Q131,150.00	Q27.58
2022	4838	Q131,150.00	Q27.11
2023	4922	Q131,150.00	Q26.65
2024	5008	Q131,150.00	Q26.19
2025	5095	Q131,150.00	Q25.74
2026	5184	Q131,150.00	Q25.30
2027	5274	Q131,150.00	Q24.87
2028	5366	Q131,150.00	Q24.44
2029	5460	Q131,150.00	Q24.02
2030	5555	Q131,150.00	Q23.61
2031	5651	Q131,150.00	Q23.21
2032	5750	Q131,150.00	Q22.81
2033	5850	Q131,150.00	Q22.42

Fuente: elaboración propia.

En vista de que existe incertidumbre en cuanto a la venta total de los productos generados del reciclaje y *compost*, se recomienda que la Municipalidad de Salcajá asuma los costos excedentes del primer año y con base en la experiencia obtenida se determine una tarifa acorde a la comercialización real de

los subproductos generados. Como referencia, actualmente por el servicio de agua potable en el municipio el usuario nuevo paga la cantidad de Q15.00 al mes, mientras que el usuario antiguo para Q8.00, ambos con derecho a 1,000 litros de agua al mes.

7.3.4 Determinación de la sostenibilidad ambiental

En la sección 2.6.1 se define sostenibilidad ambiental como aquella que evita impactos ambientales negativos que puedan afectar el suelo, agua y aire que puedan generarse del manejo de los residuos sólidos. En este estudio se plantea la realización de compostaje, acción con la cual se contribuye a la reducción del volumen y peso de los residuos que se llevan al vertedero con la consecuente mejora ambiental. Al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos que queman las plantas y contaminan los pozos y acuíferos.

El abono que se obtiene del proceso de compostaje permite que se reduzca el uso de fertilizantes químicos, que no solo contaminan los acuíferos por un exceso de nitratos, sino que también contaminan durante el proceso de producción, embalaje y transporte. Asimismo permite reducir la persistencia de determinados contaminantes orgánicos y tiene efectos positivos sobre ciertas enfermedades que sufren las plantas, evitando el control con pesticidas.

El reciclaje también es una medida de conservación ambiental y la disposición final de los residuos no aprovechables en un relleno controlado permite el uso adecuado del suelo, reduciendo la contaminación de los mantos acuíferos por la infiltración de lixiviado, se reduce la proliferación de vectores, repercutiendo en beneficios a la salud de la población, así como el cuidado del medio ambiente.

En cuanto a las condiciones ambientales propicias para la elaboración del *compost*, este es un proceso biológico realizado por microorganismos, cuya actividad hace que se eleve la temperatura de los materiales alcanzando valores altos que no deben superar un rango de 65 – 70 °C. Salcajá tiene un clima templado que, aunado a un buen control dentro del proceso de fabricación del *compost*, permitiría su buen desarrollo. Experiencias en climas similares como Sololá han sido satisfactorias.

A continuación se presenta un análisis a través de una Matriz de Leopold modificada, donde se valoran los posibles impactos al ambiente de las actividades propuestas.

Figura 8. Matriz de Leopold

Actividades		Medio Abiótico						Medio Biótico			Medio Socio Económico				
		Agua		Suelo		Atmósfera		Corte de árboles	Proliferación de vectores	Siembra de árboles	Paisaje	Fuentes de Ingreso	Mano de Obra	Salud humana	Quejas Vecinos
		Calidad Superficial	Calidad Subterránea	Pérdida y cambio de uso de suelo	Compactación e impermeabilización	Aire (polvo y gases)	Ruido y vibraciones								
Construcción	Movimiento de tierras	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0	-1	1	1	-1	0
	Construcción de infraestructura (Composteras, garitas, circulación)	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	1	1	0	0
	Construcción de celdas	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	1	1	0	0
Operación	Recolección domiciliar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Transporte de los desechos sólidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Reciclaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	Compostaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	Disposición final de inertes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0

Ponderación de impactos

Positivo fuerte	2	Magnitud del Impacto
Positivo moderado	1	
Ningún impacto	0	
Negativo moderado	-1	
Negativo fuerte	-2	

