



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU Y PROPUESTA DE MEJORA BAJO EL CONCEPTO DE ECO DRIVING EN HUATUSCO, VERACRUZ

TESIS PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
C. MARÍA GUADALUPE VICHQUI CALDERÓN
C. CLAUDIA SOFIA ESPINOZA CORTÉS**

**DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL
M.I. MIGUEL ÁNGEL SOLÍS JIMÉNEZ**

HUATUSCO, VER.

AGOSTO 2023.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por darme acierto y ser mi guía a lo largo de mi carrera y de mí vida y finalmente por permitir culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre, por demostrarme su amor, por el apoyo incondicional en cada una de mis decisiones a pesar de no siempre ser las correctas, por darme la fortaleza que en repetidas ocasiones necesite y sobre todo por la confianza puesta en mí.

A mi padre, por inculcarme los valores que me forman como persona, por brindarme la oportunidad de estudiar y sobre todo por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia puedo lograr cualquier meta que me proponga

A mi hermano, por sus consejos, apoyo, comprensión y cariño, gracias por motivarme a seguir adelante, por creer en mi cuando ni yo lo hacía, no logramos compartir este momento, pero estoy segura que estarías orgulloso de mi. Este logro también es tuyo.

Guadalupe Vichiqui

DEDICATORIA

Desde pequeña soñaba con el momento en que terminaría mis estudios, al ir creciendo me asombraba de lo rápido que pasaba el tiempo para que eso sucediera; hoy al voltear al pasado me doy cuenta de todo el esfuerzo y dedicación que he invertido durante estos años ha valido la pena, por lo que no podía dejar que un evento como este pasará desapercibido. Hay demasiadas personas a las cuales les tengo que agradecer el apoyo que me brindaron a lo largo de estos años, pero debo hacer una mención especial a las siguientes:

A mi madre, que me ha acompañado en cada etapa y me ha amado incondicionalmente.

A mi padre, por la confianza que ha depositado en mí y la fuerza que me brinda en todo momento para salir adelante.

A mi hermana, la cual ha sido mi compañera de vida y me ha enseñado más cosas de las que yo le puedo enseñar a ella.

A cada uno de mis profesores, que sin querer han forjado parte de mi carácter.

Y nada me hace más feliz decirles hoy con mucho orgullo que este logro también es de ustedes.

Claudia Espinoza

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco por el apoyo brindado en el transcurso de nuestra formación como profesionales.

A la división de la carrera de Ingeniería Industrial por la dedicación y el compromiso de formar profesionales capaces de enfrentarse a los retos de la vida laboral asimismo por la motivación de formar parte de los tantos egresados de dicha carrera.

Especialmente al maestro Miguel Ángel Solís Jiménez, nuestro asesor de tesis por su orientación, sabiduría y paciencia, sin duda alguna a sido un mentor excepcional que nos ha guiado en este camino, agradecemos infinitamente por su dedicación no solo como asesor sino también como docente y por motivarnos a ser siempre los mejores.

Agradecemos también al H. Ayuntamiento de Huatusco por la confianza brindada para el tratamiento de datos pertenecientes al departamento de Servicios Municipales con los cuales logramos la completa evaluación del sistema.

Finalmente agradecemos al encargado y al personal que forma parte del Servicio de Limpia Pública primeramente por la oportunidad de evaluar el desempeño del sistema además de contribuir con las facilidades para llevar a cabo el estudio.

Guadalupe Vichiqui y Claudia Espinoza

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el municipio de Huatusco, perteneciente al estado de Veracruz, con el objetivo de caracterizar el sistema de recolección de residuos sólidos urbanos, para identificar los indicadores logísticos pertinentes a fin de plantear y analizar posibles estrategias que contribuyan al rediseño del sistema de recolección actual.

Para el desarrollo del estudio, se efectuó un muestreo para identificar las micro rutas de recolección de residuos con la ayuda de herramientas tecnológicas como el Sistema de Posicionamiento Global, conocido como GPS y se representaron de manera grafica en la plataforma Google Earth.

Mediante la evaluación de las rutas de recolección se logró identificar los principales indicadores logísticos como, el kilometraje que se recorre en las rutas, el consumo de diésel y el costo que representa la disposición final de los residuos. Dichos indicadores se obtuvieron con base en la implementación del método cualitativo y observacional de los cuales se tomaron de los puntos más importantes para analizarlos mediante la dinámica de sistemas.

ABSTRACT

The present study was carried out in the municipality of Huatusco, belonging to the state of Veracruz, with the objective of characterizing the urban solid waste collection system, to identify the relevant logistic indicators in order to propose and analyze possible strategies that contribute to the redesign of the current collection system.

As well as for the development of the methodology, a sampling was carried out to identify the micro-routes of waste collection with the help of technological tools such as the Global Positioning System, known as GPS and they were represented graphically on the Google Earth platform.

Through the evaluation of the collection routes, it was possible to identify the main logistic indicators such as the mileage traveled on the routes, the consumption of diesel and the cost of the final disposal of the waste. These indicators were obtained based on the implementation of the qualitative and observational method from which the most important points were taken to analyze them through system dynamics.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE	7
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABLAS	13
CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	15
1.1 Introducción	15
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Objetivos.	18
1.3.1 Objetivo general:	18
1.3.2 Objetivos específicos:	18
1.4 Justificación	18
1.5 Descripción de la empresa u organización	19
1.5.1 Datos generales de la organización	20
1.5.2 Priorización de problemas a resolver.	20
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
1.1 Localización	22
1.2 Medio biofísico	23

