



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Artes en Ingeniería para el Desarrollo Municipal

**DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO**

Arq. Ivan Oscar Roberto Girón Barrios

Asesorado por el MSc. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARQ. IVAN OSCAR ROBERTO GIRÓN BARRIOS
ASESORADO POR EL MSC. ING. MARVIN EDUARDO MÉRIDA CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO
MUNICIPAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Rodolfo Castro García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO**


Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 13 de marzo de 2023.


Arq. Ivan Oscar Roberto Girón Barrios

LNG.DECANATO.OI.459.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO**, presentado por: **Arq. Ivan Oscar Roberto Girón Barrios**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería para el desarrollo municipal después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, mayo de 2023

LNG.EEP.OI.459.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO”

presentado por **Arq. Ivan Oscar Roberto Girón Barrios** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería para el desarrollo municipal**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 8 de noviembre de 2022

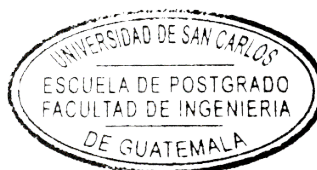
M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACION Y RECOLECCION DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO** del estudiante **Ivan Oscar Girón Barrios** quien se identifica con número de carné **200931472** del programa de Maestria En Ingenieria Para El Desarrollo Municipal.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Maestria En Ingenieria Para El Desarrollo Municipal
Escuela de Estudios de Postgrado


Guatemala, 8 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"DISEÑO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA LA CLASIFICACION Y RECOLECCION DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL SIGUILA, QUETZALTENANGO"** del estudiante **Ivan Oscar Girón Barrios** del programa de **Maestria En Ingenieria Para El Desarrollo Municipal** identificado(a) con número de carné 200931472.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Marvin Eduardo Mérida Cano
Ing. Civil No. Colegiado No. 2013
M.Sc. en Ingeniería Ambiental

Mtro. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano

Colegiado No. 5124

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado los conocimientos necesarios para culminar esta etapa de mi vida.
Mi madre	Magali Barrios, por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida y por darme la oportunidad para desarrollarme profesionalmente.
Mi hermano	Rodrigo Girón, por su apoyo y compañía durante mi vida.
Mis abuelos	Armando Barrios (q. d. e. p.), Amelia Aguilar, por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.
Mi hija	Vania Girón, por motivarme a ser mejor persona cada día y ser mi inspiración.
Novia	Avigail Pérez, por apoyarme en los momentos difícil en el transcurso de esta etapa académica.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Municipalidad de San Miguel Sigüilá	Por apoyarme en la elaboración del estudio de caracterización y por apostar a un mejor desarrollo del municipio.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mi asesor	MSc. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano, por su paciencia y por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Mis amigos	Por su amistad incondicional de toda la vida y sus buenos consejos personales y profesionales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIX
INTRODUCCIÓN	XXXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Residuos sólidos	1
1.1.1. Definición residuos sólidos	1
1.1.2. Generación de residuos sólidos.....	1
1.1.3. Fuente de generación de residuos sólidos	2
1.1.3.1. Domiciliar	2
1.1.3.2. Comercial.....	2
1.1.3.3. Institucional	2
1.1.3.4. Construcción.....	2
1.1.3.5. Servicios municipales	3
1.2. Caracterización de residuos sólidos	3
1.2.1. Definición	3
1.2.2. Método selección de muestra	3
1.2.3. Método de cuarteo	4
1.2.4. Producción per cápita	6

1.2.5.	Densidad residuos sólidos.....	6
1.3.	Clasificación de residuos sólidos	7
1.3.1.	Residuos orgánicos.....	7
1.3.2.	Residuos inorgánicos	7
1.4.	Técnicas aplicables para la clasificación.....	7
1.4.1.	Documentos de apoyo para capacitación	8
1.4.2.	Capacitación técnica para la clasificación	8
1.4.2.1.	Capacitación	8
1.4.2.2.	Capacitación participativa.....	8
1.4.3.	Código de colores para clasificar residuos sólidos	9
1.4.4.	Clasificación primaria de residuos sólidos.....	9
1.4.5.	Clasificación <i>in situ</i>	10
1.5.	Recolección y transporte.....	10
1.5.1.	Objetivo principal de recolección.....	10
1.5.2.	Situación actual de recolección	11
1.5.3.	Método de Sectorización	11
1.5.4.	Método de diagramas rutas de recorrido.....	12
1.5.5.	Método de peine.....	12
1.5.6.	Técnica de simplificación de vías	13
1.5.7.	Método de Identificación de días y horarios	13
1.5.8.	Situación actual del transporte	14
1.5.9.	Propuesta de vehículo para recolección	14
1.5.10.	Método para determinación de unidades recolectoras	15
1.5.11.	Método para determinar cuadrilla para recolección	16
1.6.	Impactos ambientales críticos	17
1.6.1.	Definición impactos ambientales	17

1.6.2.	Herramientas para identificación de impactos ambientales críticos	17
1.6.2.1.	Matriz de Leopold	17
1.7.	Leyes y normativas.....	20
1.7.1.	Acuerdo Legislativo No. 18-93.....	20
1.7.2.	Acuerdo Gubernativo No. 68-86	20
1.7.3.	Acuerdo Gubernativo No. 111-2005	21
1.7.4.	Acuerdo Gubernativo No. 234-2004	21
1.7.5.	Código municipal Decreto No. 12-2002	21
1.7.6.	Código de salud Decreto No. 90-97.....	22
1.7.7.	Acuerdo Gubernativo No. 164-2021	22
2.	MARCO METODOLÓGICO	25
2.1.	Fases del estudio	25
2.1.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	25
2.1.2.	Fase 2: recolección de datos.....	25
2.1.2.1.	Etapas 1: proceso de recolección de información de hábitos y costumbres de la población.....	26
2.1.3.	Fase 3: identificación de áreas de impacto.....	27
2.1.3.1.	Técnica de matriz de Leopold.....	27
2.1.4.	Fase 4: metodología para caracterización de residuos sólidos	29
2.1.4.1.	Identificación de actores y socialización de la caracterización ante involucrados.....	29
2.1.4.2.	Selección de muestra para la caracterización.....	30
2.1.4.3.	Método de cuarteo	30

2.1.4.4.	Proceso de caracterización para residuos sólidos en general.....	31
2.1.4.5.	Determinar la producción per cápita por día (PPC).....	31
2.1.4.6.	Densidad de los residuos sólidos	32
2.1.5.	Fase 5: plan estratégico de clasificación de residuos sólidos.....	32
2.1.5.1.	Reproducción de material de apoyo para concientización y capacitación sobre la clasificación de residuos sólidos	33
2.1.5.2.	Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a personal municipal.....	34
2.1.5.3.	Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a la población de la muestra	34
2.1.5.4.	Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a COCODES	34
2.1.6.	Fase 6: diseño de recolección residuos sólidos	35
2.1.6.1.	Recolección de muestras	35
2.1.6.2.	Sectorización para implementación de un tren de aseo.....	35
2.1.6.3.	Diagramación de rutas de recorrido	36
2.1.6.4.	Identificación de días horarios para recolección	36
2.1.6.5.	Determinación de número de vehículos para la recolección	37

2.1.6.6.	Determinación de número de personas para la cuadrilla para la recolección.....	37
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	39
3.1.	Identificación de hábitos y costumbres de la población en el municipio	39
3.1.1.	Aceptación en el proceso de clasificación	39
3.1.2.	Aceptación en participación en la recolección de residuos sólidos	40
3.1.3.	Clasificación desde el hogar	40
3.1.4.	Recipiente utilizado para acumular los residuos en el hogar.....	41
3.1.5.	Acción para disposición final de residuos sólidos orgánicos generados en el hogar	42
3.1.6.	Acción para disposición final de residuos sólidos inorgánicos generados en el hogar.....	43
3.1.7.	Recolección de residuos sólidos en los hogares	44
3.1.8.	Necesidad de recolección en el municipio	45
3.2.	Impactos ambientales críticos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.....	45
3.3.	Caracterización de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango	51
3.3.1.	Muestra de residuos sólidos generados por día ...	51
3.3.2.	Muestra de residuos específicos	52
3.3.3.	Producción per cápita en el municipio de San Miguel Sigüilá	53
3.3.4.	Densidad de los residuos sólidos del municipio de San Miguel Sigüilá	54

3.4.	Plan estratégico de clasificación, recolección y transporte de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango	55
3.4.1.	Gestión de la clasificación de los residuos sólidos en los hogares	55
3.4.2.	Sectorización del municipio de San Miguel Sigüilá para rutas de recolección	57
3.4.3.	Diagramación de rutas de recorrido	58
3.4.4.	Propuesta de vehículo para la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá.....	62
3.4.5.	Número de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá	63
3.4.6.	Días horarios para recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá.....	64
3.4.7.	Número de personas para cuadrilla recolectora.....	65
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.1.	Análisis sobre las costumbres y conductas de la población del municipio de San Miguel Sigüilá en manejo de residuos sólidos	67
4.2.	Análisis de impactos ambientales críticos en el municipio de San Miguel Sigüilá.....	69
4.2.1.	Análisis de impactos ambientales críticos en el Centro de San Miguel Sigüilá	69
4.2.2.	Análisis de impactos ambientales críticos en aldea La Ciénaga	71

4.2.3.	Análisis de impactos ambientales críticos en aldea El Llano	72
4.2.4.	Análisis de impactos ambientales críticos en aldea La Emboscada	74
4.2.5.	Análisis de impactos ambientales críticos en El sector 1	76
4.3.	Análisis de la caracterización de residuos sólidos en el municipio	78
4.4.	Análisis del plan estratégico de la clasificación, recolección y transporte de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá	79
CONCLUSIONES		83
RECOMENDACIONES		85
REFERENCIAS		87
APÉNDICES		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Método de cuarteo	6
2.	Clasificación primaria	9
3.	Ejemplo de sectorización	11
4.	Ejemplo simplificación de vías	13
5.	Propuesta de unidad recolectora 15 y 19m ³	15
6.	Herramienta de matriz.....	19
7.	Gestión de residuos	33
8.	Aceptación en el proceso de clasificación de residuos sólidos	39
9.	Aceptación en participación de caracterización y recolección de residuos sólidos	40
10.	Clasificación de residuos sólidos desde el hogar.....	41
11.	Recipiente utilizado para acumular residuos sólidos generados desde el hogar	42
12.	Acción para disposición de residuos sólidos orgánicos generados desde el hogar	43
13.	Acción para disposición final de residuos sólidos inorgánicos generados en el hogar	44
14.	Color para residuos orgánicos	56
15.	Color para residuos inorgánicos.....	56
16.	Diagrama de recorrido sector 1	58
17.	Diagrama de recorrido sector 2.....	59
18.	Diagrama de recorrido sector 3.....	60
19.	Diagrama de recorrido sector 4.....	61

20.	Diagrama de recorrido sector 5	62
21.	Propuesta vehículo para recolección	63

TABLAS

I.	Evaluación de impactos ambientales críticos en el Centro de San Miguel Sigüilá	45
II.	Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea La Ciénaga	46
III.	Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea el Llano	48
IV.	Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea la Emboscada	49
V.	Evaluación de impactos ambientales críticos en el sector 1	50
VI.	Muestra total de residuos sólidos generados.....	51
VII.	Caracterización de residuos sólidos específicos	53
VIII.	Muestra y resultados de densidad de residuos sólidos.....	54
IX.	Sectorización del municipio	58
X.	Propuesta vehículo para recolección	63
XI.	Identificación días horario	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Capacidad útil del vehículo
HP	Caballos de fuerza
σ	Desviación estándar de la población
dh	Días hábiles
E	Error permisible
K	Factor cobertura
Ft	Factor de reserva
F	Frecuencia de servicio
°	Grados
=	Igual que
kg	Kilogramos
m³	Metro cúbico
Nr	Número de cuadrilla
N	Número de hogares
n	Número de muestra
Z	Número de unidades de desviación estándar
Nv	Número de vehículos
P	Población
%	Porcentaje
G	Producción de residuos sólidos
PPC	Producción per cápita
Q	Quetzales

GLOSARIO

Ambiente	Conjunto de circunstancias o factores sociales, culturales, morales, económicos, profesionales, entre otros; que rodean una cosa o a una persona, colectividad e influyen en su desarrollo o estado.
Botadero	Área donde se depositan los residuos a cielo abierto sin recibir tratamiento.
Caracterización	Estudio que pretende determinar con precisión algunas características y propiedades del objeto de estudio.
Clasificación	Dividir residuos en grupos de materias similares.
Código Municipal	Tiene por objeto desarrollar los principios constitucionales referentes a la organización, gobierno, administración de los municipios y cumplir con las competencias que le corresponde.
Compostaje	Material tipo humus, bioquímicamente estable constituido por materia orgánica, mineral y cerca del 40 % de agua, pH neutro. Resultado de la descomposición aeróbica, obteniéndose la esterilización, y, anaeróbica, con un producto bajo en área nitratos.

Densidad de basura	(Peso volumétrico) es la relación entre el peso y el volumen ocupado. La densidad de la basura depende del estado de compresión.
Desechos sólidos	Cualquier material incluido dentro de un rango de materiales sólidos, algunos líquidos, que se tiran o rechazan por ser inútiles, excesivos o sin valor. Normalmente no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.
Disposición final	Aislamiento o eliminación definitiva de desechos sólidos comunes o productos generados durante su tratamiento, por medio del uso de tecnologías que garanticen la ausencia o estricto control del riesgo sanitario y ambiental.
Gestión	Conjunto de operaciones y procesos encaminados a la reducción de los residuos sólidos desde su generación, hasta la disposición final.
Impacto ambiental	Efecto que produce la actividad humana sobre el ambiente, es la alteración de la línea de base ambiental.
Lixiviados	Líquidos generados como resultado de la interacción de sustancias en fase líquida que logran tener contacto, por percolación o no, con los residuos y desechos sólidos comunes.

Medio ambiente	Sistema integrado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la intervención humana.
Planta de tratamiento de desechos sólidos	Se define como el espacio para recibir gran cantidad y variedad de residuos sólidos, donde se realizan procesos de separación y clasificación de residuos para su reciclaje o disposición final.
Producción PER cápita	Se define como la cantidad generada de residuos por un habitante por día ($\text{kg}/[\text{habitante} \cdot \text{día}]$).
Residuo sólido	Material producido por actividades humanas, descartado por el que lo genera, pero que sí posee valor intrínseco o extrínseco, por lo que su destino debe de ser aprovechado.
Residuos sólidos inorgánicos	Material de características no biodegradables y origen no biótico producido por actividades humanas, descartado por el que lo genera, pero que sí posee valor intrínseco o extrínseco, por lo que su destino debe de ser aprovechado.
Residuos sólidos orgánicos	Material de características degradables y origen biótico producido por actividades humanas, descartado por el que lo genera, pero que, sí posee valor intrínseco o extrínseco, por lo que su destino debe de ser aprovechado.

Rutas de recolección	Rutas establecidas seguidas en la recolección de residuos no seleccionados o separados en el origen de viviendas, negocios, instalaciones comerciales e industriales.
Transferencia	El acto de transferir residuos de un vehículo de recolección, a vehículos transportadores más grandes.
Tren de aseo	Servicio de recolección, traslado y disposición final de residuos en forma técnica para contribuir con el ornato de un municipio, con la salud de las personas y mitigar en gran medida los problemas ambientales.

RESUMEN

En el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, no se ha contado con un adecuado diseño de gestión integral para la recolección y clasificación de los residuos sólidos, lo que se ha generado por parte de los pobladores del municipio son depositados botaderos a cielo abierto, provocando impactos negativos al medio ambiente.

Para abordar la problemática que atraviesa el municipio fue necesario realizar un proceso adecuado para el manejo de residuos sólidos, partiendo de la caracterizar los residuos generados desde los hogares que es la fuente principal de generación, identificados los tipos de residuos que se han generado en el municipio, posterior al proceso de caracterización, se realizó la clasificación de residuos sólidos y se definió un diseño de rutas de recolección.

Los objetivos y soluciones planteados en la presente investigación aportaron en definir un correcto manejo de residuos sólidos en el municipio, con la participación de la población se pretendió aportar en que formarán hábitos y costumbres para la clasificación de residuos desde los hogares, de esta manera se estableció la correcta disposición final de los residuos generados.

La presente investigación consistió en realizar un diseño de gestión integral para la recolección y clasificación de residuos sólidos, habiendo realizado procesos de socialización ante la población del municipio, la caracterización de residuos sólidos generados en cada hogar, se culminó con la clasificación y un diseño de recolección de residuos sólidos para el municipio de San Miguel

Sigüilá, Quetzaltenango. Así mismo se realizó un análisis de los de los impactos ambientales críticos del municipio.

ANTECEDENTES

Ramos (2018) afirma "que el acelerado crecimiento poblacional, la urbanización y los patrones de producción y consumo de la sociedad guatemalteca, han ocasionado como resultado un incremento en la generación de desechos sólidos y una particular composición de los mismos" (p. 26).

Ramos (2018) refiere que para contrarrestar los efectos ambientales negativos que la basura representa en el municipio, es necesario priorizar y ejecutar un plan de gestión integral de residuos para el municipio. "Realizar una propuesta para que la municipalidad de Patzicía, Chimaltenango, implemente, desde una perspectiva técnica, un tren de aseo que posibilite la solución del problema de desechos tirados en las calles del municipio" (p. 37).

Ramos (2018) afirma que "determinar la gestión adecuada de los desechos sólidos en la cabecera municipal de Tejutla, para reducir la contaminación del ambiente" (p. 30).

"El objetivo general de la investigación se enfoca en proponer una gestión adecuada para el manejo y disposición final de los desechos sólidos del municipio de Tejutla, a través de procedimientos que generalicen la presentación del servicio con calidad" (Ramos, 2018, p. 33).

Ramos (2018) concluye que "actualmente el manejo de los desechos sólidos en el municipio de Tejutla, es inadecuado y es uno de los principales problemas del municipio, porque tiene un efecto directo en la salud de la población y en el medio ambiente" (p. 108).

"La implementación del programa de gestión integral de desechos sólidos en el municipio de Tejutla, contribuye a mejorar el servicio de recolección proporcionando tratamiento y manejo adecuado para cada tipo de desecho" (Ramos, 2018, p. 74).

Castañeda (2019) propone que "caracterizar el problema de los desechos sólidos en las calles y avenidas del casco urbano del municipio de Patzicía, departamento de Chimaltenango" (p.37).

Castañeda (2019) define que "determinar los parámetros técnicos para la implementación de un tren de aseo en el casco urbano del municipio de Patzicia, departamento de Chimaltenango" (p. 37).