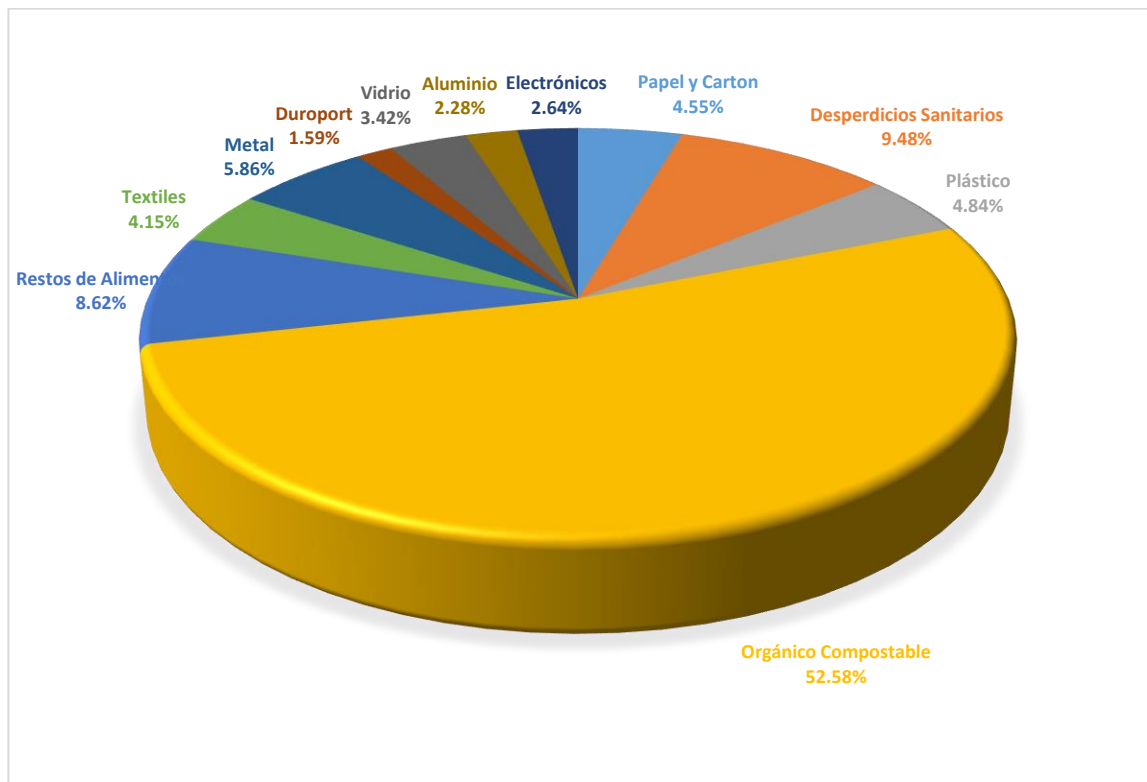
Fuente: elaboración propia.

Al tener definido el terreno donde se realizará la infraestructura para las composteras deberá realizarse un análisis de riesgos, y tener el cuidado de ubicarlo en un lugar donde no se afecte el ordenamiento territorial. En conclusión, la realización de las actividades propuestas ayuda a evitar los impactos ambientales negativos actuales, provocados por la generación y acumulación de desechos sólidos sin tratamiento en un botadero a cielo abierto, y permiten la conservación ambiental.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de la tabla XIV sobre la composición física de los residuos sólidos (de la sección 4.3.3), es posible generar la siguiente gráfica en la que se demuestra que el 52.58 % de los residuos sólidos generados en el municipio son orgánicos compostables, que al ser aprovechados disminuyen el volumen neto de residuos sólidos a depositar en el relleno sanitario.