2.1.1	Orografía	23
2.1.2	Hidrografía	23
2.1.3	Clima	23
2.1.4	Principales ecosistemas	23
2.1.5	Recursos naturales	24
1.3	Medio socioeconómico	24
2.1.6	Población	24
2.1.7	Indicadores económicos	25
2.1.8	Niveles de escolaridad	26
CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL		28
Antecedentes		29
Marco teórico		34
2.1	Gestión de Residuos Sólidos Urbanos	34
2.2	Sistema De Gestión Integral De Residuos Sólidos	35
2.2.1	Fase I: Generación.	36
2.2.2	Fase II: Recolección y Transporte	38
2.2.3	Fase III: Transferencia	46
2.2.4	Fase IV: Disposición Final y/o Tratamiento	47
2.3	ENFOQUE SOSTENIBLE	48
2.3.1	Ámbito Político – Jurídico	49
2.3.2	Ámbito Organizacional	50
2.3.3	Ámbito Socio – Cultural	50
2.3.4	Ámbito Tecnológico	50
2.3.5	Ámbito Ambiental	50

2.3.6	Ámbito Económico – Financiero	50
2.4	ECO – DRIVING	51
2.5	PERSPECTIVAS DEL IMPACTO DEL SISTEMA	51
	Impacto Tecnológico	52
2.5.1	Impacto Científico	52
2.5.2	Impacto Social	52
2.5.3	Impacto Económico	53
2.5.4	Impacto Ambiental	53
2.6	Dinámica de sistemas	53
2.6.1	Enfoque Sistémico	55
CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO		57
3.1	Tipo de investigación	57
3.2	Métodos y técnicas	57
3.2.1	Métodos	57
3.2.2	Técnicas	58
3.3	Metodología	59
3.3.1	Trabajo de Gabinete	59
3.3.2	Trabajo de campo	60
3.3.3	Método de estudio	60
3.4	Materiales	60
3.4.1	Descripción de los materiales	61
CAPITULO V. RESULTADOS		63
4.1	Diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos	

sólidos en el municipio de Huatusco.	63
4.2 Cobertura de monitoreo de rutas	63
4.3 Macro rutas que operan actualmente en Huatusco	63
4.3.1 Macro rutas lunes	64
4.3.2 Macro rutas martes	67
4.3.3 Macro rutas miércoles	70
4.3.4 Macro rutas jueves	75
4.3.5 Macro rutas viernes	78
4.3.6 Macro rutas sábado	82
4.3.7 Macro rutas domingo	85
4.4 Área de puntos rojos	88
4.5 Unidades de transporte para el proceso de recolección de residuos	90
4.6 Cuadrillas de ruteo	90
4.7 Barrido de calles	91
4.8 Toneladas Recolectadas de Residuos Sólidos en el Municipio de Huatusco	92
4.9 Propuesta de Mejora	93
4.9.1 Resultados y observaciones del modelo dinámico del sistema actual de gestión de RSU	101
4.9.2 Resultados y observaciones del modelo de la propuesta de mejora.	103
CAPITULO VI. CONCLUSIONES	109
CAPITULO VII. DISCUSIÓN	111
CAPITULO VIII. FUENTES DE INFORMACIÓN	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mapa geográfico de Huatusco de Chicuellar, Veracruz.</i>	22
Figura 2	<i>Pirámide poblacional total de Huatusco 2020.</i>	24
Figura 3	<i>Gráfica de actividad económica por sector.</i>	25
Figura 4	<i>Gráfica de Niveles de escolaridad en Huatusco.</i>	26
Figura 5	<i>Sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos</i>	36
Figura 6	<i>Gráfica de generación global de residuos.</i>	37
Figura 7	<i>Método de parada fija o de esquina</i>	39
Figura 8	<i>Método de acera</i>	40
Figura 9	<i>Método de contenedores Fijos</i>	41
Figura 10	<i>Método de contenedores móviles.</i>	42
Figura 11	<i>Enfoque Sostenible en la gestión integral de residuos</i>	49
Figura 12	<i>Macro rutas día lunes.</i>	65
Figura 13	<i>Micro rutas día lunes.</i>	65
Figura 14	<i>Macro rutas día martes.</i>	68
Figura 15	<i>Micro rutas día martes.</i>	69
Figura 16	<i>Macro rutas día miércoles.</i>	71
Figura 17	<i>Macro rutas 1 y 2.</i>	71
Figura 18	<i>Macro ruta 3.</i>	72
Figura 19	<i>Micro rutas día miércoles.</i>	73
Figura 20	<i>Micro rutas 1 y 2.</i>	74
Figura 21	<i>Macro rutas día jueves.</i>	75
Figura 22	<i>Micro rutas día jueves.</i>	76