Castañeda (2019) refiere que el objetivo general del estudio realizado, con base a la problemática identificada dar posibles soluciones para mejorar los servicios relacionados con la basura en centro poblado, para lograr los objetivos planteados en el estudio realizado se diagnosticara sobre qué es lo que realiza la administración municipal actual para tratar los residuos y así poder determinar las causantes reales que provocan los efectos negativos al entorno físico, ambiental y social.

"La identificación de un ambiente limpio en el municipio principalmente en las calles y avenidas es una responsabilidad primero de la comunidad y después de la municipalidad" (Castañeda, 2019, p. 51).

Para lograr los objetivos de la investigación el autor concluye que es necesaria la creación de infraestructura para realizar compostaje como propuesta principal de la investigación, diagnosticando e identificando los efectos

principales ocasionados por la mala gestión municipal con respecto a los residuos generados por la población del centro poblado (Castañeda, 2019).

Castañeda (2019) concluye que "se establecieron los procedimientos necesarios para una operación eficiente y eficaz en el servicio de recolección y disposición final de los desechos sólidos, por parte de la Municipalidad" (p. 61).

La implementación de un correcto modelo o plan de gestión para solucionar la problemática a niveles micro y macro en un centro poblado, en este caso Villa Nueva, incluyendo en dicho plan el procedimiento para caracterizar dos variantes que, al ser analizadas, se puede determinar qué tipo de caracterización se produce en el municipio para poder realizar propuestas para sus posibles soluciones (Flores, 2018).

Flores (2018) define: "Describir el modelo de gestión para la erradicación de basureros clandestinos, a partir del estudio de los dos casos emblemáticos (por el volumen de sus desechos y demás características) en el municipio de Villa Nueva" (p.36)

Se concluye en su investigación que es transcendental poseer conocimientos acerca de la correcta gestión municipal para tratar el tema de saneamiento con enfoque hacia la basura que se acumula en espacios públicos, así mismo el mejoramiento del ornato de la ciudad y espacios públicos, para poder solucionar los problemas que representan los basureros a cielo abierto en el centro poblado, esto lograrlo por medio de un plan de gestión (Flores, 2018).

El objetivo general del documento es realizar una propuesta de implementación que involucra a la municipalidad para por parte de una buena gestión se realice un diseño de ruta para que un tren de aseo recolecta lo

generado, depositados en espacios abiertos o contenedores municipales (Morales, 2016).

"La implementación de este tren de aseo posibilita el desarrollo municipal, además es útil para que la municipalidad establezca un control sobre la generación de desechos sólidos en el casco urbano, una contribución de ornato, incrementando sus ingresos " (Morales, 2016, p. 27).

Morales (2016) establece que "realizar una propuesta para que la municipalidad de Patzicía, Chimaltenango, implemente, desde una perspectiva técnica, un tren de aseo que posibilite la solución del problema de desechos tirados en las calles del municipio" (p. 37). Para lograr lo planteado en el estudio y reducir los impactos negativos que esto representa a la población en general, es imprescindible la ejecución de todas las fases que comprende la propuesta.

"En el estudio se pudo comprobar que la municipalidad realiza un barrido empírico dentro de una pequeña área donde se establece el mercado, dejando el resto de las zonas sin el servicio de limpieza" (Morales, 2016, p. 154).

Rodríguez (2016) define que "para contribuir a la disminución de la contaminación se propone estudiar los condicionamientos para la construcción de un centro de acopio para el manejo eficiente de los desechos sólidos que se generan en el mercado municipal" (p. 32).

"Incorporando rutas de evacuación para estos residuos y al mismo tiempo obtener recursos económicos y financieros para mitigar las necesidades del municipio" (Rodríguez, 2016, p. 32).

"Realizar una propuesta para la construcción de un centro de acopio mediante un modelo mínimo para el manejo de los desechos sólidos del mercado municipal de Casillas, Santa Rosa" (Rodríguez, 2016, p. 39).

"La carencia de estudios de impacto ambiental que ondeen la problemática que existe por la acumulación de los desechos sólidos en los locales del mercado municipal, ocasiona vulnerabilidad al deterioro de la salud, del ambiente y del paisaje" (Rodríguez. 2016, p. 165).

Rodríguez (2016) afirma que "la implementación de un centro de acopio para el manejo eficiente de los desechos sólidos generados en el mercado municipal de Casillas, debe ser un proyecto prioritario por sus implicaciones en el deterioro de la salud y el medio ambiente" (p.165).

"En el mercado municipal de Casillas, Santa Rosa inexistencia un lugar adecuado para la concentración de los desechos sólidos que a diario se generan, es uno de los principales factores de contaminación que afectan al ambiente y a la salud" (Rodríguez, 2016, p. 165).

"Los beneficios lógicos que ofrece la implementación de un centro de acopio para el manejo eficiente de los desechos sólidos del mercado municipal, forman parte de las aspiraciones de la población" (Rodríguez, 2016, p.162).

Así mismo define que "la realización de esta propuesta dará al municipio la oportunidad de colocarse en una posición privilegiada en relación a las municipalidades que trabajan y trabajaron conscientemente y en concordancia, con la consecución de los objetivos del milenio" (Rodríguez, 2016, p. 162).

"Los beneficios lógicos que ofrece la implementación de un centro de acopio para el manejo eficiente de los desechos sólidos del mercado municipal, forman parte de las aspiraciones de la población" (Rodríguez, 2016, p. 162).

Así mismo define que "la realización de esta propuesta, dará al municipio la oportunidad de colocarse en una posición privilegiada en relación a las municipalidades que trabajan y trabajaron conscientemente y en concordancia, con la consecución de los objetivos del milenio" (Rodríguez, 2016, p. 162).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A través de los años la inadecuada clasificación y recolección de residuos sólidos a nivel mundial ha provocado consecuencias previsibles y una considerable huella ecológica ambiental en el cual los países más desarrollados han intentado dar una solución a la problemática sin poder encontrar dichas soluciones al caso. En el municipio de San Miguel Sigüilá no se cuenta con un plan de clasificación y recolección de residuos sólidos para solucionar dicho problema, así mismo no se cuenta con recursos financieros asignados para actividades de aseo de sitios públicos en la cabecera y aldeas del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

Ante la nula planificación municipal para solucionar la problemática de la clasificación y recolección de residuos sólidos provoca que en primera instancia no se cuenten con los recursos financieros necesarios para una existente y correcta clasificación y recolección de los residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, esto provocando la nula práctica de clasificación y separación de basura desde los hogares del municipio para una correcta disposición final de los residuos sólidos.

Una de las principales causas del problema, es que el municipio no cuenta con un centro de clasificación y transferencia, ni las personas capacitadas para el manejo adecuado de los residuos sólidos, así mismo no se realiza una caracterización de los residuos sólidos generados en el municipio de San Miguel Sigüilá. A esto se le adiciona la falta de educación ambiental y buenas prácticas por parte de la población del municipio con respecto al manejo de residuos sólidos.

La acumulación de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, produce focos de contaminación en el casco urbano y en las aldeas del municipio, el volumen recolectado de residuos sólidos son quemados por parte de la municipalidad y la población general, generando gases tóxicos, esto provocando una huella ecológica al medio ambiente y así mismo el incremento de morbilidad a la población del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

En base a la problemática que existe se plantean las siguientes preguntas de investigación, siendo la principal la siguiente: ¿Cuál sería la solución a implementar por parte de la municipalidad para la problemática de clasificación y recolección de los residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango?, Y como preguntas específicas: ¿Cuál es la incidencia social sobre la clasificación de los residuos sólidos, en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango?; ¿Cuáles serían los impactos ambientales críticos en la gestión actual de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango?; ¿Cuáles son las características de los residuos sólidos generados en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango?; ¿Qué tipo de estrategias de clasificación y recolección de residuos sólidos se podrían implementar en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango?

OBJETIVOS

General

Formular una propuesta de gestión para la clasificación y recolección de residuos sólidos del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

Específicos

1. Identificar por medio de un análisis los hábitos y costumbres de la población en el municipio de San Miguel Sigüilá, sobre la clasificación y manejo de residuos sólidos.
2. Evaluar los impactos ambientales críticos en la gestión actual de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.
3. Definir la caracterización de los residuos sólidos generados en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.
4. Establecer un plan estratégico de clasificación, recolección y transporte en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación es de carácter cualitativa, debido a que por medio del presente documento se recabo información utilizando como instrumento boletas de campo para la recopilación de datos sobre los hábitos y costumbres de la población del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango. De igual manera se utilizaron matrices para la valoración cualitativa de los impactos ambientales críticos en la gestión actual de residuos sólidos.

Así mismo, la presente investigación es de carácter descriptiva no experimental, debido a que se describió la situación actual del municipio sobre la gestión y manejo de residuos sólidos, y no experimental porque no se realizaron procesos de manipulación de variables.

En la primera fase del estudio se realizó el análisis de antecedentes e identificación de los actores para definir la competencia de la operatividad de la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango. Así mismo se realizaron consultas bibliográficas para determinar las metodologías y procesos para diseñar un plan estratégico de clasificación y caracterización que incluya un diseño de rutas de recolección de residuos sólidos para el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

Como segunda fase, por medio de boletas de campo para muestreo de generación de residuos sólidos a la población se recolectó la información necesaria para obtener datos para identificar los hábitos y costumbres sobre la clasificación y manejo de residuos.

Como parte de la segunda fase y para dar respuesta al segundo objetivo de la metodología se evaluaron los impactos ambientales críticos en la gestión actual de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, se utilizó la técnica de matriz de Leopold principalmente en la presente investigación debido a que el estudio es de metodología cualitativa, el cual se halló el valor de importancia para cada impacto ambiental evaluado, siendo calificados en altos, medios y bajos siguiendo el esquema metodológico.

En la tercera fase de la metodología se realizó la caracterización de los residuos sólidos generados por la población del municipio de San Miguel Sigüilá, como primer paso la socialización en reunión de COMUDE ante las autoridades e instituciones de gobierno que conforman el pleno del COMUDE con el fin de conseguir el apoyo de las autoridades locales y municipales, donde se expresó la importancia y procedimientos para realizar la clasificación de residuos desde el hogar, posterior a ello se procedió a capacitar a la población por medio de jornadas de clasificación a la población en las reuniones de los COCODES.

Se determinó la muestra a utilizar para el suministro de boleta de encuesta para identificar los hábitos y costumbres de la fuente principal de generación de residuos sólidos del municipio y la muestra para realizar la caracterización de residuos sólidos. De las viviendas seleccionadas para la realizar la caracterización, se les proporcionaron bolsas de basura para los siete días que duró la caracterización, así mismo se identificó cada una de las viviendas con el fin de definir la procedencia de los residuos recolectados.

Para realizar la caracterización de residuos sólidos se utilizó el método de cuarteo, el cual consistió en la separación de la muestra obtenida de los residuos sólidos recolectados en un día en específico en cuartos hasta que se obtuvo una

muestra manejable para realizar el proceso de caracterización de residuos sólidos específicos de cada muestra recolectada.

Partiendo de la recolección de muestras obtenidas se realizó el registro en la boleta de campo para muestreo de generación de residuos sólidos específicos, con el fin de tabular por siete días los resultados obtenidos de cada muestra recolectada. Los datos recolectados se utilizaron para determinar la producción per cápita por día PPC de residuos sólidos generados por una persona en el lapso de un día. Para determinar la densidad de los residuos sólidos se procedió a pesar la basura en un tonel vacío, el cual tenía un volumen interno de 0.065 m^3 , este peso se procedió a dividir entre el volumen de dicho tonel.

Como cuarta fase se realizó la sectorización del municipio como primera etapa del diseño de las rutas, la cual consistió en dividir el territorio en sectores tomando en consideración la cantidad y densidad poblacional de cada uno de los sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo, utilizando toda su capacidad y así poder realizar la diagramación de diseño de rutas.

La diagramación fue la segunda etapa del diseño de las rutas y consistió en desarrollar una ruta de recorrido para cada sector, de manera que permita a cada equipo llevar a cabo el trabajo de recolección de basura con una menor cantidad de tiempo y recorrido. En cuanto a trazo de rutas de recolección se utilizó el método de peine, que consiste en la recolección de ambos lados de las vías a la misma hora, esto se debe a que las zonas del municipio son de escasa densidad poblacional.

Como tercera etapa se procedió a realizar la propuesta de vehículo recolector que se usará para el servicio de recolección, tomando en cuenta la

optimización del tiempo de recolección, condiciones de apariencia e higiene, y reducción de costos en transporte de volumen y peso de residuos sólidos. Posterior a este procedimiento la determinación de unidades de recolección para cubrir la demanda que se debe cubrir la necesidad.

Habiendo determinado la cantidad de vehículos que brindaran el servicio y habiendo definido el territorio por sectores por donde recolectarán las unidades, como cuarta etapa se realizó el cálculo para fijar la cantidad de cuadrillas para cada una de las unidades.

INTRODUCCIÓN

El municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, es uno de los municipios con menor población del departamento de Quetzaltenango, sin embargo el municipio está en un proceso de crecimiento económico y poblacional, por lo que la generación de residuos sólidos es más notable con el paso del tiempo, y el municipio al no contar con un plan de gestión de residuos sólidos, se depositan en botaderos clandestinos a cielo abierto o incinerados, acciones que provocan daños al medio ambiente y morbilidad hacia la población por la acumulación de los residuos generados en el municipio.

Partiendo de la problemática identificada, la presente investigación propone realizar una identificación de impactos ambientales críticos de la presente gestión municipal, presentando los resultados de la evaluación para determinar las acciones a realizar para contrarrestar los efectos que estos provocan. Así mismo se propone realizar un diseño de gestión integral para la clasificación y recolección de residuos sólidos para el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, por medio un proceso de caracterización, clasificación y diseño de rutas de recolección de residuos sólidos.

En la presente investigación se espera como resultado principal la implementación de un diseño de gestión integral para la clasificación y recolección de residuos sólidos para el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, obteniendo como beneficios principales, la conservación del medio ambiente y recursos naturales, mejorar los servicios públicos municipales y disminuir la morbilidad de la población a causa de la acumulación de residuos sólidos a cielo abierto.

Para lograr los objetivos de la presente investigación se emplearán las siguientes metodologías de trabajo; recolección de datos de los hábitos y costumbres sobre el manejo de residuos sólidos domiciliarios, para la identificación de impactos ambientales críticos se utilizará la herramienta de Matriz de Leopold. Para la identificación de los tipos de sólidos generados en el municipio, se realizará la caracterización de residuos aplicando las metodologías de selección de muestra y método de cuarteo para definir la producción per cápita por día por persona, esto con el fin de crear un diseño de recolección de residuos sólidos, por medio de la sectorización del territorio para el tren de aseo, diagramación de rutas de recorrido, determinación de días horarios para la recolección, personas por cuadrilla, cantidad y tipo de vehículos para la recolección. Para finalizar se realizará un análisis técnico y financiero para determinar la factibilidad de la implementación de la metodología.

El presente documento se realizará en cuatro capítulos, el primero de ellos contará con toda la información teórica, legal y metodológica que se utilizará en la presente investigación, de estas teorías y metodologías utilizadas se procede a realizar el segundo capítulo que consta de realizar la recolección de datos, producto de cada uno de los procedimientos y metodologías en el proceso de investigación. En el tercer capítulo de la investigación se procederá a presentar los resultados obtenidos derivados del segundo capítulo, para realizar el análisis estadístico y de discusión de los resultados del presente estudio. En el capítulo final del documento se realizará la factibilidad del presente estudio, realizando un análisis financiero y viabilidad económica para realizar las propuestas descritas para lograr los objetivos de la presente investigación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Residuos sólidos

“Aquellos cuya naturaleza no representa, en sí misma, un riesgo especial a la salud humana o al ambiente; por lo que no poseen características tóxicas, corrosivas, reactivas, explosivas, patológicas, infecciosas, punzocortantes, radiactivas u otras de similar riesgo” (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 7).

1.1.1. Definición residuos sólidos

"El término residuos sólidos es inclusivo y comprende todas las fuentes, tipos de clasificaciones, composiciones y propiedades" (Tchobanoglous, 1982, p. 52). Boada (2004) afirma que "un material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño" (p. 56).

1.1.2. Generación de residuos sólidos

"La generación de residuos sólidos está relacionada con el ingreso per cápita, lo que refleja el impacto neto de varias relaciones implícitas, tales como los efectos del ingreso sobre el consumo, sobre la distribución de consumo entre bienes y servicios" (Rondón, 2016, p. 20).

1.1.3. Fuente de generación de residuos sólidos

La generación de residuos sólidos en un territorio puede darse desde varios tipos de fuentes, siendo la domiciliar una de las principales.

1.1.3.1. Domiciliar

El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a estas.

1.1.3.2. Comercial

Los residuos generados desde la fuente comercial van enfocados en la producción de cartón, papel, plásticos y residuos de comida (Michael, 1996).

1.1.3.3. Institucional

Son los residuos generados en escuelas, hospitales e instituciones gubernamentales, este tipo de residuo tiene similitud con los residuos generados en los comercios (Michael, 1996).

1.1.3.4. Construcción

Este tipo de residuo sólido es de los más comunes encontrar en el municipio, al ser un municipio en desarrollo, la infraestructura va de la mano con él, este tipo de residuo se caracteriza por ser madera, acero, hormigón y PVC (Michael, 1996).

1.1.3.5. Servicios municipales

Estos residuos son los recolectados del procedimiento de limpieza de calles y espacios públicos que se encuentren a cargo de las administraciones municipales (Michael, 1996).

1.2. Caracterización de residuos sólidos

"Estudio técnico por medio del cual se obtiene una estimación de la cantidad generada, la composición y la densidad de los residuos y desechos sólidos que son generados dentro de una jurisdicción territorial" (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 6).

1.2.1. Definición

"La gestión integral de los residuos y residuos sólidos a nivel municipal implica conocer las características principales de los residuos con relación a la generación, composición y densidad, con el objetivo de diseñar de manera técnica y sustentable la recolección" (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2018, p. 6).

1.2.2. Método selección de muestra

"Es necesario fijar un número mínimo de muestras tal que, los resultados a obtener reflejen cierto grado de confianza y reducido porcentaje de error las condiciones prevalecientes en universo proporcional identificando la composición física respecto al porcentaje de error permisible" (Mejía, 2017, p. 19). Este método se emplea para identificar la muestra que se utilizara para realizar el presente estudio los datos a utilizar serán los siguientes:

Mejía (2017), establece el siguiente método:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N - 1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

n = número de muestras estimadas

N = número de hogares

Z = número de unidades de desviación estándar en la distribución normal que producirá el nivel de confianza (nivel de confianza 95 % = 1.96)

σ = desviación estándar de la población (0.25 conocida por estudios anteriores)

E = error permisible, diferencia máxima entre la proporción muestral y la proporción de la población que se está dispuesto a aceptar en el nivel de confianza que se indicó (0.05)

1.2.3. Método de cuarteo

"El procedimiento a emplear para establecer la composición física de los residuos sólidos" (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2018, p. 16).