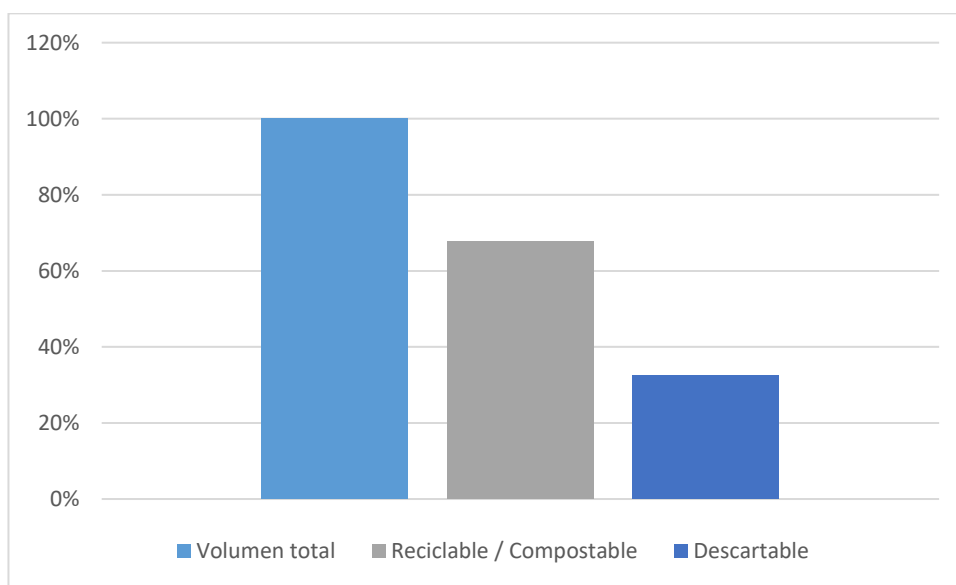
Figura 9. **Composición de los desechos sólidos del municipio de Salcajá**



Fuente: elaboración propia.

A partir de esta gráfica también es posible determinar que los materiales reciclables (papel y cartón, vidrio, aluminio y plástico) generan un volumen total de 15.09 %, estos productos se pueden reciclar y comercializar, lo que puede generar ingresos y reducción del volumen a depositar en el relleno sanitario. Todo esto representa un 67.67 % de reducción en el volumen total a depositar en el relleno sanitario.

Figura 10. **Comparación de volúmenes reciclables respecto a la producción total de desechos**

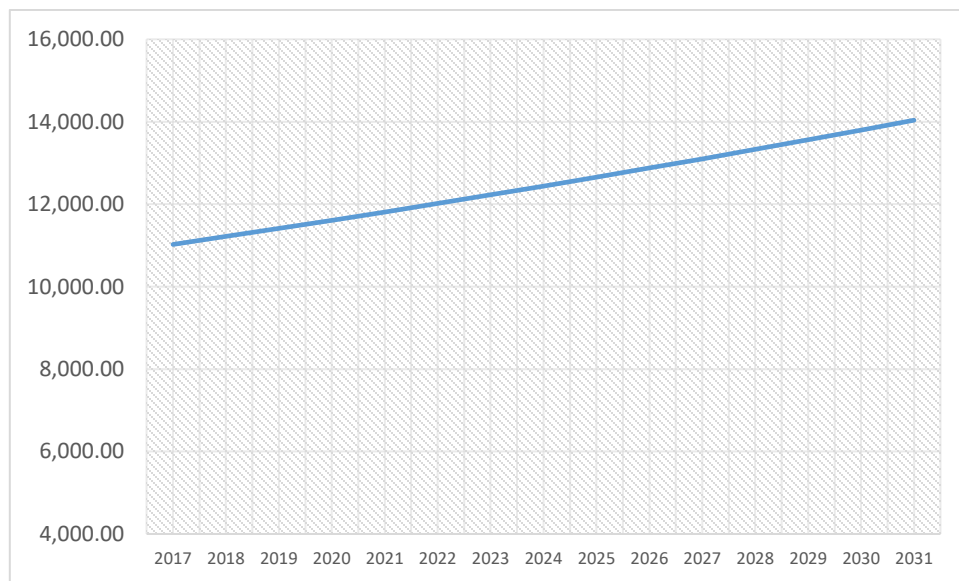


Fuente: elaboración propia.

Con base en la tabla 26 del capítulo 6, se determina que es necesaria la implementación de cobro de una tarifa mensual a cada una de las viviendas que reciben el servicio de recolección de residuos sólidos, con el objetivo de sufragar los gastos operativos, de mantenimiento y de disposición final adecuada de los residuos sólidos.