Figura 23 Macro rutas día viernes. _____	78
Figura 24 Macro rutas zona urbana del día viernes. _____	79
Figura 25 Micro rutas día viernes. _____	80
Figura 26 Micro rutas zona urbana del día viernes. _____	80
Figura 27 Macro rutas día sábado _____	82
Figura 28 Micro rutas día sábado. _____	83
Figura 29 Micro rutas zona urbana del día sábado. _____	84
Figura 30 Ruta Matutina, Domingo _____	86
Figura 31 Ruta Vespertina, Domingo _____	86
Figura 32 Micro rutas Domingo _____	87
Figura 33 Área de puntos rojos. _____	89
Figura 34 Zona de puntos rojos _____	90
Figura 35 Rutas de barrido. _____	91
Figura 36 _____	94
Modelo dinámico del sistema actual de gestión de RSU. _____	94
Figura 37 _____	95
Modelo dinámico de la propuesta de mejora. _____	95
Figura 38 _____	102
Gráfica representativa de la situación actual. _____	102
Figura 39 _____	104
Gráficas en Stella y Excel del comportamiento de las variables: Generación de RSU,	
Recolección y Residuos no recolectados. _____	104
Figura 40 _____	105
Gráficas en Stella y Excel del comportamiento de las variables: Recolección,	
aprovechamiento de residuos orgánicos y valorizables y la disposición final. _____	105
Figura 41 _____	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Actividad económica por sector. _____	25
Tabla 2 Ventajas y desventajas del método de esquina o parada fija. _____	39
Tabla 3 Ventajas y desventajas del método de acera. _____	40
Tabla 4 Ventajas y desventajas del método de contenedores. _____	42
Tabla 5 Rellenos sanitarios en el estado de Veracruz _____	48
Tabla 6 Materiales para el desarrollo del proyecto. _____	61
Tabla 7 Ventajas y desventajas de los dispositivos GPS. _____	62
Tabla 8 Ventajas y desventajas del programa Google Earth. _____	62
Tabla 9 Macro rutas día lunes. _____	64
Tabla 10 Informe de Kilometraje - Rutas lunes _____	66
Tabla 11 Macro rutas día martes. _____	67
Tabla 12 Informe de Kilometraje - Rutas martes. _____	70
Tabla 13 Macro rutas día miércoles. _____	70
Tabla 14 Informe de Kilometraje - Rutas miércoles. _____	74
Tabla 15 Macro rutas día jueves. _____	75
Tabla 16 Informe de Kilometraje - Rutas jueves. _____	77
Tabla 17 Macro rutas día viernes. _____	78
Tabla 18 Informe de Kilometraje - Rutas viernes. _____	81
Tabla 19 Macro rutas día sábado. _____	82
Tabla 20 Informe de Kilometraje - Rutas sábado. _____	85
Tabla 21 Macro rutas día domingo. _____	85
Tabla 22 Informe de Kilometraje - Rutas domingo. _____	88
Tabla 23 Ubicación de Puntos rojos _____	88

Tabla 24	<i>Toneladas de residuos puestos a disposición en el relleno sanitario.</i>	92
Tabla 25		96
	<i>Variables en el modelo</i>	96
Tabla 26		102
	<i>Sistema GIRSU actual.</i>	102
Tabla 27		104
	<i>Sistema GIRSU con base en la propuesta de mejora.</i>	104
Tabla 28		105
	<i>Aprovechamiento de los residuos orgánicos y valorizables.</i>	105
Tabla 29		107
	<i>Clasificación de los residuos valorizables (Proyección a un año).</i>	107
Tabla 30		107
	<i>Comparación Ingresos - Costos</i>	107

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un tema sensible para las autoridades encargadas de su manejo, en la medida que representa un servicio indispensable para la población dadas sus repercusiones en la salud pública, el ambiente y la economía. La complejidad del sistema procede de las implicaciones sociales, económicas, tecnológicas y medioambientales que se relacionan con este.

Desde la década de los años noventa la secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales del gobierno federal ha reconocido que México enfrenta grandes desafíos en el manejo integral de los residuos sólidos, esto a causa de los altos costos asociados al funcionamiento de los sistemas de limpia pública, la falta de conocimiento de parte de los encargados, el desinterés de la ciudadanía y sobre todo a que en la actualidad los índices de producción de residuos sólidos en el país han aumentado esto a causa de diversos factores entre los cuales se puede destacar el crecimiento demográfico de las ciudades, mayor producción y consumo desmesurado resultado de los cambios continuos en los patrones de consumo, la reducción de la vida útil de los productos, entre otros.

Por otra parte, se sabe de la inexistencia de los programas municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el 94.88% de los municipios del país (SEDEMA, 2020). Cabe señalar que existen ineficiencias en los procesos de recolección, transporte y tratamiento de residuos lo que vuelve obsoleto al sistema, desencadenando así el malestar general de la población por los niveles de contaminación ambiental en el municipio y los riesgos de contraer enfermedades infecto contagiosas.

Se ha observado en distintos trabajos de investigación que el proceso con mayor incidencia y que presenta mayores complicaciones al momento de realizarse es el que comprende las rutas de recolección, los factores de mayor descuido son la frecuencia con la que pasa el camión recolector y la programación de los horarios para cada zona, así como la

preocupación en los municipios por la insuficiente flota de vehículos recolectores y costos de operación elevados.

En la mayoría de las metodologías relacionadas al análisis de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios se enfatiza el concepto de costos tomando como referencia que el proceso de recolección representa entre el 70% y 85% de los costos totales de mantenimiento del sistema, destacando la necesidad de optimizar el proceso con la finalidad de reducir costos.

Esta tendencia hace necesario prestar gran atención a los temas relacionados con la recolección, es inevitable minimizar los niveles de generación debido a que vivimos en una sociedad consumista y poco preocupada por las consecuencias que esto genera, sin embargo, es responsabilidad de toda la ciudadanía reducir el impacto con un buen proceso de recolección de residuos.

En el desarrollo de este proyecto de investigación, se toma en cuenta el análisis del desempeño de las rutas para brindar propuestas de metodologías y técnicas que contribuyan a mejorar el desempeño de las rutas actuales de recolección.

1.2 Planteamiento del problema

La problemática que se presenta, está relacionada con el funcionamiento del sistema de recolección de residuos sólidos, afectando directamente a los habitantes y a su entorno de diferentes maneras, especialmente en aspectos de salud pública, factores ambientales (como los recursos renovables y no renovables), factores sociales y factores económicos.

La gestión de transporte de los RSU presenta diferentes problemáticas, principalmente en el diseño de sus rutas de recolección, enfocándose en desarrollar sistemas integrales que respondan a las necesidades del municipio. Una inadecuada operación en la administración y manejo de los RSU no solo generará daños económicos importantes, sino que implicará daños ambientales y de funcionalidad del sistema de recolección.