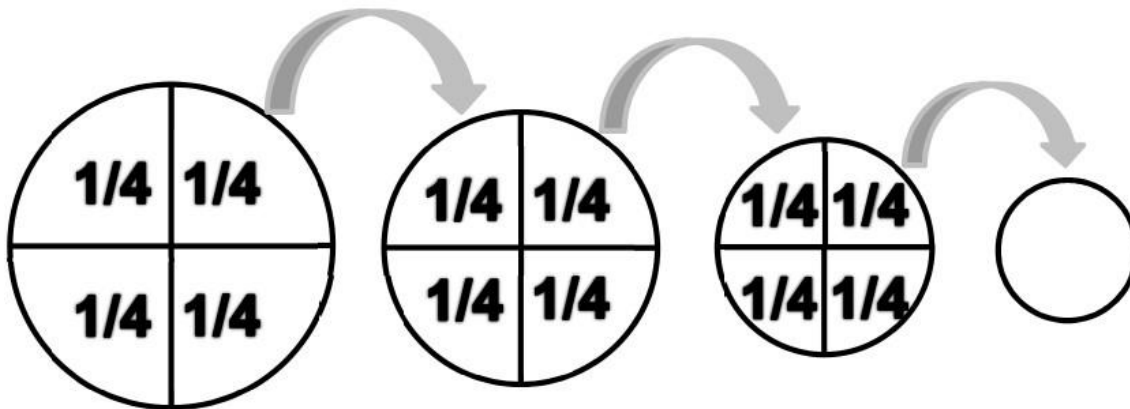
Este procedimiento se define como la partición de la muestra obtenida de la basura recolectada en un día en específico, para poder realizar la separación de la muestra (MARN, 2018).

Por medio de este método se debe realizar el siguiente procedimiento:

MARN (2018), establece el siguiente método:

- Se saca el contenido de todas las bolsas del estrato definido y se vierten en un área donde se mezclan con la ayuda de palas.
- Después de mezclar los residuos sólidos, se procede a dividir en cuatro partes.
- Se seleccionan dos cuartetos opuestos y se retiran los otros dos restantes, a modo de reducir la muestra.
- Se seleccionan dos cuartetos opuestos y se retiran los otros dos restantes, a modo de reducir la muestra.
- Repetir el procedimiento de cuarteo hasta obtener una muestra de aproximadamente de 100 libras que será utilizada para realizar la composición de los residuos sólidos.
- Al contar con la muestra se clasifica según el tipo de residuo.
- Al clasificar según el tipo de residuo se pesa cada uno por separado.
- Luego de obtener el peso de cada residuo y con base al peso inicial de la muestra de cuarteo, se saca el porcentaje de cada residuo. (p. 16)

Figura 1. **Método de cuarteo**



Fuente: MARN (2018). *Guía para elaborar estudios de caracterización de residuos sólidos comunes.*

1.2.4. **Producción per cápita**

"El PPC se entiende como la producción de residuos generados por persona en el lapso de un día" (MARN, 2018, p.15). El procedimiento se realizará de la siguiente manera utilizando la siguiente fórmula:

$$PPC = \left(\frac{\text{Peso total de las muestras (libras o kilos)}}{\text{Número total de personas de la muestra}} \right) \times \frac{1}{7} \text{ días} \quad (\text{Ec. 2})$$

1.2.5. **Densidad de residuos sólidos**

"Densidad estima la relación entre el peso y el volumen que ocupan los residuos en un determinado contenedor" (Rondón, 2016, p.53). La medición de la densidad se realiza con el siguiente procedimiento:

$$\text{Densidad de los residuos } D\left(\frac{kg}{m^2}\right) = \left(\frac{\text{Peso de la basura en kg}}{\text{Volumen del tambor en m}^2}\right) \quad (\text{Ec. 2})$$

1.3. Clasificación de residuos sólidos

“Segregación metodológica de los residuos y desechos sólidos comunes, al momento de su generación, en categorías establecidas de acuerdo con sus características físicas y químicas” (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 7).

1.3.1. Residuos orgánicos

El residuo sólido orgánico define que es todo aquel que proviene de la agricultura y producciones alimenticias provenientes de fuentes animales. "En Guatemala representan más del 50 % de los residuos sólidos generados en los hogares y entre sus características principales está su rápida descomposición" (MARN, 2018, p. 8).

1.3.2. Residuos inorgánicos

El significado de residuos inorgánicos hace referencia a todos aquellos materiales de desecho cuyo origen no es biológico, a diferencia de los orgánicos, residuos inorgánicos han sido fabricados en procesos industriales y artificiales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010).

1.4. Técnicas aplicables para la clasificación

Para implementar la clasificación se debe de orientar a los pobladores, pudiendo ser por medio de documentos de apoyo y capacitaciones técnicas para la clasificación.

1.4.1. Documentos de apoyo para capacitación

- Tríptico: son documentos en digital o físicos cuya función es informar, promocionar o brindar información de carácter puntual sobre alguna actividad a realizarse, se caracteriza por estar conformado por dos o tres partes iguales, dobladas hacia el centro para hacer un documento compacto.
- Panfleto: este documento se considera una herramienta para difusión de información, suele ser un documento de apoyo de reproducción de bajo costo.

1.4.2. Capacitación técnica para la clasificación

La población se deberá capacitar técnicamente para clasificar correctamente los residuos sólidos generados desde los hogares del municipio de San Miguel Siguilá.

1.4.2.1. Capacitación

Está enfocado para fortalecer habilidades y conocimientos sobre un proceso, propósito o actividad, está estructurado en etapas planificadas para lograr el objetivo de la capacitación (Orozco, s.f.)

1.4.2.2. Capacitación participativa

Este tipo de capacitación está diseñada para que los actores involucrados analicen sus acciones y actitudes en un tema específico, con la participación se refuerza en los aspectos esenciales para el fortalecimiento en

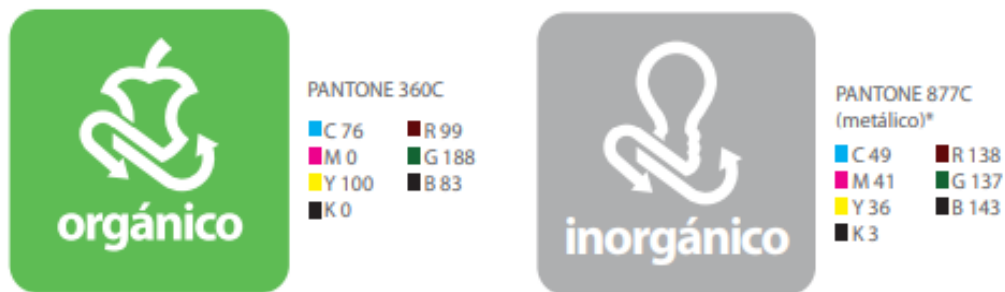
capacidades y técnicas del tema o acción que se debe de abordar (Orozco, s.f.).

1.4.3. Código de colores para clasificar residuos sólidos

La identificación por formas y tonalidades que represente los residuos producidos desde los hogares y la implementación ante la población es representación de buenas prácticas y hábitos sanitarios (SEMARNAT, 2010).

En la presente investigación se tiene contemplado realizar únicamente clasificación primaria, los colores para dicho procedimiento son los siguientes.

Figura 2. Clasificación primaria



Fuente: SEMARNAT (2010). *Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los residuos sólidos urbanos.*

1.4.4. Clasificación primaria de residuos sólido

La clasificación primaria se le denomina al proceso de separación de lo generado en orgánicos e inorgánicos, este procedimiento tiene una mejor eficacia desde la generación principal, la cual son los hogares del municipio. (MARN, 2018).

1.4.5. Clasificación *in situ*

"El manejo en el origen se refiere a actividades asociadas con el manejo de los residuos sólidos hasta que son colocados en recipientes utilizados para su almacenamiento antes de la recolección" (Tchobanoglous, 1982).

1.5. Recolección y transporte

"Traslado de los residuos y desechos sólidos comunes hacia el sitio donde serán sometidos a transferencia, tratamiento o disposición final; utilizando para el efecto, los vehículos y el personal necesario" (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 8).

1.5.1. Objetivo principal de recolección

"Elemento funcional de recolección, como se usa en este libro, incluye no solamente la recogida de los residuos sólidos, sino también el acarreo de los residuos después de la recolección hasta el lugar donde es vaciado el vehículo de recolección" (Tchobanoglous, 1982, p. 27).

Mientras que las actividades de transporte y descarga son similares para la mayoría de los sistemas de recolección, la recogida de los residuos sólidos varía según las características de las instalaciones, actividades o localización donde se generan los residuos sólidos.

1.5.2. Situación actual de recolección

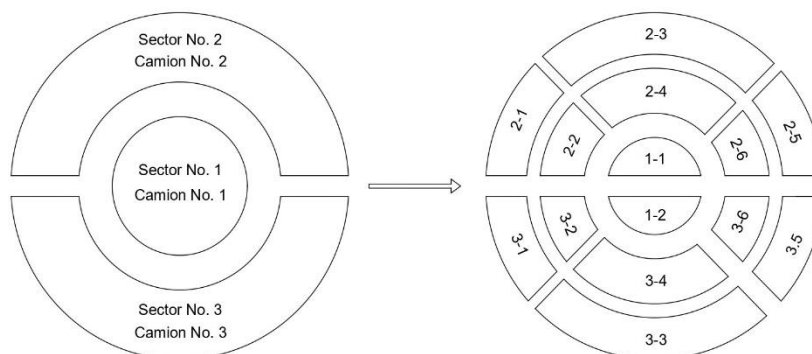
La administración municipal no ha sido una prioridad a pesar de ser un problema de salud y ambiental, aduciendo la falta de recursos financieros para la implementación de un sistema de recolección.

1.5.3. Método de sectorización

Esta etapa es la inicial para crear un diseño de rutas de recolección en un municipio, como se identifica el método consiste en la separación o sectorización del territorio para poder realizar diseños de recorrido óptimos y eficaces, sectorizado el territorio se procede a asignar un equipo de recolección determinado para realizar la actividad (Sakurai, 1980).

Si el territorio es muy extenso se puede realizar el procedimiento de sub sectorizar el territorio ya sectorizado para que los trabajos de recolección se lleven a cabo de una mejor manera (Sakurai, 1980).

Figura 3. Ejemplo de sectorización



Fuente: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (1980).

Sectorización de diseño de rutas.

Los datos que son necesarios para poder realizar el método de sectorización son los siguientes:

- Área total a intervenir
- Densidad poblacional del territorio donde se realizará la recolección
- PPC de las zonas donde se realizará la recolección

1.5.4. Método de diagramas rutas de recorrido

"La diagramación es la segunda etapa del diseño de las rutas y consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada subsector, de manera que permita a cada equipo llevar a cabo el trabajo de recolección de basura" (Sakurai, 1980, p.8).

Sakurai (1980), establece que para diagramar las rutas es necesario:

- Topografía del territorio
- Mapa de vías que se pueden utilizar en ambos sentidos
- Ubicación del predio de parqueo de camiones de recolección
- Ubicación de disposición final o transferencia
- Horarios de mayor tránsito en el municipio

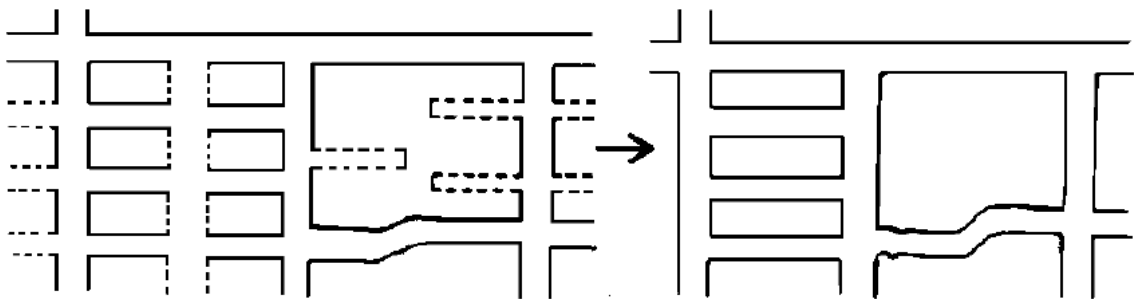
1.5.5. Método de peine

Existen dos métodos para trazar rutas de recolección en un municipio y va en función a la densidad poblacional del territorio, para el presente estudio se realizará el método de peine que consiste en recorrer una vez la vía de recolección en ambos lados a la vez (Sakurai, 1980).

1.5.6. Técnica de simplificación de vías

Este proceso consiste en experimentar a prueba y error, para lograr determinar esquemas típicos más apropiados y eficientes (Sakurai, 1980).

Figura 4. Ejemplo simplificación de vías



Fuente: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (1980).

Sectorización de diseño de rutas.

Para llevar a cabo el ejercicio de simplificación de rutas de recorrido son necesarios los siguientes datos:

- Mapa del municipio a una escala legible
- Haber realizado previamente el método de sectorización
- Contar con los mapas de cada división del territorio donde se realizarán los recorridos y aplicará esta metodología

1.5.7. Método de Identificación de días y horarios

“Para poder alcanzar un mayor dinamismo del servicio se hace necesario elegir aquel horario, diurno o nocturno, en que exista menor intensidad de tráfico y cree menores problemas por impacto ambiental”

(Rondón, 2016, p. 61). Se realizará un cronograma de días, horarios y recorridos del tren de aseo.

1.5.8. Situación actual del transporte

El problema de los residuos sólidos en el municipio se debe principalmente a productos de consumo de alimentos procesados industrialmente, que a nivel de la administración municipal no ha sido una prioridad a pesar de ser un problema de salud y ambiental. aduciendo la falta de recursos financieros para la implementación de un sistema de recolección, así mismo un buen porcentaje de la población no tiene los medios necesarios para el pago por el servicio de extracción.

1.5.9. Propuesta de vehículo para recolección

La selección de un vehículo para brindar el servicio en un municipio va en función de los factores geográficos, demográficos, características de la basura y contar los con los estudios previos realizados, los cuales ayudarán a determinar el tipo de vehículo que se necesitaría, agregando lo que representaría la inversión para requerir la unidad recolectora (Rondón, 2016).

Camión recolector con caja compactadora, Están equipados con una caja compactadora que dispone de una tolva para la carga de los residuos y un dispositivo de compresión que permite reducir entre 3 y 5 veces el volumen de los residuos (Rondón, 2016).

Las mejoras al utilizar las unidades de recolección son las siguientes:

- Reducción de costos en transporte por volumen y peso.

- Optimización del tiempo de recolección
- Brinda mejores condiciones de higiene y apariencia

Figura 5. **Propuesta de unidad recolectora 15 y 19 m³**



Fuente: CEPAL (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*.

1.5.10. Método para determinación de unidades recolectoras

Habiendo determinado el volumen que se genera de basura en el municipio, se debe realizar el siguiente cálculo para fijar la cantidad de vehículos que se necesitaran para cubrir la demanda que se tiene para cubrir la necesidad, se hará el siguiente procedimiento (Morales, 2016).

$$Nv = \frac{G * P * 7 * Fr * K}{N * C * dh} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

P = población de cada zona

G = producción de residuos sólidos

F = frecuencia de servicio

7= días de la semana

Fr= factor de reserva

K= factor cobertura (en lugares céntricos, disminuyendo en periferia)

N= número de viajes

C= capacidad útil del vehículo en kg

dh= días hábiles

1.5.11. Método para determinar cuadrilla para recolección

Habiendo determinado la cantidad de vehículos que brindaran el servicio y habiendo definido el territorio por sectores por donde recolectarán las unidades, se debe realizar el siguiente cálculo para fijar la cantidad de cuadrillas para cada una de las unidades que se determinen previamente (Morales, 2016).

$$Nr = \frac{N * C}{R * h} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

P = población de cada zona

G = producción de residuos sólidos

F = frecuencia de servicio

7= días de la semana

Fr= factor de reserva

K= factor cobertura

N= número de viajes

C= capacidad de peso del vehículo en kg

dh= días hábiles

1.6. Impactos ambientales críticos

En el municipio de San Miguel Siguilá, Quetzaltenango se analizarán la importancia de los impactos ambientales críticos a partir de los residuos sólidos generados.

1.6.1. Definición impactos ambientales

Se le define como la consecuencia negativa o positiva que puede producir un proyecto u obra en un lugar determinado que afecte al entorno físico inmediato, este efecto puede ocurrir durante la ejecución u operación de dichos eventos.

1.6.2. Herramientas para identificación de impactos ambientales críticos

Para identificar impactos ambientales críticos existen varias herramientas para poder hacerlo, en la presente investigación se utilizará la Matriz de Leopold.

16.2.1. Matriz de Leopold

Sobre la matriz de Leopold, Ramos (2018) afirma que "uno de los primeros métodos sistemáticos de evaluación de impactos ambientales, es la matriz de Leopold, fue diseñada para la evaluación de impactos asociados con casi cualquier tipo de proyectos de construcción" (p .51).

Respecto a la metodología para realizar el sistema de la matriz Ramos (2018) define que "las columnas son las acciones del hombre que pueden

alterar el medio y las entradas de las filas son los factores ambientales susceptibles de alterarse, con estas entradas en columnas y filas se pueden definir las interacciones existentes" (p. 51).

"Entre sus desventajas se incluye el hecho de que las matrices son técnicas bidimensionales que no permiten la consideración de la variable tiempo y que solo se prestan para evaluar la importancia de los costos o beneficios ambientales" (Ramos, 2018, p. 53).

"La utilización de matrices tiene, entre sus ventajas, que los recursos necesarios para aplicarlas no son altos y son de mucha utilidad en la identificación, comunicación y representación de impactos ambientales" (Ramos, 2018, p. 53).

Ramos (2018) afirma que "el método de Leopold está basado en una matriz que consta de 100 acciones que pueden causar impactos al ambiente representadas por columnas y 88 características o condiciones ambientales representadas por filas" (p.57).

"La matriz es bastante completa en los aspectos físico-biológicos y socioeconómicos, pero la lista de las 88 características ambientales no está óptimamente estructurada" (Ramos, 2018, p. 57).

La matriz está compuesta por columnas y filas, en los cuales cada celda que se forma se divide en dos por medio de una diagonal, en los cuales se debe consignar un rango previamente establecido por la persona que realiza el procedimiento, estos valores son de carácter cualitativos y sirven para valorizar los impactos ambientales. "El primer número indica la magnitud del impacto y el segundo su importancia" (Ramos, 2018, p. 57).