Para que el proyecto sea sostenible técnicamente debe considerarse tener los ingresos que costeen su operatividad. Es recomendable analizar el comportamiento de la comercialización de los subproductos de los residuos sólidos, con el fin de determinar ingresos reales según el comportamiento del mercado, tomando en consideración datos como los mostrados en la tabla XXIV (sección 7.2), según la cual la proyección futura de la demanda del servicio de recolección sufrirá un incremento del 27 %, respecto al año 1 (2017), con un crecimiento lineal respecto a la producción de desechos sólidos, como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 11. Crecimiento en la producción de desechos sólidos en el municipio de Salcajá en Kg/año



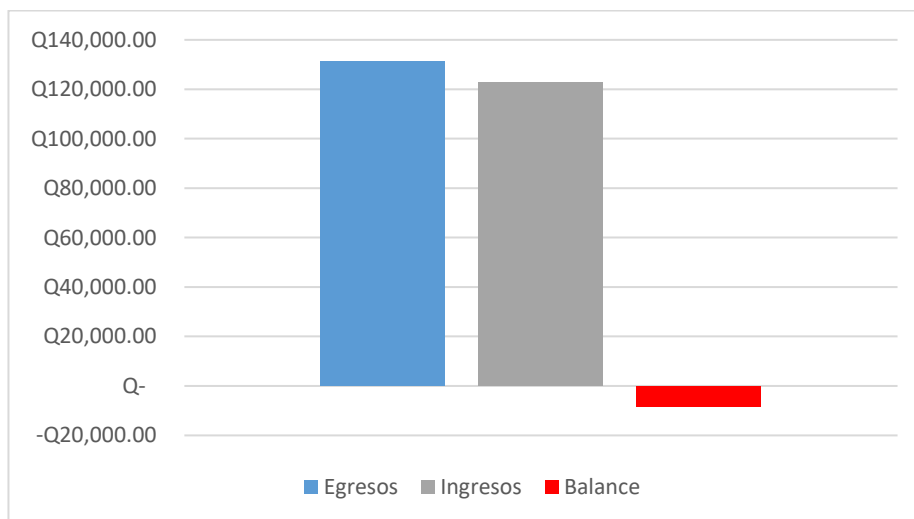
Fuente: elaboración propia.

Según el censo agropecuario publicado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA), en el municipio de Salcajá existen alrededor de 723 productores agrícolas, los cuales son el mercado potencial del compostaje como

fertilizante. Es necesario incentivar este sector de la economía para que crezca en la misma proporción que el crecimiento poblacional y la producción de desechos sólidos inherente a esta.

La tabla XXVI de la sección 7.3.3 proyecta costos mensuales de Q131,150.00 para la gestión integral de los residuos sólidos del municipio de Salcajá (servicio de recolección, barrido de calles y disposición final de los residuos sólidos). La tabla XXVIII de la sección 7.3.3.1, sobre la estimación de los posibles ingresos, muestra un total de Q 122,938.20 que están sujetos a la venta total de los subproductos de los residuos sólidos producidos. Al realizar el balance de ingresos versus egresos mensuales se tiene como resultado un déficit mensual de Q 8,211.80, por lo que la gestión integral de los residuos sólidos del municipio de Salcajá no se considera sostenible, como lo ilustra la figura 12.

Figura 12. **Balance de ingresos y egresos**



Fuente: elaboración propia.

En la sección 7.3.3.1 se propone una tarifa mínima para cubrir el déficit de ingresos versus egresos, considerando que este déficit es fijo en el tiempo.

La realización del compostaje y la práctica del reciclaje contribuyen a la reducción del volumen y peso de los residuos que se llevan al vertedero, estas actividades permiten el uso adecuado del suelo, reducen la contaminación de los mantos acuíferos por infiltración de lixiviados y la proliferación de vectores, contribuyendo en la mejora ambiental y la salud de la población. También permiten la operatividad del sistema de disposición final, extendiendo su vida útil al reducir el volumen de desperdicios a descartar.