Es una tarea compleja que tiene implicaciones sociales, económicas, tecnológicas y

sobre todo ambientales para la sociedad y administraciones locales.

Un mal diseño de rutas, trae como consecuencia:

Deficiencia operativa y de uso del equipo.

Desperdicio de personal.

Reducción de las coberturas del servicio de limpia.

La metrópolis y grandes ciudades son las que se considera presentan dificultades en el manejo integral de sus residuos debido a la población que tienen que atender, sin embargo, al analizar el funcionamiento de los sistemas en pequeñas y medianas ciudades se considera ineficiente su manejo, de ahí parte la importancia de considerar a todos los municipios sin importar sus características.

Las rutas de recolección de residuos en el municipio de Huatusco, Veracruz habitualmente han sido diseñadas de manera intuitiva por parte de las personas encargadas del servicio de limpia pública y en los cambios de gobierno existe confusión por parte de los nuevos encargados así que no realizan la evaluación del sistema y lo operan de manera convencional, sin tomar en consideración aspectos importantes como el modelado de rutas y su optimización mediante herramientas de ingeniería que permitan un desempeño más eficiente.

En esa misma línea se observa que el crecimiento demográfico va en aumento lo que demanda una mayor cobertura del servicio y los encargados se ven forzados a cumplir con los requerimientos de la población y agregan las nuevas colonias a las rutas ya existentes pese a la saturación de las rutas. Huatusco se caracteriza por poseer diversidad de flora y fauna así que el descuido del sistema desencadenaría una serie de eventos catastróficos para el municipio y para la región.

Con la realización de este estudio se busca analizar el sistema actual de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Huatusco, Veracruz., con base en datos de recorridos reales obtenidos mediante dispositivos de geoposicionamiento global (GPS).

1.3 Objetivos.

A continuación, se presenta el objetivo general y específicos que se plantea cubrir en el desarrollo de esta investigación.

1.3.1 Objetivo general:

Evaluar mediante indicadores logísticos las rutas de recolección de RSU, con el fin de proponer y analizar estrategias que contribuyan al rediseño del sistema de recolección actual.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Conocer las rutas actuales de recolección de RSU, así como el costo actual de las mismas.
- Tener una métrica actualizada de los indicadores de operación del sistema actual.
- Obtener la cantidad de RSU que se generan por rutas.
- Establecer las bases para diseñar un plan de mejora que permita la disminución de costos de transporte del sistema de recolección

1.4 Justificación

En 2013, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía demostró que México al igual que otros países enfrenta grandes problemas en el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), debido a su crecimiento acelerado y planificación de urbanización de las ciudades, lo cual ha generado que se recolecten en promedio 86 mil 343 toneladas de residuos nacionalmente. Debido a que esta problemática tiene un impacto de carácter de salud pública, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, inicio una serie de actividades encaminadas para lograr una gestión integral de los residuos, entre los cuales destaca el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

En el contexto actual de la gestión de transporte de los residuos sólidos urbanos se presentan diferentes problemáticas, principalmente en el diseño de rutas de recolección, enfocándose en desarrollar sistemas integrales de gestión que respondan a las necesidades de un municipio, ciudad o región. Esta gestión es una tarea compleja que tiene implicaciones

sociales, económicas, tecnológicas y sobre todo ambientales para la sociedad y administraciones locales. En el libro Logística. Administración de la cadena de Suministro (2004) se menciona que el transporte es una pieza clave dentro de las redes logísticas, ya que la experiencia ha demostrado que este elemento no solo añade valor a los servicios, sino que representa el 50% al 66% de los costos logísticos totales. Dicho esto, una inadecuada operación en la administración y manejo de los RSU no solo generará daños económicos importantes, sino que implicará daños ambientales y de funcionalidad del sistema de recolección. Un mal diseño de rutas, trae como consecuencia, deficiencia operativa y de uso del equipo, desperdicio de personal y reducción de las coberturas del servicio de limpieza.

En lo referente a la ciudad de Huatusco, Veracruz, se sabe que es un centro económico para muchos municipios y localidades pequeños que colindan con esta ciudad, sumado a esto el crecimiento poblacional que ha tenido en los últimos años aumenta la generación per cápita de basura, que si bien aún se encuentra por debajo de la media nacional, ya empieza a ser un problema para los habitantes principalmente en las comunidades alejadas del centro, pues en muchas de las esquinas se logra apreciar los residuos que esperan por el camión de la basura. El presente proyecto se lleva a cabo con el fin de implementar el sistema de posicionamiento global GPS a las unidades recolectoras para controlar y monitorear las rutas de recolección con las que opera el sistema de limpieza pública del municipio, ya que este sistema brinda herramientas para identificar geográficamente en un mapa los puntos recorridos por las unidades, además de visualizar información importante para realizar una correcta toma de decisiones. Además, el análisis de la información permite identificar posibles áreas de mejora en el sistema de limpieza pública, optimizando los procesos y contribuyendo a un desarrollo sostenible de la ciudad. Al analizar esta situación se pretende comprender la operación de las rutas actuales para lograr encontrar una oportunidad de mejora.

1.5 Descripción de la empresa u organización

En el siguiente apartado se describen datos importantes de la organización en donde se

llevó a cabo la investigación, como el domicilio, el departamento al que se dirige el proyecto entre otros.

1.5.1 Datos generales de la organización

- Nombre: H. Ayuntamiento Huatusco
- Sector: Público.
- Domicilio:
 - Avenida 2 Poniente. SN, Colonia Centro.
 - Código postal: 94100
 - Ciudad: Huatusco de Chicuellar, Veracruz, México.
 - Teléfono: 273 734 0506
- Departamento: Dirección de Servicios Municipales
- Área: Coordinación de Servicios de Limpia Pública

1.5.2 Priorización de problemas a resolver.

Nombre del proyecto: “Caracterización de las Rutas de Recolección de RSU y Propuesta de Mejora bajo el Concepto de Eco Driving en Huatusco, Veracruz.”