Figura 6. **Herramienta de matriz**

Elementos ambientales								CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
	CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para la elaboración de la presente matriz, es necesario que el individuo posea información detallada del lugar de estudio, incluyendo aspectos sociales, geográficos, geológicos y naturales, estos conocimientos ayudarán al analista a realizar el listado vertical y horizontal de cómo formará su matriz de evaluación (Ramos, 2018).

El siguiente procedimiento consiste en consignar los valores en cada celda, partiendo con las acciones, que se encuentran en el sentido vertical de la matriz, y los impactos en el sentido horizontal, dando como resultado los aspectos negativos principales del lugar de estudio (Ramos, 2018).

Este procedimiento da como resultado un valor cualitativo sobre los impactos sobre cada una de las acciones e impactos consignados, de lo obtenido es necesario realizar un análisis e informe descrito, a esta última fase se puede graficar para que el usuario del estudio realizado pueda valorar las

decisiones a tomar para dar solución a los problemas identificados (Ramos, 2018).

1.7. Leyes y normativas

Para la presente investigación se aplicaron leyes y normativas vigentes en Guatemala sobre el manejo de residuos sólidos.

1.7.1. Acuerdo Legislativo No. 18-93

Acuerdo legislativo No. 18-93, art. 97, define:

El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. (Acuerdo Legislativo 18-93, 1993, p. 19).

1.7.2. Acuerdo Gubernativo No. 68-86

Acuerdo Gubernativo No. 68-86, art. 12, define:

Inciso b: la prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que originen el deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida; inciso c: Orientar lo sistemas educativos, ambientales y culturales, hacia la formación de

recurso humanos calificados en ciencias ambientales y la ocupación a todos los niveles para formar una conciencia ecológica en toda la población. (Acuerdo Gubernativo 68-86, 1986, p. 4)

1.7.3. Acuerdo Gubernativo No. 111-2005

"La iniciativa privada, los entes centrales de Gobierno, las Municipalidades y las Organizaciones Civiles, todos involucrados de alguna manera como grupos de entes relevantes en los procesos de producción, manejo y disposición final" (Acuerdo Gubernativo 111-2005, 2005, p. 14).

1.7.4. Acuerdo Gubernativo No. 234-2004

Se crea la Comisión Nacional para el Manejo de los Residuos Sólidos como el órgano consultor y asesor en la formulación y dirección de las políticas nacionales de los residuos sólidos. La coordinación interinstitucional e intersectorial de los diversos actores del gobierno central, las municipalidades, la sociedad civil y el sector privado, que desarrollen programas y proyectos relacionados con el manejo y control de los residuos sólidos. (Acuerdo Gubernativo 234-2004, 2004, p. 1)

1.7.5. Código municipal Decreto No. 12-2002

Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada, alcantarillado, alumbrado público, mercados, rastros, administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados. Limpieza y ornato, formular y coordinar políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de residuos y

residuos sólidos hasta su disposición final" (Decreto 105-2002, 2002, p. 25).

1.7.6. Código de salud Decreto No. 90-97

Responsabilidad de las municipalidades. Corresponde a las municipalidades la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los residuos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrán utilizar lugares para la disposición de residuos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que deberá ser elaborado dentro del plazo. (Decreto 90-97, 1997, p.16)

1.7.7. Acuerdo Gubernativo No. 164-2021

El ministerio de ambiente y recursos naturales coordinará con las municipalidades, la elaboración de los planes relativos a la gestión integral de residuos y residuos sólidos y así evitar el deterioro ambiental, con el fin de prevenir o mitigar impactos. Promoverá su uso y aplicación por las municipalidades y verificará que, en el caso de las actividades sujetas a autorización sanitaria o ambiental que se incluyan en los Planes Municipales, se cumplan con las regulaciones, normas y especificaciones técnicas aplicables.

Inciso a, los vehículos utilizados deben estar equipados con uno o más extintores para fuego tipo ABC que deben estar ubicados en sitios accesibles para el personal, inciso b: los vehículos utilizados deben

mantenerse permanentemente en excelente estado de funcionamiento. Inciso c: los vehículos no deben ser utilizados para realizar actividades diferentes a las relacionadas con la gestión de residuos y residuos sólidos. (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 3)

Disposiciones para la operación y mantenimiento de entes en la gestión integral de los residuos y residuos sólidos, todo aquel que forme parte de las etapas de la gestión integral de los residuos y residuos sólidos. Deberá ser responsable de diseñar los planes de mantenimiento preventivo y correctivo de toda obra de infraestructura, instalaciones, vehículos, maquinaria, equipos y accesorios que se utilicen para la gestión integral de los residuos y residuos sólidos.

Todas aquellas personas, individuales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras que, como resultado de sus actividades produzca residuos o residuos sólidos comunes, deberán separarlos al momento de su generación (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 4)

Para el Acuerdo Gubernativo 164-2021 (2021):

Inciso a, deben ser dedicados, exclusivamente, para las actividades de recolección y transporte de residuos y residuos sólidos comunes; inciso b, su carrocería debe estar construida con materiales sólidos, resistentes a la corrosión; inciso c: la estructura de su carrocería debe garantizar hermeticidad de manera que no existan derrames de lixiviados, hacia el exterior, durante el transporte de los residuos y residuos sólidos comunes y que, además, puedan recolectarse para su posterior tratamiento; inciso d: deben estar plenamente identificados,

por medio de rotulación visible que indique la naturaleza de la actividad desarrollada; inciso e: su capacidad volumétrica nominal debe exceder la cantidad prevista de residuos y residuos sólidos comunes a recolectar en un mínimo de veinticinco por ciento, según la frecuencia de recolección establecida. (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 6)

Inciso a, la recolección de los residuos y residuos sólidos comunes generados en las áreas públicas y privadas, debe efectuarse como máximo cada setenta y dos horas; inciso b: únicamente el personal indispensable requerido para llevar a cabo las tareas de preparación para la recuperación de materiales durante el transporte debe permanecer físicamente dentro del área destinada para el transporte de los residuos y residuos sólidos comunes; inciso c: garantizar el transporte físicamente separado de las diferentes categorías de segregación establecidas, ya sea por medio de espacios divididos en cámaras de los vehículos, recolección separativa por día u otra provisión logística según su manejo integral. (Acuerdo Gubernativo 164-2021, 2021, p. 7)

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Fases del estudio

La presente investigación se realizó en 5 fases, cada una de estas fases contiene subetapas para poder ejecutar la metodología establecida.

2.1.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En la primera fase del estudio se realizó el análisis de antecedentes e identificación de los actores para definir la competencia de la operatividad de la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango. Así mismo se realizó consultas bibliográficas para determinar las metodologías y procesos para diseñar un plan estratégico de clasificación y caracterización que incluya un diseño de rutas de recolección de residuos sólidos para el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

2.1.2. Fase 2: recolección de datos

En la segunda fase de la metodología se procedió a la recolección de datos sobre hábitos y costumbres de la población de San Miguel Sigüilá.

2.1.2.1. Etapa 1: proceso de recolección de información de hábitos y costumbres de la población

Por medio de boletas de campo para muestreo de generación de residuos sólidos a la población se recolectó la información necesaria para obtener datos para identificar los hábitos y costumbres sobre la clasificación y manejo de residuos. Para determinar la cantidad de boletas de que se suministraron a la población se utilizó la siguiente ecuación:

Dónde:

n = número de muestras

N = población (número de hogares)

Z = número de unidades de desviación estándar en la distribución normal que producirá el nivel de confianza (nivel de confianza 95 % = 1.96)

σ = desviación estándar de la población (0.25 conocida por estudios anteriores)

E = error permisible, diferencia máxima entre la proporción muestral y la proporción de la población que se está dispuesto a aceptar en el nivel de confianza que se indicó (0.05).

Para el siguiente cálculo se utilizó la ecuación 1 establecida en el marco teórico con los siguientes datos:

n = número de muestras

N = 1,974 hogares

Z = 95 % = 1.96

$$\sigma = 0.25$$

$$E = 0.07$$

$$n = \frac{(1.96)^2 * 1974(0.25)^2}{(1974 - 1) * (0.07)^2 + (1.96)^2 * (0.25)^2}$$

$$n = 49$$

El número de muestras para el proceso de recolección de información de hábitos y costumbres, y para el proceso de caracterización de residuos sólidos es de 49 viviendas.

2.1.3. Fase 3: identificación de áreas de impacto

Por medio de la herramienta Matriz de Leopoldo, se identificaron las áreas de impacto más representativas del territorio de San Miguel Sigüilá.

2.1.3.1. Técnica de matriz de Leopold

Para evaluar los impactos ambientales críticos en la gestión actual de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, se utilizó la técnica de matriz de Leopold, siendo un estudio con una metodología cualitativa, con la cual hallamos la caracterización del impacto para cada variable ambiental analizada, siendo caracterizados los valores en Negativo – Compatible cuando su valoración es $\leq (-) 9$, siendo de un carácter positivo, una perturbación escasa, de baja importancia, con una ocurrencia poco probable, una extensión del impacto puntual, una corta duración del impacto y con una reversibilidad del impacto.

Es de características negativo – moderado cuando sus valores equivalen a $(-) 15 \geq (-) 9$, estos valores equivalen a una perturbación neutra, de regular perturbación, una importancia media con una ocurrencia probable, de extensión del local, una duración media del impacto y con una reversibilidad parcial del impacto.

Y de características negativo – severo cuando sus valores equivalente a $\geq (-) 15$, esto equivale a una perturbación negativa, una perturbación importante del impacto, de importancia alta con una ocurrencia muy probable, de extensión del regional, una duración permanente del impacto y de características irreversibles.

Para la matriz de identificación se establecieron de forma vertical los siguientes criterios evaluados:

- Componente: referencia al recurso natural con el que interactúan de manera continua para el manejo de residuos sólidos domiciliarios.
- Categoría: característica o proceso evaluado que se relaciona con el recurso natural identificado.
- Descripción del impacto: proceso o resultado dado a partir del manejo apropiado o inapropiado de los recursos naturales evaluados en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

Las variables evaluadas fueron: agua, aire, suelo y paisaje. Junto a esto se ubicaron las categorías para cada componente y para cada una de estas se estableció una descripción del impacto.

La presente evaluación de impactos ambientales críticos se realizó con la asesoría del Msc. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano.

2.1.4. Fase 4: metodología para caracterización de residuos sólidos

Para lograr realizar la caracterización de los residuos sólidos generados por la población del municipio de San Miguel Sigüilá se realizaron en las siguientes etapas:

2.1.4.1. Identificación de actores y socialización de la caracterización ante involucrados

Como primera etapa se realizó la investigación debida para identificar que en el municipio no se cuenta con un sistema de recolección vigente, y como establece el Código Municipal en el artículo 68, en su inciso a, que la municipalidad de San Miguel Sigüilá es el responsable de la operatividad de la recolección de los residuos sólidos en el municipio.

Previo a iniciar con la caracterización de residuos sólidos en el municipio, se realizó la socialización ante las autoridades municipales, autoridades comunitarias y al puesto de salud por medio del pleno del Consejo Municipal de Desarrollo del municipio, con el fin de conseguir el apoyo y autorización de las autoridades y líderes comunitarios para realizar el estudio de caracterización de residuos sólidos.

2.1.4.2. Selección de muestra para la caracterización

Para determinar el cálculo del tamaño de la muestra que se utilizó en el presente estudio, se definió que la muestra se realizaría desde los hogares del municipio de San Miguel Sigüilá, que son la principal fuente de generación de residuos sólidos del municipio, la muestra a utilizar será la misma definida en el inciso 2.1.2.1.

2.1.4.3. Método de cuarteo

El método de cuarteo se define que es la separación de la muestra obtenida de los residuos sólidos recolectados en un día en específico, para poder realizar la separación de la muestra por medio de este método se realizó con el siguiente procedimiento:

Procedimiento:

- Se extrajeron las muestras de las bolsas recolectadas
- Se mezclaron todas las muestras para homogeneizar sobre una superficie plana cubierta con un plástico
- Se realizó un círculo uniforme y seccionar en cuatro cuartos
- Se extrajeron dos cuartos opuestos y se desecharon el resto
- Se homogeneizaron los dos cuartos restantes y se seccionaron en cuatro cuartos
- Se extrajeron nuevamente dos cuartos y repitieron los pasos d y e hasta que se obtuvo una muestra manejable.

2.1.4.4. Proceso de caracterización para residuos sólidos en general

Partiendo de la recolección de muestras obtenidas se realizó el registro en la boleta de campo para muestreo de generación de residuos sólidos, con el fin de tabular por siete días los resultados obtenidos de cada muestra recolectada, se procedió a realizar la muestra representativa diaria de cada uno de los residuos sólidos obteniendo los siguientes resultados.

Para llevar a cabo la medición de pesos de las muestras recolectadas se realizaron los siguientes procedimientos:

- Se calibro la pesa a utilizar
- Para evitar falsos datos, se colocaron las muestras recolectadas en un recipiente vacío, se debe contemplo el peso del recipiente vacío en el peso de la muestra
- Para obtener el dato final de la muestra se restó el peso del recipiente vacío donde se depositaron las muestras

2.1.4.5. Determinar la producción per cápita por día (PPC)

El PPC se entiende como la producción de residuos generados por persona en el lapso de un día, para obtener este dato se realizó por medio de la ecuación 2 establecida en el marco teórico.

2.1.4.6. Densidad de los residuos sólidos

Los datos de la densidad son utilizados para evaluar la masa total y el volumen de agua que se deben manejar. El cálculo de la densidad de los residuos sólidos se realizó cada uno de los 7 días de la recolección para la caracterización de los residuos sólidos, el dato se obtuvo por medio de la aplicación de la ecuación 3, definida en el marco teórico, y se realizó por medio del siguiente procedimiento:

- Se preparó el recipiente a utilizar y una balanza
- Se procedió a calcular el volumen del recipiente a utilizar
- Se colocaron los residuos en el recipiente sin hacer presión y hasta llenar los espacios vacíos
- Se pesó el recipiente lleno y por diferencia se obtiene el peso de los residuos
- Se obtuvo la densidad de los residuos al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del recipiente en metros cúbicos

2.1.5. Fase 5: plan estratégico de clasificación de residuos sólidos

En esta fase se realizaron jornadas de capacitación a la población de cada una de las aldeas del municipio y centro de San Miguel Sigüilá, sobre la adecuada clasificación de los residuos generados desde el hogar.

2.1.5.1. Reproducción de material de apoyo para concientización y capacitación sobre la clasificación de residuos sólidos

Se reprodujo material de apoyo para dotar a la población capacitada para una mejor interpretación de residuos sólidos y su importancia, en el cual se establecieron los procesos y tipos de residuos que se deben clasificar desde los hogares del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango. El documento de apoyo utilizado en la presente investigación fue un volante de la correcta gestión de residuos sólidos.

Figura 7. Gestión de residuos



Fuente: Ledesma (2021). *Gestión de residuos*.

2.1.5.2. Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a personal municipal

Durante el proceso de la realización de la caracterización de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, hubo participación del personal de la oficina de medio ambiente y de los encargados de la recolección de los residuos sólidos del municipio pertenecientes a la municipalidad, a los cuales se les impartieron capacitaciones sobre la clasificación de residuos sólidos para su correcta recolección.

2.1.5.3. Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a la población de la muestra

En conjunto con el personal de la municipalidad de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, específicamente con la oficina de medio ambiente se realizaron jornadas de capacitación, sobre la importancia y procedimientos para clasificar los residuos sólidos comunes desde el hogar, esto con el fin de promover la separación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos para implementar un correcto sistema de recolección. (la capacitación duró x cantidad de horas y se capacitó a un total de x personas)

2.1.5.4. Jornadas de capacitación de clasificación de residuos sólidos a COCODES

Por medio de los concejos comunitarios de desarrollo de cada una de las aldeas, se realizó capacitaciones sobre la correcta clasificación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos para una adecuada disposición final de cada

uno de los residuos generados desde los hogares del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

2.1.6. Fase 6: diseño de recolección residuos sólidos

En esta fase se estableció el diseño de recolección de residuos sólidos partiendo de definir la recolección de las muestras hasta definir el diagrama de rutas de recorrido para los días horarios de cada uno de los vehículos recolectores.

2.1.6.1. Recolección de muestras

De las viviendas seleccionadas para la realizar la caracterización, se les proporcionaron bolsas de basura identificadas con un código único el cual también se le estableció a cada una de las viviendas con el fin de identificar la procedencia de los residuos recolectados.

2.1.6.2. Sectorización para implementación de un tren de aseo

La sectorización fue la primera etapa del diseño de las rutas, la cual consistió en dividir el municipio en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo, utilizando toda su capacidad.

Para llevar a cabo la sectorización se utilizaron los siguientes datos:

- Área de cada zona a servir
- Densidad de población de cada zona

- Índice de producción de basura per cápita (PPC) de cada zona

La densidad de poblacional se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad poblacional} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{\text{habitantes del sector}}{\text{area del sector}} \quad (\text{Ec. 6})$$

2.1.6.3. Diagramación de rutas de recorrido

La diagramación fue la segunda etapa del diseño de las rutas consistió en desarrollar una ruta de recorrido para cada uno de los sectores previamente identificados, de manera que permita al equipo llevar a cabo el trabajo de recolección de basura con una menor cantidad de tiempo y recorrido.

En cuanto a trazo de rutas de recolección se utilizó el método de peine, que consiste en la recolección de ambos lados de las vías a la misma hora, esto se debe a que las zonas del municipio son de escasa densidad poblacional. De los sectores ya identificados se procedió a realizar los diagramas de recorrido para cada uno de estos sectores. (los diagramas de rutas de recolección se presentan en los resultados)

2.1.6.4. Identificación de días horarios para recolección

Se realizó un cronograma de días, horarios y recorridos del tren de aseo, en el cual se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Sector
- Área (km²)
- Carga (ton)

- Factor de capacidad sobre 3.5 toneladas
- Tiempo empleado sobre 8 horas de trabajo
- Días de recorrido
- Horario

2.1.6.5. Determinación de número de vehículos para la recolección

Para la determinación de vehículos recolectores de los residuos sólidos se realizó el siguiente cálculo utilizando la ecuación número 4 propuesta en el marco teórico.