CONCLUSIONES

1. El manejo y la disposición final actual de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá no es sostenible técnica y ambientalmente, debido a que el lugar de depósito y los procesos de tratamiento de los desechos no son adecuados, y la municipalidad no cuenta con los suficientes recursos financieros para ejecutar todos los procesos requeridos, por lo que sería necesario establecer una tarifa mínima.
2. La caracterización realizada a los residuos sólidos del municipio de Salcajá muestra como resultado una producción per cápita de 0.52 kg/hab/día, una densidad de campo de 225.92 kg/m³, porcentaje de cenizas de 16.76 %, porcentaje de humedad de 82.68 % y pH de 5.74. La composición de estos residuos es en su mayoría (52.58 %) orgánica. El menor porcentaje de composición son los desperdicios de *duroport*, que representan un 1.59 % del volumen total.
3. El actual manejo y disposición final de los residuos sólidos generados en el Municipio de Salcajá no permite que exista sostenibilidad técnica y ambiental. Se debe mejorar este aspecto, específicamente en lo que respecta a disposición final, ya que actualmente se depositan los desechos en un botadero a cielo abierto, y no se practica separación o reciclaje, ocasionando problemas de contaminación ambiental y daños a la salud de los vecinos.
4. El manejo y disposición final de los residuos sólidos en el municipio de Salcajá sería sostenible técnica y ambientalmente aplicando una tarifa

mínima y el subsidio municipal para completar el costo del servicio, debido a que existe un déficit en el balance de ingresos y egresos de la disposición final de los residuos sólidos, este déficit puede ser cubierto por medio del establecimiento de una tarifa mensual a los beneficiarios del servicio.

5. Existe un mercado para productos reciclables como papel, plástico, vidrio y aluminio que puede ser aprovechado por la municipalidad para generar ingresos y disminuir el volumen requerido para el relleno sanitario.

RECOMENDACIONES

1. La municipalidad debe buscar apoyo técnico, logístico y financiero en instituciones de cooperación internacional que apoyan proyectos de saneamiento para la construcción de un relleno sanitario adecuado para el municipio.
2. La Municipalidad de Salcajá debe fomentar a través de campañas de concientización a los agricultores locales acerca de los beneficios del uso de abonos orgánicos como el compostaje.
3. Generar campañas de concientización a los vecinos de Salcajá para fomentar la reducción de la generación de los residuos sólidos mediante el reciclaje o reaprovechamiento de los materiales presentes en los residuos sólidos.
4. Establecer el cobro de una tarifa por parte de la municipalidad, con el fin de generar un ingreso que permita la operatividad y sostenibilidad del manejo y la adecuada disposición final de los residuos sólidos a manera de que sea autosustentable.
5. Monitorear los indicadores de salud y ambiente que se tienen actualmente y también después de la implementación del adecuado tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

6. Investigar la alternativa del uso del poder calorífico de los residuos sólidos municipales del municipio de Salcajá, para evaluar la factibilidad de la incineración y de la generación de beneficios energéticos de esta.