En 2012 la producción mundial de residuos sólidos urbanos se calculó en alrededor de 1 300 millones de toneladas diarias, y se estima que podría crecer hasta los 2 200 millones en el año 2025 (Hoornweg, 2012). La generación global de RSU muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinada, en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana.

El incremento de la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) se ve directamente relacionado con el aumento de la población y el estilo de vida actual, estos se definen comúnmente como un mayor consumo de bienes y servicios (Giusti, 2009). Dichas tendencias hacen necesario prestar gran atención a temas relacionados con la recolección, manejo y disposición final de los residuos. Uno de los temas más relevantes, para abordar, es el que tiene que ver con su adecuado confinamiento, esto con la finalidad de evitar que los sitios en los

que se depositan los RSU se conviertan en focos de contaminación o infección, y se asegure que no serán dispersados (Semarnat, 2006; Regadío, 2015).

Como institución al ser desarrolladores de este tipo de proyectos no solo impactan a la población local, si no que vuelves partícipe a la comunidad estudiantil que pertenece a otros municipios volviéndolos consientes de las problemáticas ambientales.

Al mismo tiempo, la institución brinda oportunidad de crecimiento a los jóvenes que se preparan día con día en ella. Estas oportunidades permiten que el alumno desarrolle diversas habilidades permitiéndole ser más competente en el ambiente laboral una vez que egrese. Al ser los estudiantes partícipes de estos proyectos brindan un panorama nuevo y con ideas innovadoras que permiten una mejor percepción de soluciones óptimas y eficaces.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Localización

El presente proyecto se realizará en el municipio de Huatusco, Veracruz. Huatusco es uno de los 212 municipios que conforman el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. El municipio de Huatusco se localiza en la región montañosa central del estado de Veracruz, entre los paralelos 19° 04' y 19° 13' de latitud norte y los meridianos 96° 41' y 97° 04' de longitud oeste, a una altitud que varía de entre los 400 msnm hasta los 2,000 msnm. Cuenta con una superficie de 202.5 km² cifra que representa el 0.29% total del estado.

Figura 1

Mapa geográfico de Huatusco de Chicuellar, Veracruz.



Limita al norte con Tlaltetela y Sochiapa; al noreste con Comapa; al sureste con Zentla y Tepatlaxco; al sur con Ixhuatlán del Café y Coscomatepec; al oeste con Calchahuaco y al noroeste con el estado de Puebla. Tiene una superficie de 202.47 Km², cifra que representa un 0.29% total del estado, su distancia aproximada al sur de la capital del estado por carretera es de 125 Km.

1.2 Medio biofísico

En los siguientes apartados se describen características físicas y biológicas del área de estudios, que brindan una visión global del entorno natural del municipio de Huatusco, Veracruz.

2.1.1 Orografía

El municipio se encuentra ubicado en la zona central montañosa del estado, sobre las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Su topografía es bastante accidentada observándose elevaciones al sur y al oeste que superan los 1800 msnm y barrancas considerablemente profundas. Geomorfológicamente, la ciudad de Huatusco se localiza sobre una extensa ladera tendida que se prolonga de poniente a oriente delimitada al sur por un sistema de lomeríos (serranía de Ixpila), al norte por la microcuenca del río Citlalapa y al oeste por el sistema montañoso pertenecientes a la sierra madre oriental llamada también "Sierra alta de Huatusco".

2.1.2 Hidrografía

El municipio pertenece a la región hidrológica del Papaloapan y este a su vez a la cuenca del Río Jamapa y del río La Antigua. El municipio se encuentra regado por una red de pequeños ríos, tributarios del río Jamapa, que desemboca en el Golfo de México, formando la Barra de Boca del Río. Además de un afluente que pasa por la localidad de Elotepec que aguas abajo forma parte del río de Los pescados.

2.1.3 Clima

Semicálido húmedo con lluvias todo el año (48%), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (42%), cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (6%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (4%).

Rango de temperatura: 16°C – 26°C

Rango de precipitación: 1100 mm - 1600 mm

2.1.4 Principales ecosistemas

El municipio de Huatusco se caracteriza por poseer "Bosque Mesófilo de Montaña" en su parte media y alta, este tipo de Bosque, (también denominado "Bosque de Niebla") es un tipo

de bosque único a nivel mundial por su mega diversidad.

Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el subtropical perennifolio, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de conejos, ardillas y armadillos.

2.1.5 Recursos naturales

Su riqueza está representada por minerales como la arena, mármol y arcilla; además son de gran importancia sus recursos forestales.

1.3 Medio socioeconómico

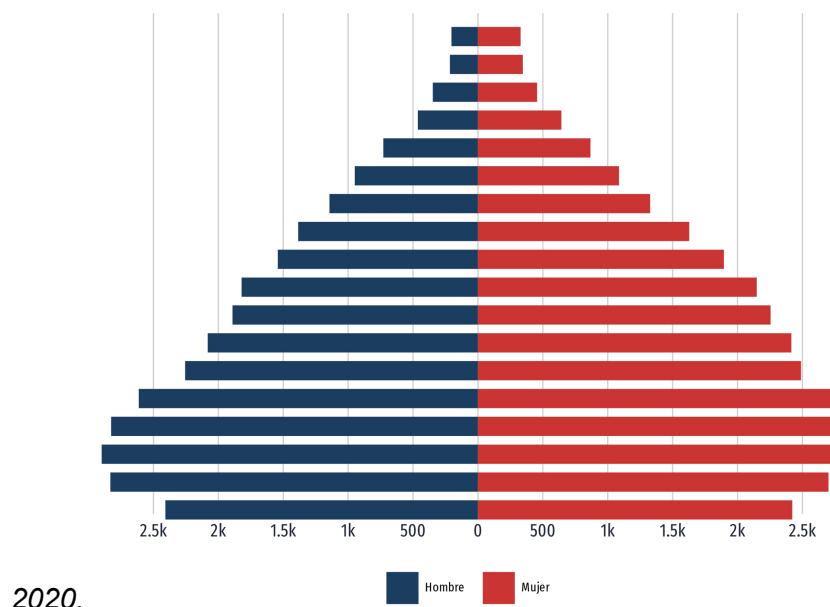
En este apartado se describen las estructuras y condiciones sociales y económicas en general de la población del municipio de Huatusco.