2.1.6.6. Determinación de número de personas para la cuadrilla para la recolección

Para la determinación de personas para la cuadrilla de recolección de los residuos sólidos por cada unidad recolectora, se realizó el cálculo con los datos y aplicación de la ecuación número 5 plasmada en el marco teórico.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

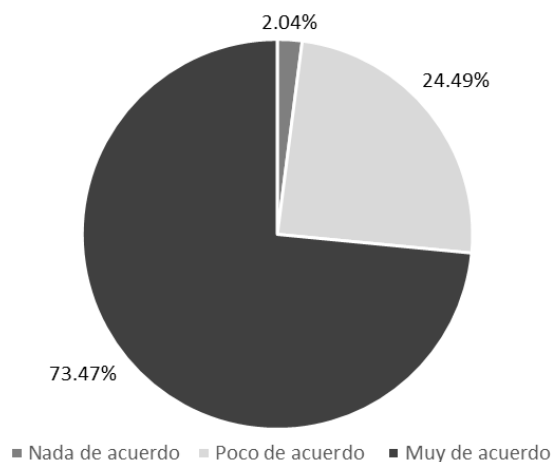
3.1. Identificación de hábitos y costumbres de la población en el municipio

Se presentan los resultados de la metodología utilizada para elaborar un correcta gestión integral para la clasificación y recolección de residuos sólidos del municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

3.1.1. Aceptación en el proceso de clasificación

En la figura 8 se observa que la aceptación en el proceso de clasificación de residuos sólidos.

Figura 8. **Aceptación en el proceso de clasificación de residuos sólidos**

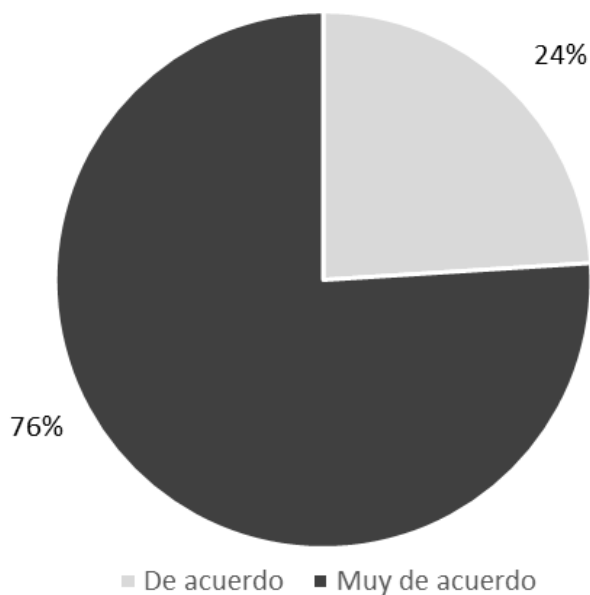


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.2. Aceptación en participación en la recolección de residuos sólidos

Se observa en la figura siguiente los resultados sobre la aceptación en participación de caracterización y recolección de residuos sólidos en el municipio.

Figura 9. **Aceptación en participación de caracterización y recolección de residuos sólidos**

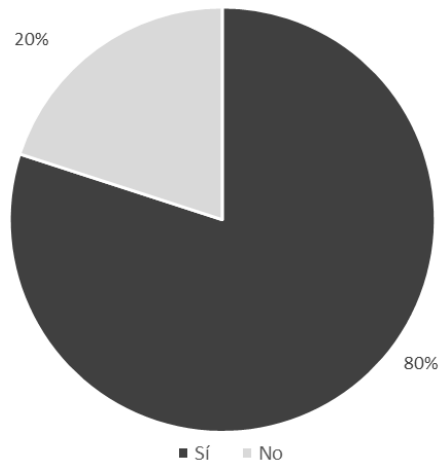


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.3. Clasificación desde el hogar

En la figura 10 se grafican los resultados obtenidos de la clasificación de residuos sólidos generados desde el hogar.

Figura 10. **Clasificación de residuos sólidos desde el hogar**

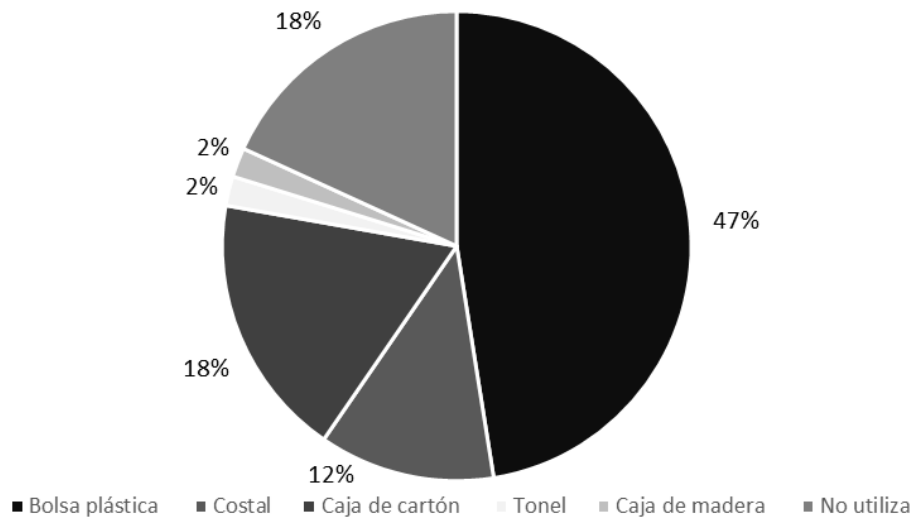


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.4. Recipiente utilizado para acumular los residuos en el hogar

En la figura 11 se observan los resultados sobre qué tipo de recipiente utilizan los vecinos para acumular los residuos sólidos generados en el hogar.

Figura 11. Recipiente utilizado para acumular residuos sólidos generados desde el hogar

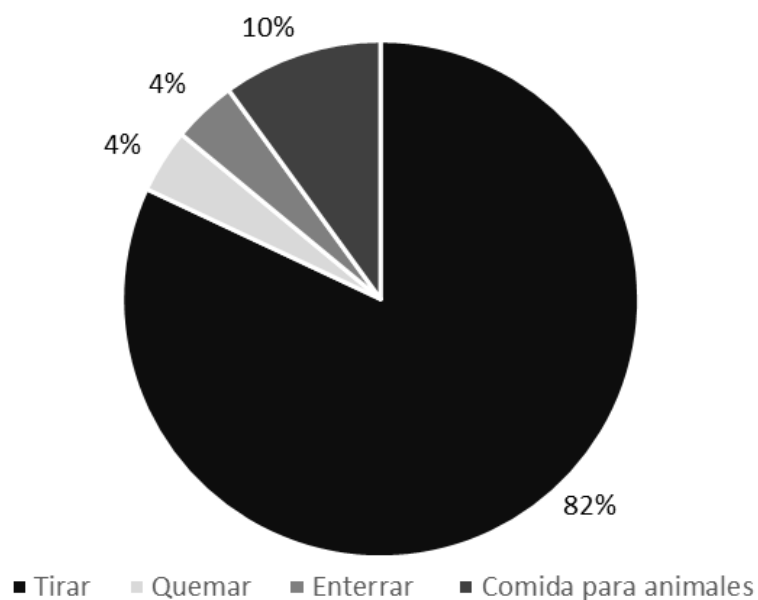


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.5. Acción para disposición final de residuos sólidos orgánicos generados en el hogar

Los resultados presentados en la figura 12 pertenecen a la acción que toma la población como disposición final de residuos sólidos orgánicos generados en el hogar.

Figura 12. **Acción para disposición final de residuos sólidos orgánicos generados desde el hogar**

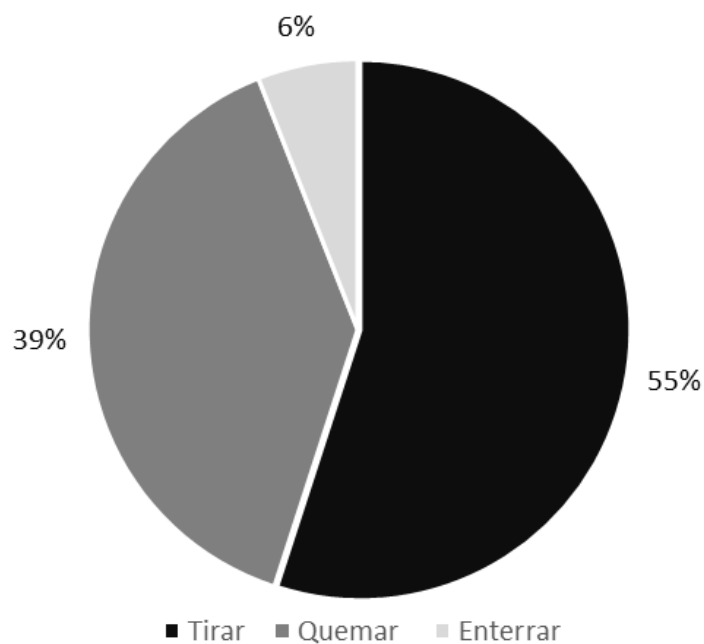


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.6. **Acción para disposición final de residuos sólidos inorgánicos generados en el hogar**

En la figura 13 se pueden contemplar los resultados obtenidos sobre la acción que toma la población como disposición final de residuos sólidos inorgánicos generados en el hogar.

Figura 13. Acción para disposición final de residuos sólidos inorgánicos generados en el hogar



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.7. Recolección de residuos sólidos en los hogares

Los resultados obtenidos que fueron obtenidos de las 49 boletas de encuesta en el centro de San Miguel Sigüilá, y sus aldeas, el 100 % de la población encuestada no cuentan con un sistema de recolección de residuos sólidos en los hogares.

3.1.8. Necesidad de recolección en el municipio

De las 49 personas encuestadas, el 100 % de los vecinos encuestados cree que, sí es necesario un sistema de recolección de residuos sólidos en San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

3.2. Impactos ambientales críticos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango

En las siguientes tablas se muestran los datos de la valoración de impactos críticos en los elementos ambientales del centro de San Miguel Sigüilá, aldea La Ciénaga, aldea El Llano, aldea La Emboscada y El Sector 1, datos obtenidos con la matriz utilizada.

Tabla I. Evaluación de impactos ambientales críticos en el Centro de San Miguel Sigüilá

Elementos ambientales		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	TOTAL	CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
Agua	Contaminacion de las aguas subterráneas	-1	2	2	2	1	1	1	- 9	NEGATIVO-MODERADO	39
	Abastecimiento de Agua	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Represamiento de caudales pluviales	-1	1	1	1	1	1	1	- 6	NEGATIVO-COMPATIBLE	26
	Disposicion Final de Aguas Pluviales a cuerpos receptores	-1	1	1	2	2	1	1	- 8	NEGATIVO-COMPATIBLE	35
									-23		100

Continuación tabla I.

Aire	Material particulado	-1	1	1	3	2	3	1	-1	1	NEGATIVO-MODERADO	100
	Malos olores	0	1	1	1	2	1	1	0		NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Gases CH4 y CO2	0	1	1	1	2	1	1	0		NEGATIVO-COMPATIBLE	0
									-11			100
Suelo	Lixiviados filtrados	-1	1	1	1	2	1	1	-7		NEGATIVO-COMPATIBLE	50
	Desertificacion de suelos	0	1	1	1	2	3	1	0		NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Recuperacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	2	-7		NEGATIVO-COMPATIBLE	50
									-14			100
Paisaje	Contaminacion visual en paisaje natural	-1	1	3	2	2	2	1	-1	1	NEGATIVO-MODERADO	52
	Contaminacion visual en paisaje urbanistico	-1	1	3	2	2	1	1	-1	0	NEGATIVO-MODERADO	48
									-21			100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla II. **Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea La Ciénaga**

Elementos ambientales											CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	TOTAL			
Agua	Contaminacion de las aguas subterranas	-1	3	3	3	1	3	1	-1	4	NEGATIVO-MODERADO	38
	Abastecimiento de Agua	0	1	1	1	1	1	1	0		NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Represamiento de caudales pluviales	-1	3	3	3	1	1	1	-2	1	NEGATIVO-MODERADO	32
	Disposicion Final de Aguas Pluviales a cuerpos receptores	-1	3	3	2	1	1	1	-1	1	NEGATIVO-MODERADO	30
										-37		100

Continuación tabla II.

Aire	Material particulado	-1	1	1	3	1	3	1	-	1 0	NEGATIVO- MODERADO	26
	Malos olores	-1	3	3	3	1	3	1	-	1 4	NEGATIVO- MODERADO	37
	Gases CH4 y CO2	-1	3	3	3	1	3	1	-	1 4	NEGATIVO- MODERADO	37
										-38		100
Suelo	Lixiviados filtrados	-1	3	3	3	1	3	1	-	1 4	NEGATIVO- MODERADO	52
	Desertificacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	1	-	6	NEGATIVO- COMPATIBLE	22
	Recuperacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	2	-	7	NEGATIVO- COMPATIBLE	26
										-27		100
Paisaje	Contaminacion visual en paisaje natural	-1	3	3	3	1	3	1	-	1 4	NEGATIVO- MODERADO	58
	Contaminacion visual en paisaje urbanistico	-1	1	3	2	2	1	1	-	1 0	NEGATIVO- MODERADO	42
										-24		100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla III. Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea El Llano

Elementos ambientales		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	TOTAL	CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
Agua	Contaminación de las aguas subterráneas	-1	1	1	1	2	1	1	- 7	NEGATIVO-COMPATIBLE	26
	Abastecimiento de Agua	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Represamiento de caudales pluviales	-1	2	2	2	1	1	1	- 9	NEGATIVO-COMPATIBLE	33
	Disposicion Final de Aguas Pluviales a cuerpos receptores	-1	2	2	2	2	2	1	- 11	NEGATIVO-MODERADO	41
									-27		100
Aire	Material particulado	-1	1	1	3	2	3	1	- 11	NEGATIVO-MODERADO	100
	Malos olores	0	1	1	1	2	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Gases CH4 y CO2	0	1	1	1	2	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
									-11		100
Suelo	Lixiviados filtrados	-1	1	1	1	2	1	1	- 7	NEGATIVO-COMPATIBLE	50
	Desertificacion de suelos	0	1	1	1	2	3	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Recuperacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	2	- 7	NEGATIVO-COMPATIBLE	50
									-14		100
Paisaje	Contaminacion visual en paisaje natural	-1	1	3	2	2	2	1	- 11	NEGATIVO-MODERADO	52
	Contaminacion visual en paisaje urbanistico	-1	1	3	2	2	1	1	- 10	NEGATIVO-MODERADO	48
									-21		100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla IV. Evaluación de impactos ambientales críticos en aldea La Emboscada

Elementos ambientales		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	TOTAL	CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
Agua	Contaminacion de las aguas subterráneas	-1	1	1	1	1	1	1	- 6	NEGATIVO-COMPATIBLE	35
	Abastecimiento de Agua	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Represamiento de caudales pluviales	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Disposicion Final de Aguas Pluviales a cuerpos receptores	-1	2	2	2	2	2	1	- 1	NEGATIVO-MODERADO	65
									-17		100
Aire	Material particulado	-1	1	1	3	2	3	1	- 1	NEGATIVO-MODERADO	100
	Malos olores	0	1	1	1	2	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Gases CH4 y CO2	0	1	1	1	2	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
									-11		100
Suelo	Lixiviados filtrados	-1	1	1	1	2	1	1	- 7	NEGATIVO-COMPATIBLE	50
	Desertificacion de suelos	0	1	1	1	2	3	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Recuperacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	2	- 7	NEGATIVO-COMPATIBLE	50
									-14		100
Paisaje	Contaminacion visual en paisaje natural	-1	1	3	2	2	2	1	- 1	NEGATIVO-MODERADO	52
	Contaminacion visual en paisaje urbanistico	-1	1	3	2	2	1	1	- 1	NEGATIVO-MODERADO	48
									-21		100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla V. Evaluación de impactos ambientales críticos en el sector 1

Elementos ambientales		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSIÓN	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	TOTAL	CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL
Agua	Contaminacion de las aguas subterráneas	-1	3	3	3	1	3	1	-14	NEGATIVO-MODERADO	58
	Abastecimiento de Agua	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Represamiento de caudales pluviales	0	1	1	1	1	1	1	0	NEGATIVO-COMPATIBLE	0
	Disposicion Final de Aguas Pluviales a cuerpos receptores	-1	2	2	2	2	1	1	-10	NEGATIVO-MODERADO	42
									-24		100
Aire	Material particulado	-1	1	1	3	1	3	1	-10	NEGATIVO-MODERADO	26
	Malos olores	-1	3	3	3	1	3	1	-14	NEGATIVO-MODERADO	37
	Gases CH4 y CO2	-1	3	3	3	1	3	1	-14	NEGATIVO-MODERADO	37
									-38		100
Suelo	Lixiviados filtrados	-1	3	3	3	1	3	1	-14	NEGATIVO-MODERADO	52
	Desertificacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	1	-6	NEGATIVO-COMPATIBLE	22
	Recuperacion de suelos	-1	1	1	1	1	1	2	-7	NEGATIVO-COMPATIBLE	26
									-27		100
Paisaje	Contaminacion visual en paisaje natural	-1	3	3	3	1	3	1	-14	NEGATIVO-MODERADO	58
	Contaminacion visual en paisaje urbanístico	-1	1	3	2	2	1	1	-10	NEGATIVO-MODERADO	42
									-24		100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3. Caracterización de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango

De la metodología empleada para el proceso de caracterización se obtuvieron los resultados necesarios para determinar la cantidad de residuos sólidos se generan en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango.

3.3.1. Muestra de residuos sólidos generados por día

De la muestra observada en la tabla VI, se presentan los datos de residuos sólidos totales por día y el peso total que equivale a 666.73 kg, 238 es la cantidad de habitantes pertenecientes a las 49 viviendas donde se realizó el estudio de caracterización.