BIBLIOGRAFÍA

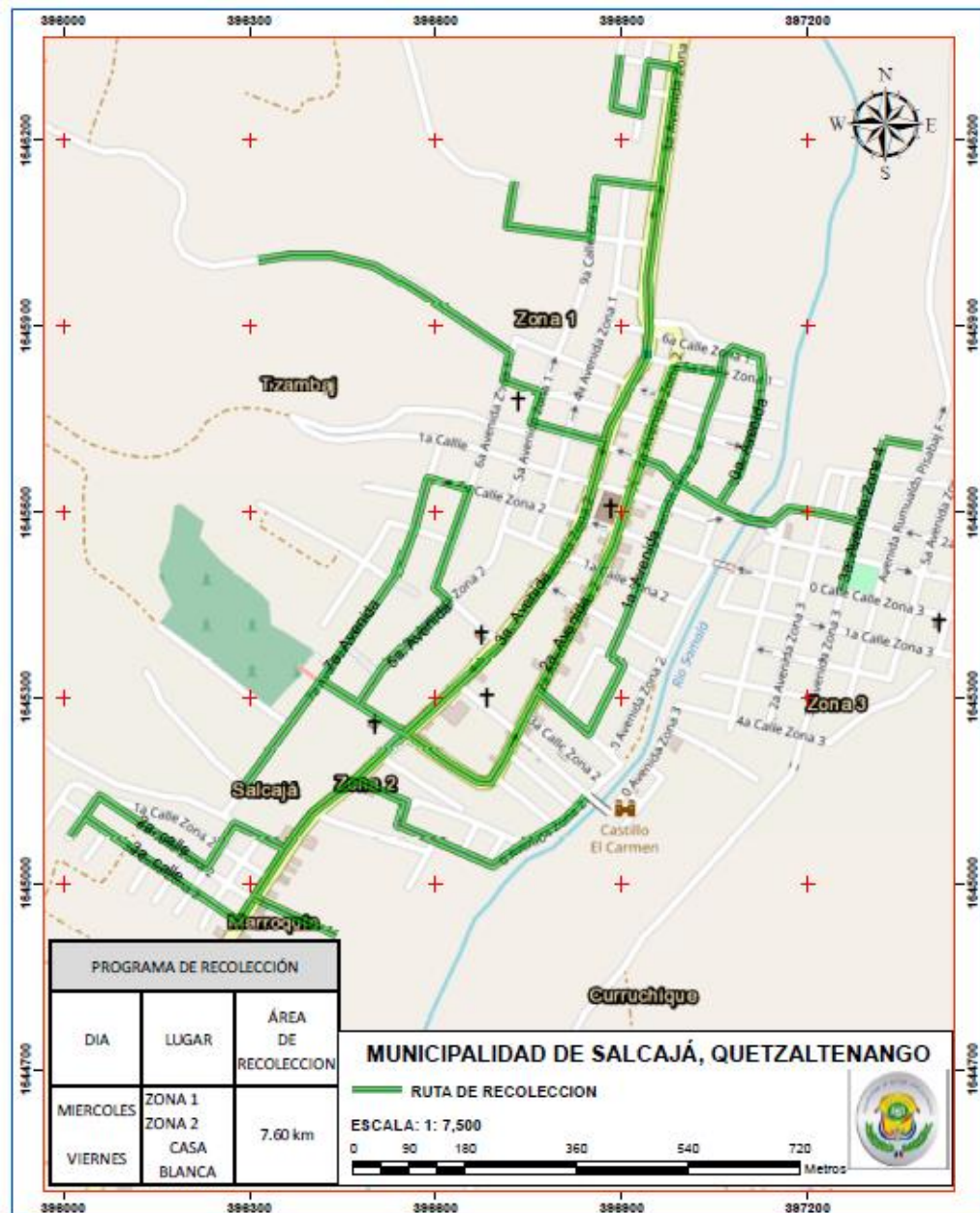
1. AJÚ TELEGUARIO, Marta Lidia. *Programa de agua y saneamiento con enfoque de cuenca en la parte alta de la subcuenca del Río Cuilco. Transversalización del enfoque de género y pueblos indígenas en proyectos de agua y saneamiento*. Guatemala: Cholsamaj, 2017. 143p.
2. CAMINO, Ronnie de.; MULLER, Sabine. *Proyecto IICA/GTZ. Definición de sostenibilidad, las variables principales y bases para establecer indicadores*. Costa Rica: IICA/GTZ, 1991. 90p.
3. Coherencia. *Ideario final*. [en línea].<www.coherencia.pe/https-scribd-comdoc212271285001-ideario-final-1-1/sostenibilidad-ambiental/>. [Consulta: mayo de 2018].
4. Corporación Horizontes. *Curso virtual de responsabilidad ambiental*. [en línea].<<https://es.slideshare.net/CorporacinHorizontes/sostenibilidad-ambiental>>. [Consulta: mayo de 2018].
5. KUNITOSHI, S. *HDT 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. CEPIS/OPS, 1981. 58p
6. LEWIS, Gilroy; MATIAS, Ronald.; et al. *Análisis de la situación del manejo de los residuos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque*. Guatemala: Estudio Especial, 2005. 220p