Tabla VI. Muestra total de residuos sólidos generados

MUESTRA DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR DÍA										
No.	Hab / vivienda	Día 1/Kg	Día 2/Kg	Día 3/Kg	Día 4/Kg	Día 5/Kg	Día 6/Kg	Día 7/Kg	Peso total	PPC/Vivienda
1	5	4.45	1.30	1.10	0.95	2.45	2.05	1.70	14.00	2.80
2	4	0.70	1.80	7.10	1.10	1.05	3.15	0.65	15.55	3.89
3	7	2.60	1.20	0.40	0.30	2.70	0.80	0.30	8.30	1.19
4	5	0.60	1.72	0.65	2.95	4.25	1.10	0.15	11.42	2.28
5	4	1.80	1.30	6.90	3.45	5.25	1.70	3.75	24.15	6.04
6	5	0.30	5.30	1.40	5.50	4.10	0.25	3.55	20.40	4.08
7	5	0.50	4.40	7.55	2.00	0.55	4.90	2.25	22.15	4.43
8	2	0.05	4.85	0.65	0.45	4.05	2.20	5.00	17.25	8.63
9	4	0.35	3.15	3.80	2.15	2.95	3.95	3.45	19.80	4.95
10	5	10.65	0.75	1.00	1.50	0.85	0.75	2.25	17.75	3.55
11	4	0.30	1.00	0.66	0.50	0.90	0.55	0.75	4.66	1.17
12	6	0.80	3.90	0.90	1.30	1.20	0.75	3.40	12.25	2.04
13	4	1.75	1.90	4.60	1.75	2.70	0.95	3.45	17.10	4.28
14	9	0.90	0.50	1.05	1.45	2.35	0.25	2.00	8.50	0.94
15	4	0.45	5.75	3.15	0.35	0.75	3.80	0.80	15.05	3.76
16	6	0.85	0.80	1.65	0.83	0.70	0.60	0.25	5.68	0.95
17	6	9.85	0.85	2.30	3.10	4.20	1.10	0.30	21.70	3.62
18	4	0.70	1.10	1.05	0.90	0.80	0.50	0.60	5.65	1.41
19	3	0.45	5.45	3.50	1.35	4.50	4.00	2.50	21.75	7.25
20	2	0.70	1.40	1.85	0.25	1.90	2.15	1.60	9.85	4.93

Continuación tabla VI.

21	3	2.60	0.45	0.45	1.10	1.70	1.90	1.25	9.45	3.15
22	4	1.45	1.50	2.75	2.05	1.25	2.35	1.35	12.70	3.18
23	7	0.50	1.04	1.85	0.65	1.75	1.05	0.45	7.29	1.04
24	5	3.50	0.40	1.30	1.49	1.85	1.50	0.30	10.34	2.07
25	5	4.10	5.75	1.20	4.25	3.25	1.10	1.70	21.35	4.27
26	4	3.40	1.80	1.95	2.05	4.25	3.50	1.85	18.80	4.70
27	5	6.80	5.30	1.30	4.14	3.30	0.70	6.85	28.39	5.68
28	3	0.25	0.20	0.15	0.15	0.20	0.15	0.10	1.20	0.40
29	8	2.50	6.20	3.60	5.75	4.20	5.10	4.75	27.35	3.42
30	8	1.05	3.55	1.05	3.95	0.90	0.75	0.20	11.45	1.43
31	4	0.10	0.60	0.70	1.90	0.30	0.80	0.65	5.05	1.26
32	4	0.60	0.15	0.70	0.65	1.25	0.10	0.40	3.85	0.96
33	3	0.25	0.30	0.20	0.25	0.20	0.80	0.40	2.40	0.80
34	7	1.85	1.65	2.08	3.80	2.50	0.30	0.75	12.93	1.85
35	5	1.20	0.40	1.90	2.10	0.75	1.38	1.80	9.53	1.91
36	2	1.35	1.20	0.45	0.45	0.20	0.75	3.20	7.60	3.80
37	5	0.25	0.55	0.40	0.30	0.30	1.70	0.25	3.75	0.75
38	3	1.05	1.25	0.80	0.75	0.45	0.40	0.70	5.40	1.80
39	4	1.15	0.90	1.25	2.15	0.05	0.20	0.85	6.55	1.64
40	11	0.55	0.30	0.50	0.60	1.20	0.25	0.45	3.85	0.35
41	5	0.90	0.70	0.50	1.05	0.65	1.25	0.88	5.93	1.19
42	5	2.55	1.85	1.35	3.10	1.45	0.05	1.50	11.85	2.37
43	3	1.65	1.55	0.90	1.30	1.10	1.40	0.75	8.65	2.88
44	5	2.35	6.45	3.56	2.50	1.55	2.85	3.90	23.16	4.63
45	6	4.00	1.65	5.60	4.60	2.60	0.40	2.75	21.60	3.60
46	5	2.60	4.55	3.30	2.05	0.65	2.15	2.70	18.00	3.60
47	5	8.01	3.30	11.65	6.50	6.00	0.65	3.20	39.31	7.86
48	5	2.05	3.50	0.40	0.55	0.30	7.85	2.60	17.25	3.45
49	5	6.15	2.75	2.65	5.30	1.39	0.20	0.35	18.79	3.76

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.2. Muestra de residuos específicos

En la tabla VII se presentan la muestra de generación de residuos sólidos específicos generados en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango, siendo el residuo inorgánico predominante con un 68.82 % de los resultados obtenidos y los residuos inorgánicos equivalente a un 31.18 % de la muestra caracterizada.

Tabla VII. **Caracterización de residuos sólidos específicos**

PORCENTAJE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ESPECIFICOS								
Tipo de Residuo	DIA 1 % Peso	DIA 2 % Peso	DIA 3 % Peso	DIA 4 % Peso	DIA 5 % Peso	DIA 6 % Peso	DIA 7 % Peso	Promedio (%)
Poliestireno	0.44%	0.63%	0.24%	0.29%	0.21%	0.04%	3.27%	0.80%
Telas	0.64%	0.51%	0.78%	6.20%	25.07%	8.80%	6.00%	6.42%
Organico	32.86%	27.00%	39.75%	53.61%	22.38%	11.57%	26.82%	31.18%
Plastico	16.17%	13.50%	19.31%	13.76%	18.65%	33.00%	17.36%	17.45%
Desechos sanitarios	3.01%	2.19%	3.97%	6.52%	14.92%	1.58%	10.26%	6.33%
Papel/Carton	8.30%	3.86%	13.43%	2.66%	3.58%	31.90%	7.89%	8.21%
Vidrio	33.30%	45.38%	19.69%	14.82%	13.09%	9.02%	24.46%	25.52%
Madera	2.05%	3.21%	0.15%	0.41%	1.19%	1.76%	1.58%	1.56%
Metales	3.23%	3.73%	2.69%	1.74%	0.90%	2.33%	2.37%	2.53%
Total (%)	100%	100%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.3. Producción per cápita en el municipio de San Miguel Sigüilá

Partiendo de los datos conseguidos en la tabla VI, la producción per cápita del municipio es de 0.40 kg/hab/día, el dato obtenido por medio de la siguiente ecuación:

$$PPC = \left(\frac{666.72}{238} \right) \times \frac{1}{7}$$

$$PPC = 0.40 \text{ Kg}$$

La producción per cápita del municipio es de 0.40 kg/hab/día

3.3.4. Densidad de los residuos sólidos del municipio de San Miguel Sigüilá

En la tabla VI se observa la muestra y resultados obtenidos de la densidad de residuos sólidos del municipio de San Miguel Sigüilá, para la obtención de estos resultados se utilizaron las siguientes fórmulas para el cálculo de volumen del tambor utilizado y para determinar la densidad de residuos sólidos:

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Ec. 7})$$

$$V = \pi * (0.18)^2 * 0.64$$

$$V = 0.065 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad de los residuos} = \frac{5.25 \text{ kg}}{0.065 \text{ m}^3}$$

$$\text{Densidad de los residuos} = 80.66 \text{ kg/m}^3$$

La densidad de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, es de 80.66 kg/m³.

Tabla VIII. **Muestra y resultados de densidad de residuos sólidos**

MUESTRA Y RESULTADOS DE DENSIDAD DE RESIDUOS SOLIDOS								
Tipo de resultado	Día 1 kg	Día 2 kg	Día 3 kg	Día 4 kg	Día 5 kg	Día 6 kg	Día 7 kg	Promedio
Peso de muestra en kg	4.55	6.78	4.73	7.70	4.36	3.41	5.25	5.25
Densidad kg/m ³	69.85	104.08	72.61	118.2	66.93	52.35	80.59	80.66

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4. Plan estratégico de clasificación, recolección y transporte de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, Quetzaltenango

Para la clasificación de residuos sólidos comunes desde la principal fuente generadora, los pobladores del municipio de San Miguel Sigüilá deben de realizar el siguiente procedimiento para garantizar la buena gestión de residuos producidos desde los hogares.

3.4.1. Gestión de la clasificación de los residuos sólidos en los hogares

Para la clasificación de residuos orgánicos los pobladores del municipio deben de separar los residuos en un recipiente o bolsa de color verde donde colocaran los residuos procedentes de restos de alimentos, agricultura y jardinería, como se identifican el color en la figura 14. Para los residuos inorgánicos se debe de colocar los residuos en un recipiente o bolsa de color negro donde colocaran los residuos que no sean orgánicos como se identifica en la figura 15.

Figura 14. **Color para residuos orgánicos**



Fuente: MARN (2018). *Guía para identificación gráfica de los residuos sólidos comunes.*

Figura 15. **Color para residuos inorgánicos**



Fuente: MARN (2018). *Guía para identificación gráfica de los residuos sólidos comunes.*

3.4.2. Sectorización del municipio de San Miguel Sigüilá para rutas de recolección

En la tabla IX se presentan los datos de la sectorización del municipio, para lograr los resultados esperados se realizaron los cálculos de densidad poblacional por sectores a servir, partiendo de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Densidad poblacional Centro} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{2336}{2.40} = 973.33 \text{ hab/km}^2$$

$$\text{Densidad poblacional La Cienaga} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{780}{0.80} = 975 \text{ hab/km}^2$$

$$\text{Densidad poblacional El Llano} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{3091}{1.60} = 1931.88 \text{ hab/km}^2$$

$$\text{Densidad poblacional La Emboscada} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{1943}{2.50} = 777.20 \text{ hab/km}^2$$

$$\text{Densidad poblacional Sector 1} \left(\frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \right) = \frac{2240}{1.20} = 2033.33 \text{ hab/km}^2$$

La densidad poblacional del Centro de San Miguel Sigüilá, corresponde a 973.33 hab/km², de aldea La Ciénaga 975 hab/km², de aldea El Llano 1931.88 hab/km², de aldea La Emboscada 77.20 hab/km² y del Sector 1 2033.33 hab/km².

Tabla IX. Sectorización del municipio

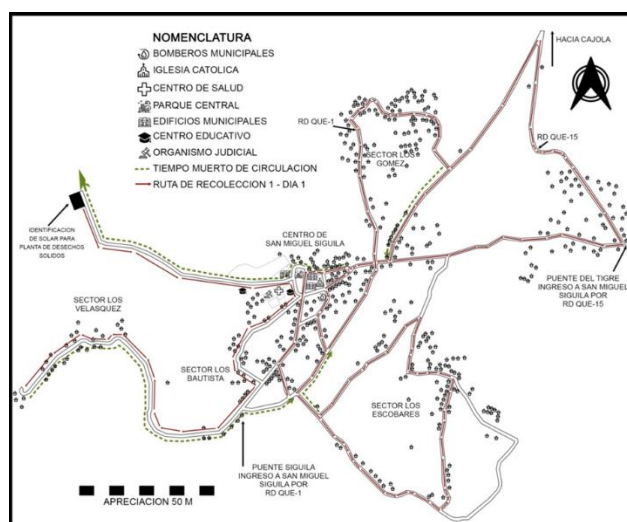
SECTORIZACIÓN DEL MUNICIPIO						
Sector	Aldea	Area (km ²)	Poblacion (hab)	Densidad Poblacional (hab/km ²)	PPC (kg/dia)	Residuos totales (kg/dia)
Sector 1	Centro	2.40	2336	973.33	0.40	934.40
Sector 2	Cienaga	0.80	780	975.00	0.40	312.00
Sector 3	El Llano	1.60	3091	1931.88	0.40	1236.40
Sector 4	La Emboscada	2.50	1943	777.20	0.40	777.20
Sector 5	Sector 1	1.20	2440	2033.33	0.40	976.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4.3. Diagramación de rutas de recorrido

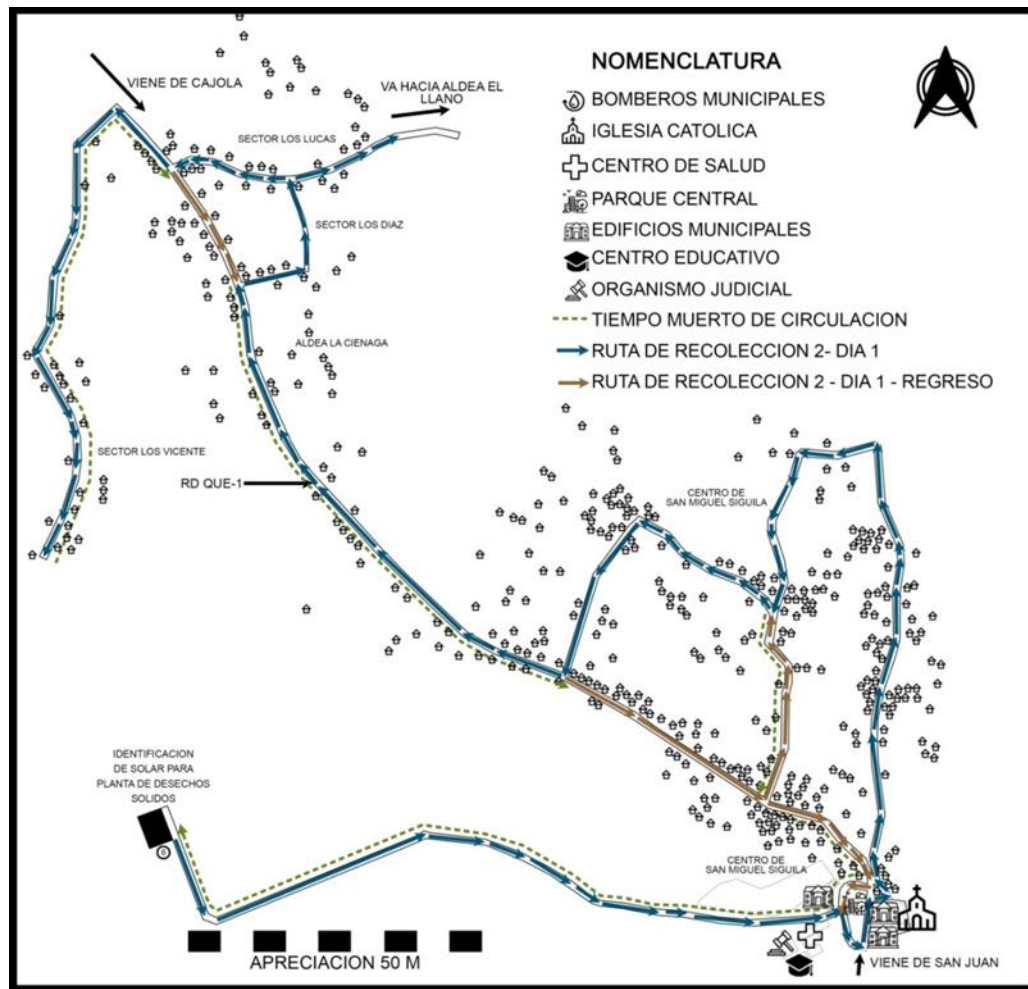
Conociendo la población por área y los residuos sólidos generados al día en los sectores identificados, se presentan los resultados de los diagramas de recorrido de los 5 sectores.

Figura 16. Diagrama de recorrido sector 1



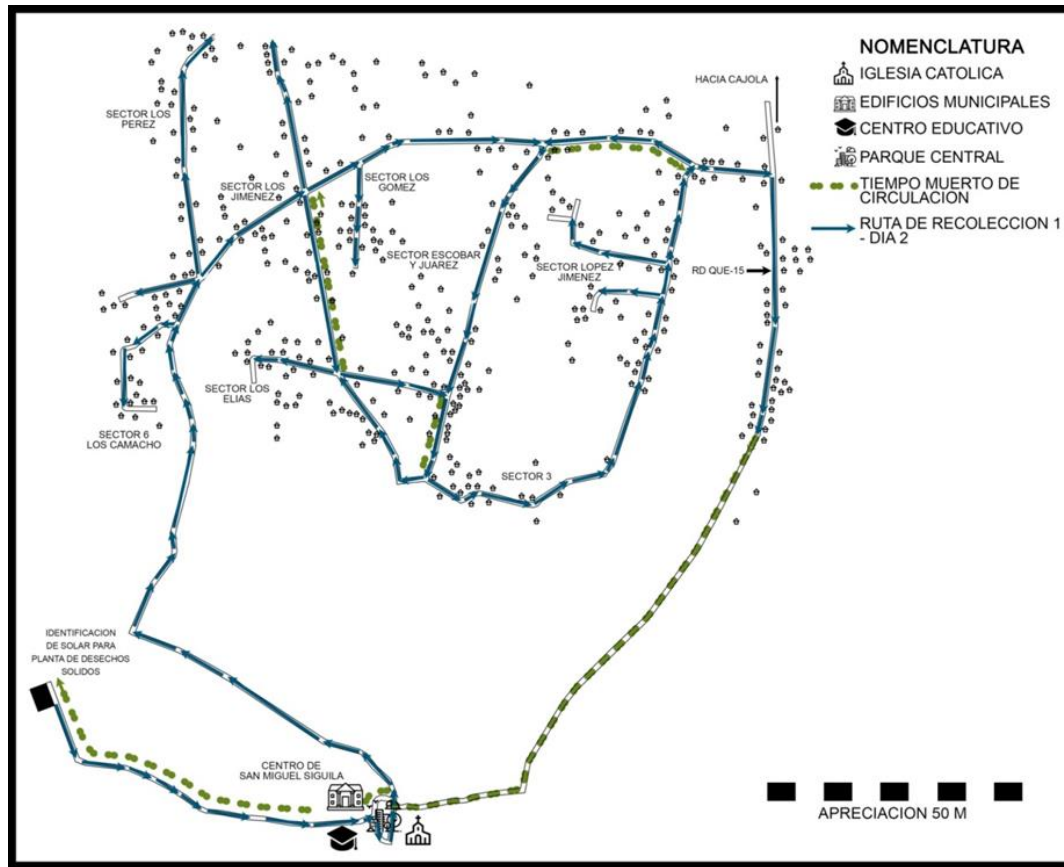
Fuente: elaboración propia, empleando Autocad.

Figura 17. Diagrama de recorrido sector 2



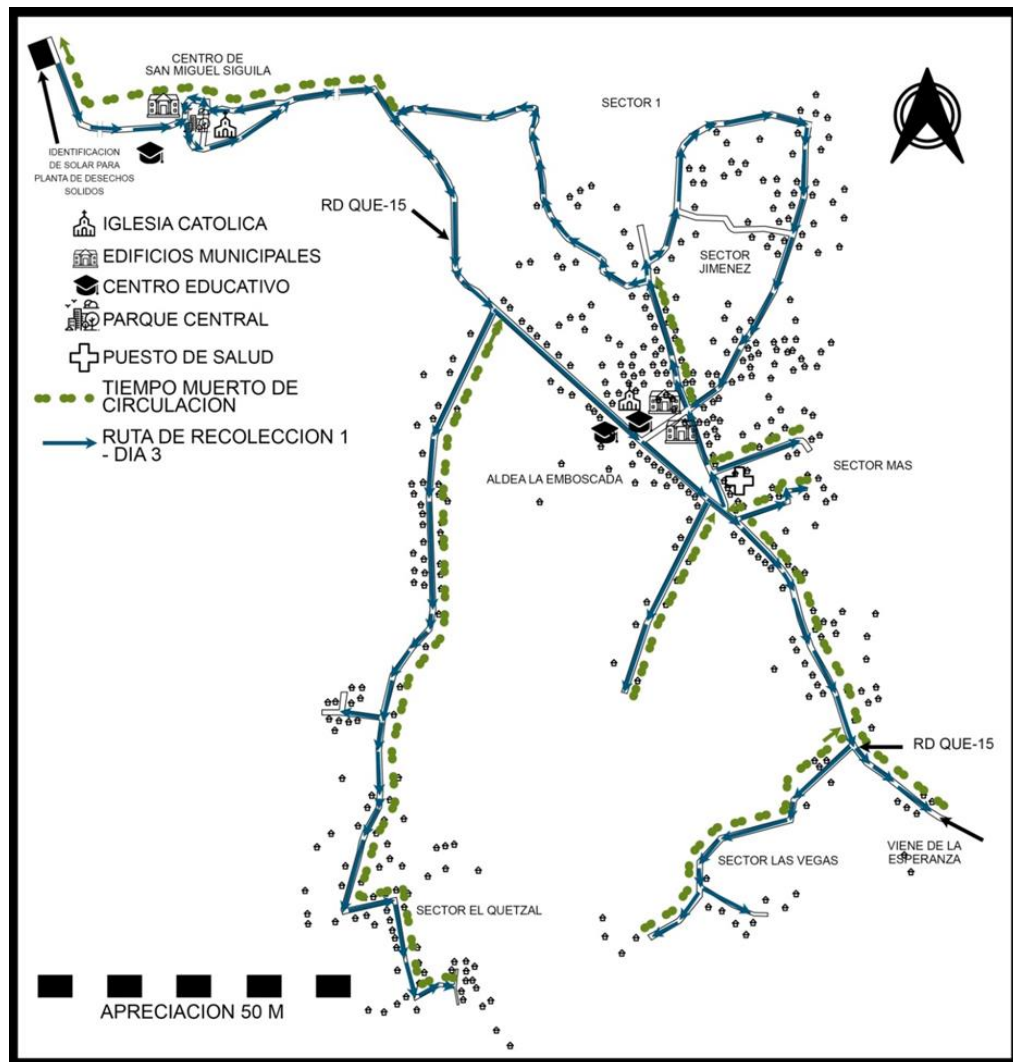
Fuente: elaboración propia, empleando Autocad.

Figura 18. Diagrama de recorrido sector 3



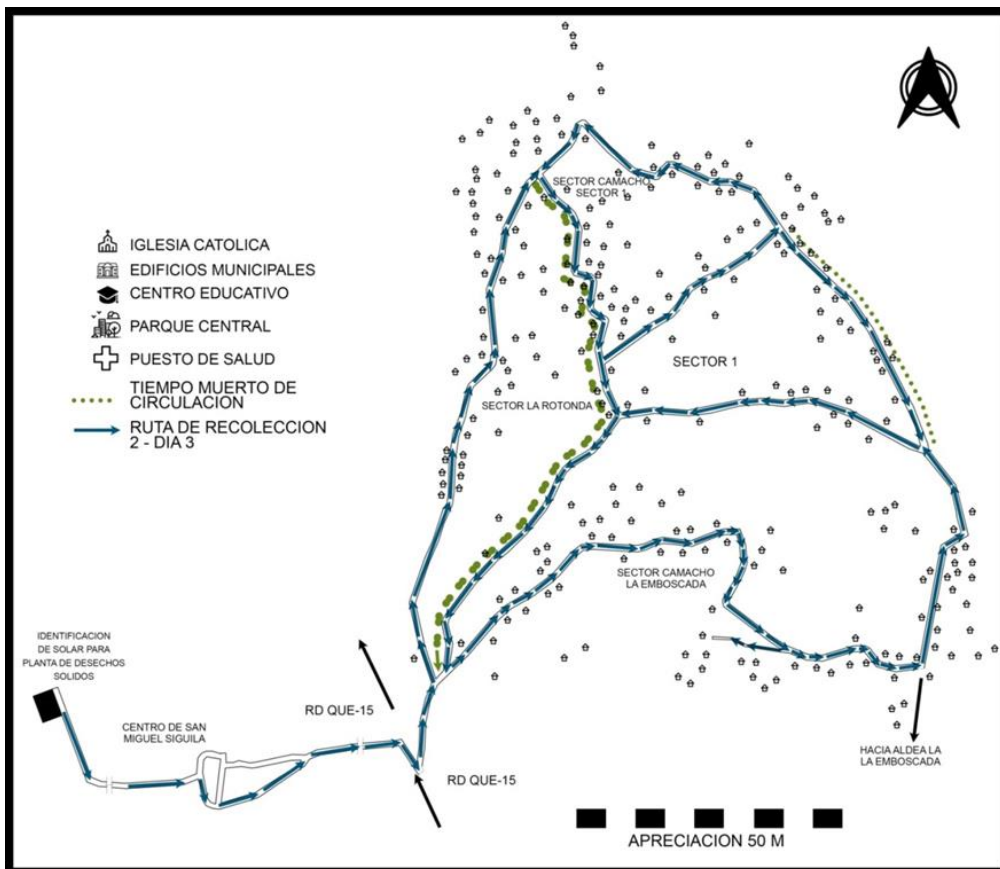
Fuente: elaboración propia, empleando Autocad.

Figura 19. Diagrama de recorrido sector 4



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad.

Figura 20. Diagrama de recorrido sector 5

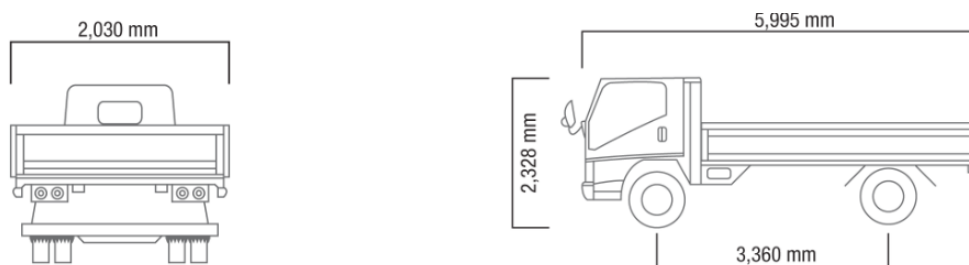


Fuente: elaboración propia, empleando Autocad.

3.4.4. Propuesta de vehículo para la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá

Conociendo la cantidad de residuos sólidos que se generan en el municipio y en cada uno de sus sectores, en la tabla X se detalla la propuesta del vehículo recolector.

Figura 21. **Propuesta vehículo para recolección**



Fuente: JMC (2022). *Especificaciones técnicas Carrynig Plus 3.5.*

Tabla X. **Propuesta vehículo para recolección**

PROPUESTA DE VEHICULO		
VEHICULO	VENTAJA	OBSERVACION
Tanque de combustible de 17 galones	Bajo costo en relacion con vehiculos especiales para la recoleccion	Se puede modificar la carroceria para contener toda la carga de residuos
Capacidad de carga bruta (kg) 3500	Bajo consumo de combustible	El vehiculo corresponde a las toneladas generadas en el municipio
Potencia maxima 109 HP	Al existir vehiculos comerciales, el mantenimiento preventivo es a un menor costo	
Cambion de dos ejes	Descarga de camion mas rapida	
Dimensiones: 2.03 m * 2.328 m * 5.995 m	Facil de acceso a las estrechas calles del municipio	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4.5. **Número de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá**

Para definir los vehículos de recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, se utilizaron los siguientes datos:

Dónde:

Nv = número de vehículos

P = 9,869 habitantes

G = 0.40 kg

F = 3 días

7 = 7 días

Fr = 1.5

K = 0.95

N= 3 viajes

C = 3,500 kg

dh = 6 días

$$NV = \frac{0.40 * 9869 * 7 * 1.5 * 0.90}{22 * 3500 * 6}$$

$$NV = 0.62 \text{ veh\u00edculos}$$

$$NV = 1 \text{ veh\u00edculo}$$

Para realizar el proceso de recolecci\u00f3n de residuos s\u00f3lidos en el municipio de San Miguel Sig\u00fcl\u00e1, es necesario 1 veh\u00edculo recolector.

3.4.6. D\u00edas horarios para recolecci\u00f3n de residuos s\u00f3lidos en el municipio de San Miguel Sig\u00fcl\u00e1

En la tabla XI se identifican los horarios y d\u00edas para la recolecci\u00f3n de residuos s\u00f3lidos.

Tabla XI. **Identificación días horario**

IDENTIFICACIÓN DÍAS HORARIO						
Sector	Área (km²)	Carga (ton)	Factor capacidad sobre 3 toneladas	Tiempo empleado sobre 8 horas de trabajo	Días de recorrido	Horario
Sector 1	2.40	2336.00	973.33	0.63	Lunes y jueves	07:00 a 12:00
Sector 2	0.80	780.00	975.00	0.38	Lunes y jueves	14:00 a 17:00
Sector 3	1.60	3091.00	1931.88	1.00	Martes y Viernes	07:00 a 17:00
Sector 4	2.50	1943.00	777.20	1.00	Miercoles y Sabado	07:00 a 17:00
Sector 5	1.20	2440.00	2033.33	1.00	Miercoles y Sabado	07:00 a 17:00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4.7. Número de personas para cuadrilla recolectora

Para definir el número de personas que formarán parte de la cuadrilla de recolección de los residuos sólidos se realizó el siguiente procedimiento utilizando los siguientes datos:

Dónde:

N= 3 viajes

C = 3,500 kg

h= 8 horas

R = 560 kg/hombre/8 horas

$$Nr = \frac{3 * 3500}{560 * 8}$$

$$Nr = 2.34$$

$$Nr = 3 \text{ personas}$$

Para realizar la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, es necesaria una cuadrilla de 3 personas.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis sobre las costumbres y conductas de la población del municipio de San Miguel Sigüilá en manejo de residuos sólidos

La aceptación de las personas del municipio de San Miguel Sigüilá sobre la clasificación de residuos sólidos con un 73.47 % dato oportuno a que en el municipio no cuenta con ningún procedimiento para el manejo de residuos sólidos, el 24.49 % está poco de acuerdo debido a que un procedimiento de manejo de residuos sólidos les implica un gasto económico considerable y el 2.04 % está nada de acuerdo, debido a que tienen sus propios métodos para la disposición final de los residuos generados en sus hogares.

La aceptación en la participación de un proceso de caracterización y recolección de residuos sólidos en sus hogares, siendo el 76.00 % de habitantes los habitantes que están muy de acuerdo en participar en este proceso, indicando que en el municipio es necesario un sistema de recolección de residuos sólidos para evitar una contaminación aún mayor del municipio, y un 24.00 % de la población está de acuerdo en la participación en un proceso de caracterización y recolección de residuos sólidos, aduciendo que esto podría representar un gasto económico extra para su hogar.

La población del municipio de San Miguel Sigüilá, al no contar con un manejo de residuos sólidos el 80 % aparta los residuos orgánicos e inorgánicos generados desde la vivienda como se representa en la figura 11 puesto a que en parte mayoritaria los vecinos poseen animales domésticos en

sus viviendas, los orgánicos apartados se lo dan a estos animales domésticos. El 20 % de los habitantes según la encuesta que se realizó no clasifica sus residuos sólidos, este porcentaje bajó representa a la población que no cuenta con animales domésticos y le dan otro uso al material orgánico como compost para abono.

En la figura 12 se representan los resultados del recipiente utilizado por la población para acumular sus residuos previo a una disposición final de los mismos, siendo el resultado predominante un 47 % de los habitantes acumula sus residuos en bolsas, debido a que el 39 % de la población tira sus residuos a vertederos clandestinos, las personas que acumulan sus residuos en toneles, cajas de cartón , cajas de madera y costales como almacenamiento temporal de los orgánicos previo a alimentar a los animales domésticos o en la utilización en otro fin.

el municipio se presenta un 82 % de la población toma acciones de disposición final a los residuos orgánicos separados como alimento para animales domésticos. El 18 % de la población restante tira, quema o entierra sus residuos orgánicos, este dato corresponde a su vez a la población que no clasifica sus residuos sólidos en sus hogares.

Al no contar con un sistema de recolección de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, el 55 % de la población toma la acción como disposición final de quemar sus residuos sólidos inorgánicos generados en sus hogares, el 39 % de la población realiza la acción de tirar sus residuos, y el 6 % de la población entierra sus residuos como se aprecia en la figura 14, cada una de estas acciones repercuten en un impacto negativo al medio ambiente.

La población del municipio de San Miguel Sigüilá, no cuenta un sistema de recolección de residuos, de los datos obtenidos en la investigación es evidente la ejecución de un sistema de recolección para solucionar estos problemas.

4.2. Análisis de impactos ambientales críticos en el municipio de San Miguel Sigüilá

En los cinco poblados analizados, se valoraron los impactos ambientales críticos del agua, aire, suelo, paisaje natural y paisaje urbano.

4.2.1. Análisis de impactos ambientales críticos en el Centro de San Miguel Sigüilá

En la tabla I se presenta la valoración de impactos ambientales del Centro de San Miguel Sigüilá, la contaminación del agua subterránea es de carácter negativo-moderado debido a que con la contaminación de los residuos se alteran las propiedades del agua subterránea. El abastecimiento del agua es de carácter negativo-compatible $\leq(-)$ 9, debido a que en el Centro del municipio no se encuentra ningún tipo de vertedero, no hay lixiviados que filtren a las fuentes de abastecimiento de agua.

El represamiento de caudales pluviales y la disposición de aguas pluviales a cuerpos receptores, el impacto es de carácter negativo-compatible $\leq(-)$ 9, este resultado al no contar con sistemas de drenaje de aguas pluviales, estas aguas pluviales fluyen sobre cunetas o a flor de tierra, se caracterizan con una importancia baja, extensión local y de duración corta, este impacto ambiental sucede en épocas de invierno, así mismo en el Centro del municipio

no se tiene un sistema de barrido de calles y espacios públicos, los cuatro elementos ambientales analizados son reversibles sus impactos.

De igual manera en la tabla I figuran los resultados evaluados del aire, al no poseer una recolección y conociendo que el quemar los residuos sólidos es parte de las acciones para disponer finalmente los residuos de parte de los pobladores del municipio, provoca material particulado en el aire, afectando moderadamente el aire al ocurrir con frecuencia y actualmente con una duración permanente en cada uno de los puntos donde se realiza esta práctica, siendo los hogares del municipio. Esta acción provoca que se generen malos olores en el ambiente y se produzcan gases nocivos, estos impactos negativos, con un manejo adecuado de los residuos sólidos pueden ser reversibles.

Los elementos ambientales evaluados del suelo fueron los lixiviados filtrados, desertificación de suelos y recuperación de suelos, en los 3 elementos ambientales el impacto es de características negativo-compatible $\leq(-)$ 9, debido a que los residuos sólidos en el suelo representa una perturbación escasa, una importancia baja, una probabilidad de que suceda poco probable, sucede en una extensión local y puntal del municipio, debido a que en todo el municipio se generan residuos sólidos, en el caso de la desertificación de suelos si llegara a pasar es de una duración permanente, así mismo no podría ser reversible, a diferencia de los otros dos elementos ambientales evaluados.

Visualmente los residuos contaminan el paisaje natural y en el paisaje urbanístico, provocan escasas perturbaciones en este elemento ambiental evaluado, sin embargo, es de importancia alta por lo que provocan los residuos en el ambiente, esto es con una ocurrencia probable, teniendo una duración

medía y una extensión local impactando de forma Negativo-Moderado, pudiendo ser reversibles estos impactos con un manejo correcto de los residuos en el municipio.

4.2.2. Análisis de impactos ambientales críticos en aldea La Ciénaga

El agua subterránea en aldea La Ciénaga es de caracterización de impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, los residuos sólidos provocan variación de las propiedades del líquido. En el abastecimiento de agua no impacta negativamente los residuos sólidos debido a que la aldea es abastecida desde el centro del municipio, por lo que el impacto es negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$.

El represamiento de caudales pluviales y la disposición de aguas pluviales a cuerpos receptores, es carácter negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, el motivo es que en la aldea se encuentra un vertedero ilegal, lo que provoca que en tiempos de lluvia los residuos sólidos del vertedero se acumulen en el sistema de agua pluvial existente, provocando la disposición final de aguas pluviales con contenido de residuos sólidos.

Como resultados evaluados del aire, se encuentran los materiales particulados, en aldea La Ciénaga los residuos sólidos son quemados al igual que en todo el municipio, lo que provoca un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$ en el aire, afectando con una ocurrencia muy probable y una duración permanente en el vertedero existente en la aldea. Esta acción provoca que se generen malos olores en el ambiente, y que se produzcan gases de metano y dióxido de carbono, estos impactos negativos, con un manejo adecuado de los residuos sólidos estos impactos son reversibles.

Desertificación de suelos y recuperación de suelos, como elementos ambientales evaluados, en los 2 elementos ambientales el impacto es de características negativo-compatible $\leq (-) 9$, debido a que los residuos sólidos en el suelo representa una perturbación escasa, una importancia baja, una probabilidad de que suceda poco probable, sucede en una extensión puntal del municipio. Los lixiviados filtrados por su parte es un impacto de carácter Negativo-Moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, debido a que la disposición final de residuos sólidos en el vertedero ubicado en la aldea la Ciénaga, provoca una perturbación importante en el suelo, es un impacto que tiene una ocurrencia muy probable de suceder, una duración permanente mientras exista el vertedero como punto de contaminación del municipio. Estos impactos negativos, con un correcto manejo de los residuos sólidos estos impactos son reversibles.

Visualmente los residuos contaminan el paisaje natural y en el paisaje urbanístico, provocan perturbaciones importantes en el paisaje a raíz de los residuos sólidos vertidos ilegalmente dentro de la aldea, así mismo se razona de importancia alta por la contaminación que provocan los residuos sólidos visualmente al ambiente y el centro poblado de la aldea, con una ocurrencia probable y muy probable de suceder existiendo el vertedero en la aldea, teniendo una duración permanente y una extensión local y puntual, siendo impactos negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, pudiendo ser reversibles estos impactos con una buena administración de los residuos en el municipio.