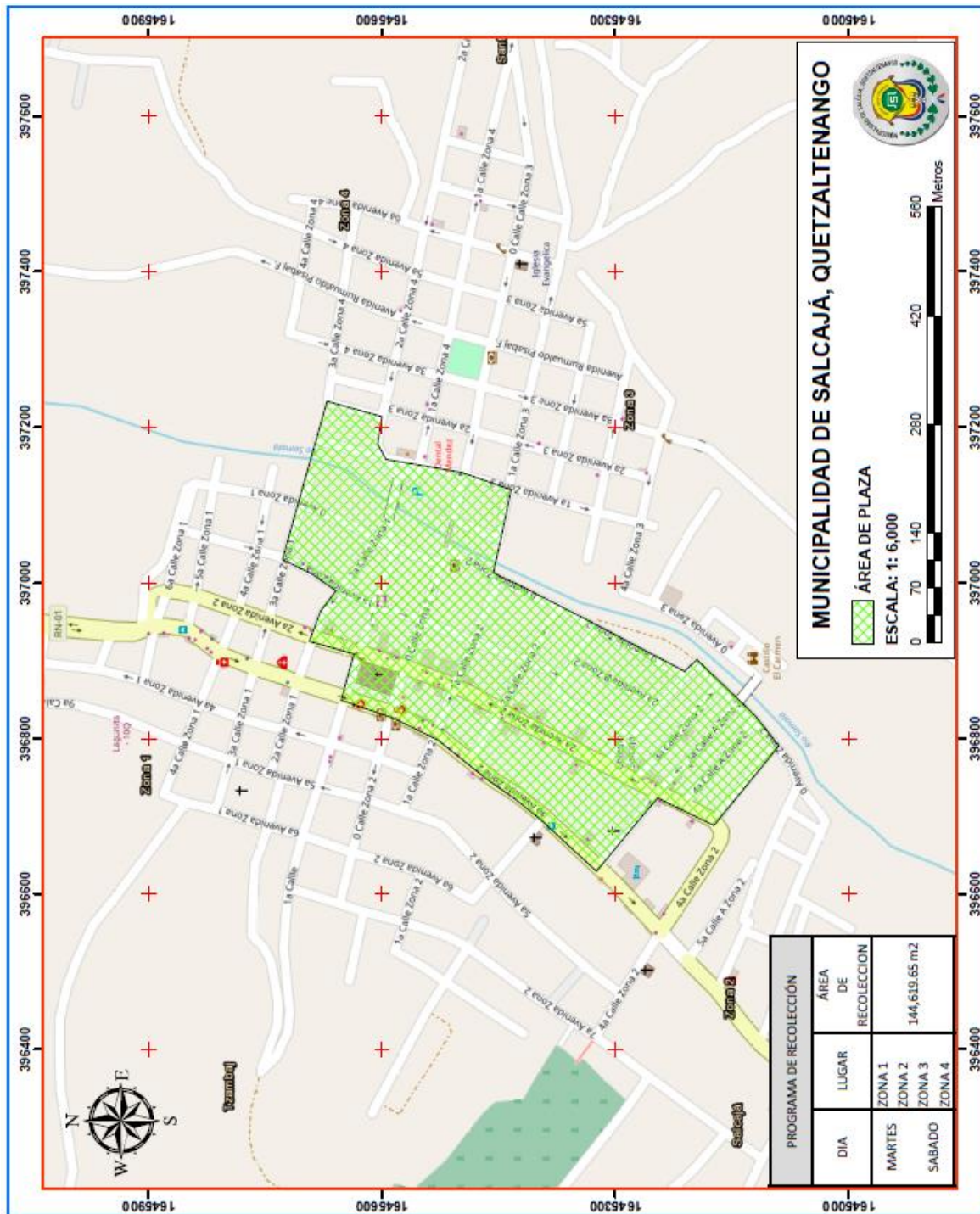
7. Municipalidad de Quetzaltenango. *Memoria de labores de la Dirección del Área de Salud de Quetzaltenango*. [en línea]. <www.mspas.gob.gt/images/files/acercadelmispas/MEMORIALAB ORESMSPAS2016.pdf>. [Consulta: mayo de 2018].
8. GAMBOA, Gabriel.; et al. *Intervenciones basadas en la planificación y gestión territorial de los riesgos del agua y del medio ambiente con enfoque de multiculturalidad y género en el municipio de La Esperanza, Quetzaltenango*. Guatemala: Trabajo de Grado, 2010. 198p
9. SEGEPLAN. *Plan de desarrollo municipal: Salcajá 2011- 2015*. [En línea]. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/PDM_808.pdf>. [Consulta: mayo de 2018].
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Guía práctica para la formulación de planes municipales para la gestión integral de residuos y desechos sólidos*. 1ª ed. Guatemala: Giz, 2016. 62p
11. Oxfamintermon. *Definición de sostenibilidad*. [en línea]. <<https://blog.oxfamintermon.org/definicion-de-sostenibilidad-sabes-que-es-y-sobre-que-trata/>>. [Consulta: mayo de 2018].
12. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Norma MX-AA-61-1985. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Determinación de la generación*. México: Centro de Calidad Ambiental,1985. 13p

13. TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel. *Gestión integral de residuos sólidos*. Volumen 1. España: McGraw-Hill,, 1997. 607p

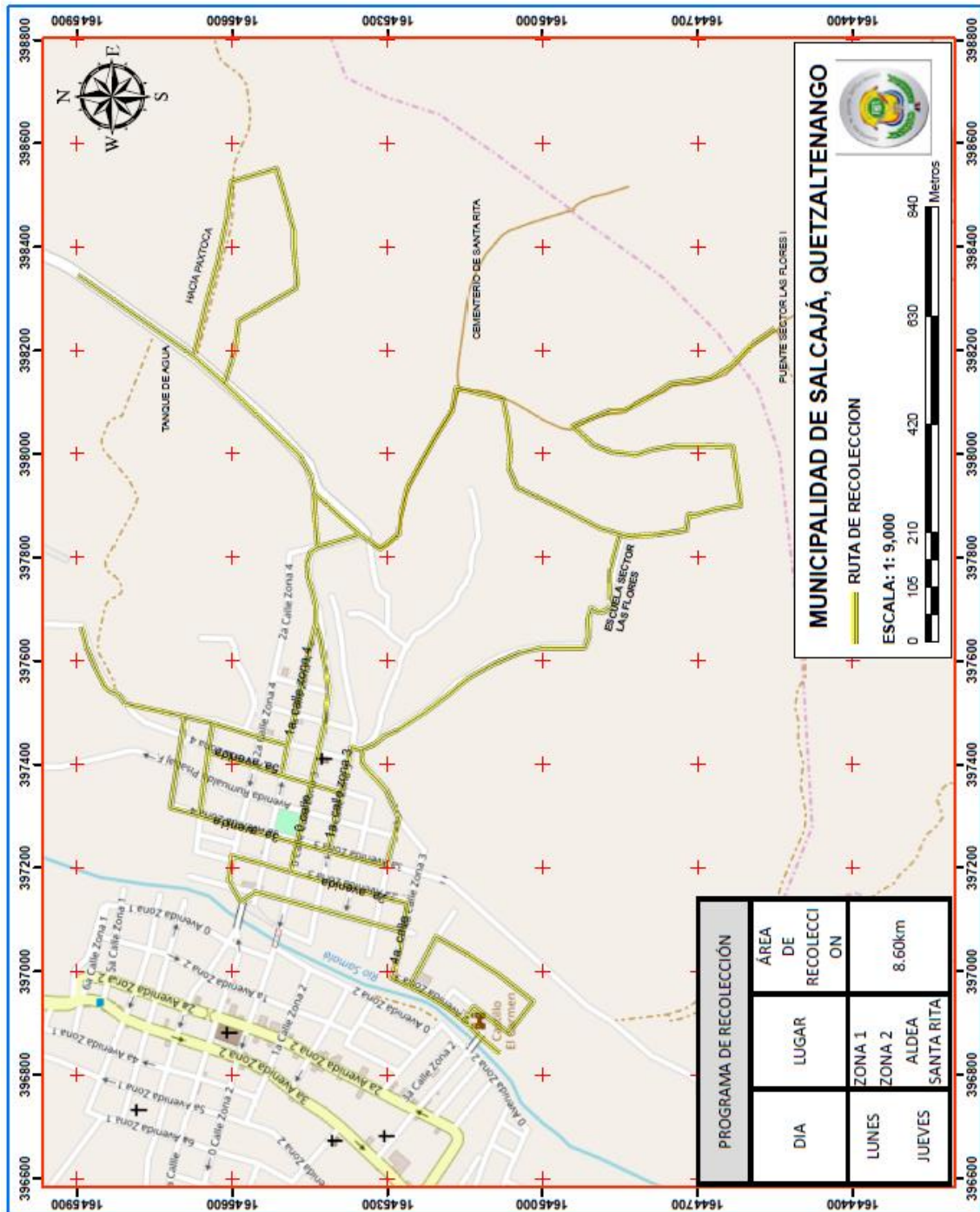
ANEXOS

Anexo I. Rutas de recolección





Continuación Anexo I



Fuente: elaboración propia.