4.2.3. Análisis de impactos ambientales críticos en aldea El Llano

Las aguas subterráneas contaminadas en aldea La Ciénaga es de caracterización de impacto negativo-compatible $\leq (-) 9$, porque los residuos

no provocan variaciones en las características de las fuentes del agua, al no haber vertederos en la aldea. Por la misma razón en el abastecimiento de agua no impacta negativamente los residuos sólidos, el resultado es negativo-compatible $\leq (-) 9$ y en los dos aspectos evaluados se determina que es reversible el impacto.

Al no contar con sistemas de aguas pluviales en la aldea, el represamiento de caudales pluviales, es de carácter Negativo-Compatible $\leq (-) 9$, ya que los residuos fluyen sobre las calles con las aguas pluviales, en el caso de aguas pluviales a cuerpos receptores provenientes de aldea El Llano se considera un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, al perturbar las propiedades de los cuerpos receptores, al desfogar las aguas pluviales con residuos sobre el río Sigüilá, estos impactos negativos son reversibles con una administración correcta de los residuos generados.

De los elementos ambientales evaluados en aldea El Llano fue el aire, de los materiales particulados, en aldea El Llano los residuos sólidos son quemados al igual que en todo el municipio, lo que provoca un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$ en el aire, afectando con una ocurrencia muy probable y una duración permanente al no contar con un sistema de recolección de residuos sólidos. Esta acción provoca que se generen malos olores en el ambiente, y que se produzcan gases de metano y dióxido de carbono, estos impactos están categorizados como negativo-compatible, con un manejo adecuado de los residuos sólidos estos impactos son reversibles.

Los elementos ambientales evaluados del suelo fueron los lixiviados filtrados, desertificación de suelos y recuperación de suelos, en los 3 elementos ambientales el impacto es de características negativo-compatible $\leq (-) 9$, debido a que los residuos sólidos en el suelo representa una perturbación

escasa, una importancia baja, una probabilidad de que suceda poco probable, sucede en una extensión local y puntal del municipio, debido a que en todo el municipio se generan residuos sólidos, en el caso de la desertificación de suelos podría ser de duración permanente, así mismo no podría ser reversible, a diferencia de los otros dos elementos ambientales evaluados los cuales pueden ser reversibles los impactos ambientales.

La contaminación visual generada por los residuos en el paisaje y centros urbanos en aldea El Llano, provocan escasas perturbaciones en este elemento ambiental evaluado, catalogada de importancia alta por la contaminación que provocan los residuos sólidos en el ambiente, esto es con una ocurrencia probable en la aldea, teniendo una duración media al poder mitigarlos con limpiezas periódicas en la aldea, resultando en una extensión local considerados impactos negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, pudiendo ser reversibles estos impactos con una gestión eficaz de los residuos sólidos en el municipio.

4.2.4. Análisis de impactos ambientales en aldea La Emboscada

El aguas subterránea en aldea La Emboscada da como resultado un impacto negativo-compatible $\leq (-) 9$, no provoca alteración en las propiedades de la calidad del elemento, al no contar con algún tipo de vertedero en la aldea. Así mismo en el abastecimiento de agua no impacta negativamente los residuos sólidos, dando como resultado negativo-compatible $\leq (-) 9$ y en ambos elementos ambientales se puede revertir el impacto negativo.

La aldea no posee sistemas de aguas pluviales, no concurre en represamiento de caudales pluviales a causa de los residuos sólidos, se

caracteriza el impacto como negativo-compatible $\leq (-) 9$, las aguas pluviales a cuerpos receptores provenientes de aldea La Emboscada, se considera un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, al perturbar regularmente propiedades de los cuerpos receptores, al desfogar las pluviales con residuos sobre el río Sigüilá, estos impactos negativos son reversibles con una buena práctica con los residuos.

El aire en aldea La Emboscada, los materiales particulados en el territorio es una constante al quemar los residuos sólidos generados desde los hogares y en aldea La Emboscada no es la excepción, lo que provoca un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$ en el aire, afectando con una ocurrencia muy probable y una duración permanente. Los malos olores en el ambiente, y la producción de gases a causa de los residuos sólidos generados en el municipio, estos impactos categorizados como negativo-compatible $\leq (-) 9$, pudiendo mejorar en esos impactos en la aldea por medio de una buena gestión de residuos sólidos.

Los 3 elementos ambientales evaluados en aldea La Emboscada son de características negativo-compatible $\leq (-) 9$, la perturbación del suelo es escasa, una importancia baja, una probabilidad de que suceda poco probable, sucede en una extensión local, debido a que en todo el municipio se generan residuos sólidos, la desertificación de suelos podría ser de duración permanente e irreversible si no es tratado este impacto, diferente a los otros dos elementos ambientales evaluados los cuales pueden ser reversibles los impactos ambientales.

Visualmente los residuos contaminan el paisaje natural y en el paisaje urbanístico en aldea La Emboscada, provocan escasas perturbaciones en este elemento ambiental evaluado, sin embargo es de importancia alta debido a

que aldea La Emboscada es ingreso principal al municipio y la contaminación que provocan los residuos en ambiente y al urbanismo, estos impactos son de ocurrencia probable en la aldea, teniendo una duración media al contar con jornaleros de limpieza como mitigación de este impacto en la aldea, se da como resultado en una extensión local considerados impactos negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, pudiendo ser reversibles estos impactos.

4.2.5. Análisis de impactos ambientales en el sector 1

El sector 1 es de los centros poblados con mayor contaminación en las aguas subterráneas, debido que en este Sector se encuentra un vertedero no autorizado donde la población vierte sus residuos sólidos por lo que provoca alteraciones en la calidad de agua subterránea del Sector, el impacto en este elemento ambiental es de carácter negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$. El abastecimiento de agua es impactado de manera negativo-compatible $\leq (-) 9$ debido a que los residuos sólidos generados en el sector 1 perturban escasamente el abastecimiento de agua potable a la población.

El represamiento de caudales pluviales es carácter negativo-compatible $\leq (-) 9$, debido a que los residuos sólidos representan una perturbación escasa a la escorrentía natural de las aguas pluviales en el sector. Así mismo una importancia baja al ser poco probable que ocurra un represamiento de caudales pluviales de corta duración en el sector.

En el sector 1 se encuentra un vertedero no autorizado, lo que provoca que en tiempos de lluvia los residuos sólidos del vertedero fluyan hacia los cuerpos receptores de agua, provocando una perturbación en trastornando las condiciones del mismo. Este problema es de extensión puntual, de ocurrencia

probable y duración corta considerado un impacto con características negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$.

Los resultados derivados de la evaluación del aire, donde se encuentran los materiales particulados, en el sector 1 los residuos sólidos son quemados al igual que en todo el municipio, lo que provoca un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$ en el aire, afectando con una ocurrencia muy probable y una duración permanente en el vertedero ubicado en el sector. Esta acción provoca que se generen malos olores en el ambiente, y que se produzcan gases de metano y dióxido de carbono, estos impactos negativos, con un manejo adecuado de los residuos sólidos estos impactos son reversibles.

Desertificación de suelos y recuperación de suelos, como elementos ambientales evaluados, en los 2 elementos ambientales el impacto es de características negativo-compatible $\leq (-) 9$, debido a que los residuos sólidos en el suelo representan una perturbación escasa, una importancia baja, una probabilidad de que suceda poco probable, y una extensión puntal en el municipio. Los lixiviados filtrados son caracterizados un impacto negativo-moderado $(-) 15 \geq (-) 9$, debido a que la disposición final de residuos sólidos en el vertedero ubicado en el sector provoca una perturbación importante en el suelo, es un impacto que tiene una ocurrencia muy probable de suceder, una duración permanente mientras exista el vertedero como punto de contaminación en el sector. Pudiendo ser reversibles estos impactos.

Visualmente los residuos contaminan el paisaje natural y en el paisaje urbanístico, perturba con una importancia alta en el paisaje a raíz de los residuos sólidos vertidos en el botadero del sector, de importancia alta debido a la contaminación por los residuos sólidos visualmente al medio ambiente y en el entorno del sector 1, con una ocurrencia probable y muy probable de

sucedier existiendo el vertedero en el sector, teniendo una duración permanente y una extensión local y puntual, considerados impactos negativo-moderado (-) $15 \geq (-) 9$, pudiendo ser reversibles estos impactos.

4.3. Análisis de la caracterización de residuos sólidos en el municipio

La producción de residuos sólidos promedio generados por día en el municipio de San Miguel Sigüilá, de estos datos promedio se determinó la producción per cápita de los vecinos del municipio, el cual dio como resultado 0.40 kg/hab/día, este valor es debido a que en su mayoría los residuos orgánicos producidos se utilizan para alimento de animales domésticos y otras disposiciones finales como tirar, quemar o enterrar, por lo que no representó una cantidad de residuos significativa cuando se obtuvieron las muestras en la caracterización de las viviendas.

De lo recolectado en el municipio de San Miguel Sigüilá, representa un 31.18 % que son orgánicos tales como residuos de comida y restos de jardinería, este porcentaje bajo es el reflejo de las acciones que toman los pobladores como disposición final de residuos orgánicos. El 68.82 % complementario de los residuos totales generados en el municipio son características inorgánicas, entre los cuales se encuentran residuos que pueden ser reciclados entre ellos el papel y cartón que representa un 8.21 %, metales 2.53 %, vidrio 25.52 % y un 32.56 % no reciclables. Estas características atribuyen el esfuerzo de gestionar un centro de clasificación y transferencia para lograr una mejor gestión de residuos sólidos en el municipio.

La densidad de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, es equivalente a un 80.66 kg/m³, este resultado debido a que en el municipio

se produce un porcentaje mayor de residuos inorgánicos, por lo cual estos residuos tienen una densidad más baja que los residuos orgánicos. Según los datos experimentales la densidad de residuos sólidos cuando la diferencia entre residuos orgánicos es mayor o igual al 50 % está en un nivel de 100 a 200 kg/m³.

4.4. Análisis del plan estratégico de la clasificación, recolección y transporte de residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá

Para que el plan estratégico de recolección y transporte funcione de la manera adecuada, se debe de iniciar con la separación de lo generado desde los hogares, instruir y capacitar a los pobladores para realizar la separación de los residuos orgánicos en bolsas verdes y los inorgánicos en una bolsa de color negro, para ser más eficiente el trabajo en el centro de transferencia.

Para la recolección de los residuos sólidos en el municipio de San Miguel Sigüilá, se dividió el territorio en 5 sectores partiendo de los habitantes de cada sector y la cantidad estimada generada de residuos por día, para poder realizar el servicio dos veces a la semana, según el Acuerdo Gubernativo 164-2021 en el artículo 18, realizando la recolección a cada 72 horas como máximo. Según la cantidad de producción de residuos es conveniente la unión por sectores esto en base a la capacidad de la unidad recolectora por lo que los sectores 1 y 2, 4 y 5, serán organizados en la recolección en un mismo día.

La unión de los sectores fue para asegurar la recolección de residuos sólidos a la semana en dos ocasiones los centros poblados, se unieron con los criterios de cercanía de los centros poblados, densidad poblacional y por

la cantidad de producción de residuos sólidos generados, haciendo un balance entre los residuos a recolectar a diario.

De las figuras 16 a 20 se presentan las rutas de recorrido para la recolección de residuos sólidos, todos los diagramas de rutas de recorrido inician en el solar identificado para el centro de transferencia de residuos sólidos y parqueo del vehículo recolector, ubicado en la periferia del centro de San Miguel Sigüilá, las rutas de recorrido corresponden al método de peine para recolectar, debido a la escasa densidad poblacional de cada uno de los centros poblados, el territorio de San Miguel Sigüilá es un 100 % área rural por lo que las calles no cuentan con una crujía tipo manzanas o cuadras y existen varios callejones donde el vehículo recolector no podría tener acceso, por lo que se consideró en el diseño de rutas la simplificación de vías para hacer más eficiente la recolección de residuos sólidos.

De los residuos sólidos generados en los diferentes sectores identificados, se establece que en cada uno se debe de realizar la recolección de residuos sólidos iniciando el día lunes y jueves para los sectores 1 y 2, el día martes y viernes en el sector 3 y los días miércoles y sábado para los sectores 4 y 5, en ninguno de los días la unidad llegará 75 % de su capacidad máxima.

El cálculo de la densidad de los residuos sólidos y la cantidad total de residuos generada por sector.

Para realizar la recolección de residuos sólidos se identificó que solo es necesario un vehículo recolector de 3500 kg de capacidad bruta, para cumplir con lo determinado en los días horario para recolección, así mismo un tamaño de cuadrilla de 3 personas para realizar esta labor, trabajando 8 horas al día

por 6 días a la semana, estos datos se obtuvieron según la cantidad de residuos sólidos generados por sector.

CONCLUSIONES

1. La aceptación sobre un proceso de clasificación de residuos sólidos por parte de la población es positiva con un 73.47 %, un 80 % de la población separa los residuos orgánicos generados en el hogar, así mismo el 82 % de la población actualmente toma acciones de disposición final a los residuos orgánicos.
2. Los impactos ambientales críticos en el municipio de San Miguel Sigüilá se encuentran ubicados en aldea La Ciénaga y en el sector 1, debido a que en estos centros poblados se ubican vertederos de residuos sólidos no autorizados.
3. En el municipio de San miguel Sigüilá se generan un aproximado de 4 toneladas de residuos sólidos al día, el 31.18 % son de características orgánicos, el 68.82 % son residuos inorgánicos, de los cuales el 32.56 % son residuos no reciclables. La producción per cápita del municipio es de 0.40 kg/hab/día y la densidad de residuos sólidos generada en el municipio equivale a 80.66 kg/m³.
4. El plan estratégico de clasificación, recolección y transporte para el municipio, establece que la clasificación se realizará en los hogares entre residuos orgánicos e inorgánicos, la recolección y transporte se llevará a cabo cada dos días en los diferentes sectores identificados con una cuadrilla de tres personas y una unidad de transporte de 3,500 kilogramos de capacidad.

RECOMENDACIONES

1. Recomendar a la municipalidad de San Miguel Sigüilá, por medio de la oficina de medio ambiente y educadores, realizar jornadas de capacitación sobre el manejo adecuado de residuos sólidos comunes a la población del municipio, para mejorar el sistema de recolección y transporte del municipio.
2. Clausurar, dar tratamiento y circular los vertederos no autorizados existentes, para evitar incurrir en delitos contra el ambiente en el municipio de San Miguel Sigüilá.
3. Exhortar a la municipalidad de San Miguel Sigüilá, realizar el diseño de un centro de transferencia considerando la población futura para poder tratar los residuos inorgánicos previo a una disposición final, así mismo dar respuesta al Acuerdo Gubernativo 164-2021 el cual tiene como fecha límite el 11 de agosto de 2023 para cumplir con las obligaciones establecidas en el reglamento.
4. Recomendar a la municipalidad de San Miguel Sigüilá, utilizar los diagramas de rutas de recolección diseñados para garantizar la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en todo el territorio del municipio, así mismo valorar la propuesta de vehículo recolector, el cual va en función del tipo de topografía y características de los caminos rurales.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 111-2005. Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos. Diario de Centroamérica. Guatemala. 4 de abril de 2005.
2. Acuerdo Gubernativo 164-2021. Reglamento para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comunes. Diario de Centroamérica. Guatemala. 9 de agosto de 2021.
3. Acuerdo Gubernativo 234-2004. Creación de la Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos. Diario de Centroamérica. Guatemala. 11 de agosto 2004.
4. Acuerdo Gubernativo 68-86. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. Diario de Centroamérica. Guatemala. 19 de diciembre de 1986.
5. Acuerdo Legislativo 18-93. Reformas a la Constitución de la Republica de Guatemala. Diario de Centroamérica. Guatemala. 17 de noviembre de 1993.
6. Castañeda, E. D. (2019). *Plan de manejo de desechos sólidos en el casco urbano del municipio de Puerto Barrios, departamento de Izabal* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

7. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (1980). *Sectorización de diseño de rutas*. Perú: Autor.
8. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Chile: Autor.
9. Decreto 105-2002. Código municipal. Diario de Centroamérica. Guatemala. 15 de julio de 2002.
10. Decreto 90-97. Código de Salud. Diario de Centroamérica. Guatemala. 2 de octubre de 1997.
11. Flores, L. C. (2018). *Modelo de gestión para la erradicación de basureros clandestinos, estudio de dos casos en el municipio de Villa Nueva* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Ledesma (2021). *Gestión de residuos*. Argentina: Autor.
13. López, S. A. (2010). *Gestión de los residuos sólidos en la cabecera municipal de Santiago Sacatepéquez. Sacatepéquez* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
14. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Guía para la identificación grafica de los residuos sólidos comunes*. Guatemala: Autor.

15. Mejía, A. I. (2017). *Plan de manejo integral de los residuos sólidos orgánicos en el mercado la parroquia, ciudad de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
16. Michael. A. (1996). *Gestión integral de desechos sólidos*. Argentina: Autor.
17. Morales, G. E. (2016). *Propuesta para un tren de aseo para desechos sólidos en el casco urbano del municipio de Patzicía, departamento de Chimaltenango* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
18. Ramos, H. A. (2018). *Gestión de los desechos sólidos en la cabecera municipal de Tejutla, departamento de San Marcos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
19. Rodríguez, K. I. (2016). *Propuesta de un modelo mínimo de centro de acopio para desechos sólidos, caso validado en el mercado municipal de Casillas, Santa Rosa* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
20. Rondón. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL.
21. Sakurai, K. (1980). *Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos*. Washington, Estados Unidos: OPS/OMS.

22. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los residuos sólidos urbanos*. México: Autor.
23. Tchobanoglous, G. (1982). *Desechos sólidos principios de ingeniería y administración*. Mérida, Venezuela.

APÉNDICES

Apéndice 1. Recolección de muestra



Fuente: [Fotografía de Ivan Girón] (San Miguel Siguilá, Quetzaltenango 2022) Colección particular. Guatemala.

Apéndice 2. Homogeneización de residuos sólidos



Fuente: [Fotografía de Ivan Girón] (San Miguel Siguilá, Quetzaltenango 2022) Colección particular. Guatemala.

Apéndice 3. Procedimiento método de cuarteo



Fuente: [Fotografía de Ivan Girón] (San Miguel Siguilá, Quetzaltenango 2022) Colección particular. Guatemala.

Apéndice 4. **Peso de residuos sólidos específicos**



Fuente: [Fotografía de Ivan Girón] (San Miguel Siguilá, Quetzaltenango 2022) Colección particular. Guatemala.

Apéndice 5. **Cálculo de densidad de residuos sólidos**



Fuente: [Fotografía de Ivan Girón] (San Miguel Siguilá, Quetzaltenango 2022) Colección particular. Guatemala