2.1.6 Población

La población total de Huatusco en 2020 fue 59,920 habitantes, siendo 52.3% mujeres y 47.7% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 10 a 14 años (5,640 habitantes), 15 a 19 años (5,621 habitantes) y 5 a 9 años (5,533 habitantes). Entre ellos concentraron el 28% de la población total.

Figura 2

Pirámide poblacional total de Huatusco



2.1.7 Indicadores económicos

Según datos del Censo Económico 2019, los sectores económicos que concentraron más unidades económicas en Huatusco fueron Comercio al por Menor (1,403 unidades), Otros Servicios Excepto Actividades Gubernamentales (454 unidades) y Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas (391 unidades).

Tabla 1

Actividad económica por sector.

Sector	% económicamente activa	Población
Comercio al por Menor	47%	
Otros Servicios Excepto Actividades Gubernamentales	15%	
Servicios de Alojamiento y de Preparación de Alimentos	13%	
Industrias Manufactureras	10%	
Servicios de Salud y de Asistencia Social	5%	
Servicios Profesionales, Científicos y Técnicos	3%	
Comercio al por Mayor	2%	
Servicios Inmobiliarios	2%	
Servicios de Esparcimiento Culturales	1%	
Servicios Educativos	1%	
Servicios de Apoyo a los Negocios	1%	
Servicios Financieros y de Seguros	1%	
Otros	1%	

La ilustración 3 muestra la comparación de manera gráfica de los datos presentados en la tabla 1.

Figura 3

Gráfica de actividad económica por sector.



2.1.8 Niveles de escolaridad

En 2020, los principales grados académicos de la población de Huatusco fueron Primaria (34.6% del total), Secundaria (24.4% del total) y Licenciatura (18.6% del total). La siguiente gráfica muestra la distribución porcentual de la población de 15 años y más en Huatusco según el grado académico aprobado.

Figura 4

Gráfica de Niveles de escolaridad en Huatusco.



CAPITULO III. MARCO REFERENCIAL

Care International – Avina en su módulo para el Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades de Organizaciones Comunitarias enfatiza la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe y menciona que dicho proceso se ha limitado a la prestación de un servicio de aseo enfocado a la recolección de los residuos y su transporte a un sitio de disposición final sin ningún manejo técnico y de manera incontrolada.

Por otra parte, menciona un aspecto importante que en muchas ocasiones las autoridades encargadas omiten que involucra a los municipios urbanos y periurbanos y las zonas rurales dado que su situación en materia de residuos se ve afectada por las limitaciones técnicas para una disposición final adecuada, las dificultades en el pago de tarifas, escaso desarrollo institucional en la gestión, poca participación ciudadana en el servicio y en el control de la calidad del mismo. En términos generales se puede considerar que los municipios presentan debilidades en cuanto a la gestión de sus residuos se refiere.

Para autores como *Medina Bermúdez, 1999* el tema de residuos sólidos es de gran interés y preocupación para las autoridades, instituciones y comunidad, por la amenaza que representa contra la salud humana y el ambiente específicamente en relación con el deterioro estético de los centros urbanos y del paisaje natural, así como en la proliferación de vectores transmisores de enfermedades y el efecto sobre la biodiversidad.

El desarrollo industrial y el crecimiento de la población ha originado un continuo aumento en la producción de residuos sólidos; de igual forma, su composición día tras día es más heterogénea. La base para el óptimo manejo, incluye la adecuada intervención de las diferentes etapas de una gestión integral de residuos, las cuales incluyen la separación en la fuente, la recolección, el manejo, el aprovechamiento, tratamiento, disposición final y la organización institucional de la gestión. La preocupación por los residuos generados en los centros urbanos ha partido de las consideraciones de tipo higiénico y sanitario. El problema comenzó cuando la comunidad empezó a dejar los residuos en la vía pública para que alguien los retirara. En dicho

momento aparece la necesidad de establecer un proceso de recolección, como parte fundamental de un servicio público, sin importar dónde irían a parar dichos residuos, o estableciendo como métodos de disposición la descarga al cielo abierto o a cuerpos de agua sin considerar las externalidades de tipo ambiental. (Medina Bermúdez, 1999).

Antecedentes

Al hablar de un diseño de rutas se toman en consideración diversos aspectos significativos que son relevantes para el óptimo aprovechamiento del sistema de recolección, debido a que tanto las características naturales y demográficas de la localidad impactan en la eficiencia del sistema. Dentro de los puntos más relevantes encontrados en las investigaciones dedicadas a la optimización de las rutas resaltan conceptos como lo es la topografía, vialidades, tipo de población, cantidad de habitantes, comercio, escuelas, cantidad y tipo de residuo, entre otros, ya que estas se ven directamente relacionadas con el equipo y las condiciones con que se cuentan para poder operar el sistema de recolección. A continuación, se presentan algunos estudios que se han realizado para poder entender como funciona un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos.

Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos implementando herramientas computacionales del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS en un municipio colombiano. (Sánchez Gómez, 2021)

Autor	Aportación
Juan Esteban Sánchez Gómez	Las herramientas utilizadas en este artículo suministran un sustento teórico capaz de englobar los requerimientos de un municipio en la formulación de estas prácticas ingenieriles. Se identificó que la falta de tecnicidad en los actuales procedimientos implementados en los municipios colombianos para la estimación de rutas de recolección de residuos sólidos disminuye la optimización y la efectividad en el sistema, incurriendo en un aumento de costos y tiempo. La incorporación de ArcGIS no solo facilitó el cálculo y estimación de dichos procesos, sino que permitió la formulación práctica de una guía que presente un sustento metodológico en el cual diferentes municipios podrán basarse para una futura estimación de las rutas de recolección que se planeen implementar.

Evaluación de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos con Apoyo de Dispositivos de Rastreo Satelital: Análisis e Implicaciones. (Betanzo Quezada, Torres Gurrola, Romero Navarrete, & Obregón Biosca, 2016)

Autores	Aportación
Eduardo Betanzo Quezada. Miguel Ángel Torres Gurrola. José Antonio Romero Navarrete. Saúl Antonio Obregón Biosca.	Esta investigación se realizó para monitorear las rutas de recolección de RSU en el municipio de Querétaro (México). Se demostró la utilidad de los dispositivos GPS en cuanto a la confiabilidad de los resultados. La combinación entre los dispositivos GPS usados en la investigación y un adecuado sistema de procesamiento de datos, aportan una herramienta de bajo costo de gran utilidad para monitorear de manera aleatoria o periódica de sistemas de recolección. Se determinó de manera objetiva la variación existente entre las rutas planeadas y la ejecución real y así estimar su impacto económico. De los resultados obtenidos se concluyó que la oportunidad y confiabilidad de la información es crucial para transparentar el desempeño del sistema de recolección y ajustarlo de manera oportuna de acuerdo con las cambiantes necesidades de las ciudades.

Diseño de Rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con un enfoque de optimización. (Espinoza Flores, Hernández Silva, López Varela, & Ochoa Gallegos, 2015)

Autores	Aportación
Ing. Javier Espinoza Flores Dr. José Fernando Hernández Silva. Dra. Carmen Guadalupe López Varela. Mc. Jesús Ramón Ochoa Gallegos.	El objetivo de este estudio fue el diseño de rutas de recolección de RSU a través de modelos matemáticos de optimización, para cumplirlo la metodología aplicada tuvo un diseño explicativo. Se realizó una recopilación y diagnóstico de la información de las rutas existentes, cobertura de rutas, sentido y vialidad de rutas y ubicación del relleno sanitario, entre otras. La finalidad fue conocer el proceso actual de recolección junto a la identificación de las variables de decisión de la investigación. Los resultados de la investigación incluyen el logro de caracterizar el problema, es decir, entenderlo como un todo para poder conocer su composición total, esto incluye información respecto a las variables que conforman el modelo matemático, sin dejar a un lado las restricciones y limitaciones de la misma. La finalidad primordial fue identificar que es una problemática de enrutamiento de vehículos a la cual se le aplicó un algoritmo similar al del agente viajero como modelo de solución.

Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistema de Información Geográfica (SIG) (Gutiérrez Galicia, 2008)

Autor	Aportación
Ing. Francisco Gutiérrez Galicia.	La aplicación de los sistemas de información geográfica resulta ser de gran ayuda en el análisis de diseño de rutas de recolección de residuos sólidos. Tradicionalmente el análisis se limita a minimizar el tiempo que se tarda el vehículo en los traslados de un punto a otro y cuantificar el tiempo que se emplea en el vaciado de tambores y canastas en las áreas de servicio y en el tiradero o relleno sanitario, para determinar el recorrido óptimo. Al emplearse un SIG se logra interactuar con un gran número de parámetros que tradicionalmente no son considerados, logrando que se pueda medir los efectos que estos tienen sobre las rutas de recolección. De los resultados obtenidos en este trabajo se resalta el hecho que en todos los casos que se utilizó esta herramienta para el diseño de rutas se obtuvo una reducción en tiempo.

Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU (Fermani, Rossit, & Toncovich, 2019)

Autores	Aportación
Fermani, Matías Rossit, Diego Gabriel Toncovich, Adrián Andrés	Este trabajo está centrado en la resolución de problemas de recolección de residuos para el área de Bahía Blanca. Particularmente se aborda una problemática de trabajos previos. En este trabajo se hizo un estudio comparativo de tres métodos de resolución exactos y heurísticos. La resolución exacta está basada en una formulación de programación matemática del modelo CVRP extendido con la incorporación de inecuaciones válidas que se implementa computacionalmente mediante el software CPLEX. Por otro lado, en lo que concierne a la resolución metaheurística se utilizan dos algoritmos, un algoritmo basado en el recocido simulado y otro tomado de la literatura basado en Large Neighborhood Search.

Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de Sistemas de Información Geográfica, un estudio de caso (León Jácome, y otros, 2020)

Autores	Aportación
---------	------------

Juan C. León Jácome. Israel D. Herrera Granda. Leandro L. Lorente Leyva. Yakcleem Montero Santos. Erick P. Herrera Granda. Daisy E. Imbaquingo Esparza. José G. Jácome León.	Con el modelo propuesto de micro ruteo se definen las rutas utilizando en software Arc Gis y su complemento Network analyst, dentro del cual se introdujo información sobre la cantidad de residuos que se genera en cada cuadra, por ende, se puede contemplar la cantidad de camiones a emplearse y los recorridos necesarios para cada ruta. El principal indicador utilizado para comparar el rendimiento del modelo propuesto con el modelo actualmente implementado es el costo por tonelada mediante el cual se muestra la conveniencia de utilizar el modelo propuesto tanto económicamente como para aumentar la eficiencia operacional. El modelo propuesto cumple con el objetivo de balancear la carga de trabajo entre las distintas 11 micro rutas propuestas, así como también se cumple con brindar un elevado nivel de servicio a su vez esta nivela la carga de trabajo, con lo cual se podrá asegurar que los camiones recolectores atiendan su respectiva ruta con frecuencia de recolección diaria.
--	---

Optimización de la Recolección de Residuos Sólidos Urbanos del Centro Cantonal SIGSIG (Minga Quezada & Zhiminaycela León, 2019)	
Autores	Aportación
Marcos Israel Minga Quezada. Yudiman Fernando Zhiminaycela León	El estudio tuvo por objetivo optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos y las rutas de barrido de calles con la finalidad de mejorar la gestión y manejo. La metodología que plantea para la elaboración del rediseño de la ruta de recolección y barrido fue por medio del software ArcGIS 10.1. Además, se analizó los indicadores básicos de los residuos sólidos urbanos: producción per-cápita, caracterización y densidad. Los resultados brindados por medio del software ArcGIS, muestran la optimización en tiempo, espacio de recorrido en la recolección de residuos sólidos, giros a la izquierda y reversad o retrocesos. Los resultados de la optimización de las rutas de recolección, por parte del carro recolector, con aumento en la distancia de recolección de 1.9 km, una disminución de tiempo de 47.25 minutos equivalente a un 19.5% menor número de giros a la izquierda de 24 a 18 y menor cantidad de reversas (retrocesos) de 10 a 2 equivalente a un 80%

Diseño de un Sistema de Recolección de Residuos Sólidos en el Cantón Cayambe (Lucero Pastás & Viñamagua Carrión, 2016)	
Autores	Aportación

Jenny Estefanía Lucero Pastás. Jenny Beatriz Viñamagua Carrión	Esta propuesta tecnológica tuvo como objetivo principal optimizar y rediseñar las rutas de recolección de residuos sólidos de la parroquia Cayambe, mediante el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG). Se utilizó el software ArcGis 10.3 aplicando la herramienta Network Analyst – Vehicle Routing Problem (VRP), que permite modelar las redes de transporte, simulando un sistema vial de un área determinada con sus respectivos bloqueos y restricciones de circulación. La herramienta permitió diseñar las rutas de recolección en base a parámetros como: velocidad del vehículo recolector, tipo de vías, longitud de vías, capacidad del carro recolector y horario de trabajo. Se obtuvo una geodatabase con la información actualizada de: predios, viviendas, manzanas, macro rutas, puntos de inicio y disposición final de los residuos y vías, aun sin contar con información completa la cual fue generada durante la realización del proyecto. Las rutas fueron presentadas en mapas donde se distingue el trayecto que deberá realizar el carro recolector en cada una de las macrorutas de acuerdo a los residuos a recolectar, que forman el modelo de recolección de RSU de la parroquia.
---	--

Autor	Aportación
Bravo Reyes Benítez	Optimización Global del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos para el trazado de rutas robustas en el Área Metropolitana de Monterrey. (Reyes Benitez, 2021) Este trabajo propone una estrategia para diseñar macro rutas y micro rutas de recolección de RSU eficientes, reduciendo costos e impactos ambientales. Se desarrolló un modelo de optimización multicriterio para las micro rutas minimizando tres costos: mantenimiento, consumo de combustible y seguridad laboral. Los datos de tráfico, distancia, altitud, sentido vial, población y nivel de marginación fueron obtenidos de sistema de información geográficos (SIG). La ruta matutina mostró el mejor desempeño económico reduciendo 15% de los costos, mientras que la ruta nocturna es la mejor opción ambiental al reducir 12% los gases de efecto invernadero. Los factores que más influyen en la eficiencia de recolección en el Área Metropolitana de Monterrey son la densidad poblacional y la altitud, el análisis estadístico mostró que implementar turnos nocturnos ayuda a reducir las variaciones en el consumo de diésel de los sistemas de recolección.

Autor	Aportación
	Optimización de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos, en la Zona Centro de la Ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas (Jiménez López, 2021)

Cristóbal Eduardo Jiménez López.	En los resultados del estudio de tiempo y movimientos se obtuvo que el sistema de recolección de la zona centro de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas está dividida en dos rutas. En el recorrido de campo realizado en la zona centro se observó que el método de recolección es el de “esquina o parada fija”, con la excepción de que los usuarios no depositan los residuos en el camión recolector. La información obtenida sobre distancias se analiza conjuntamente con la tabla de tiempos y movimientos para poder tener una mejor perspectiva de las rutas de recolección de la zona centro de la ciudad. En el mapa se plasmó; ruta completa, inicio y termino de ruta y puntos de recolección. Los resultados obtenidos con el método seleccionado reflejan una reducción del 68% en la distancia total de la ruta de recolección, dicho resultado es bastante positivo en comparación de trabajos anteriores, en donde se obtuvieron distintas reducciones menores a la presentada en este trabajo. La ruta final optimizada presenta datos con distancia y costos menores comparados con los de la ruta que se emplea actualmente.
----------------------------------	---

Sistema para Optimización de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos urbanos Implementando algoritmos genéticos (Hernández Navarro, 2019)	
Autor	Aportación
Juan Luis Hernández Navarro	El objetivo general del proyecto es Desarrollar un sistema con arquitectura cliente-servidor compuesto por una aplicación móvil la cual servirá para obtener los datos que influyen en la generación de rutas y un servidor que permita llevar a cabo la optimización de una ruta de recolección de RSU de algún lugar en específico, implementando algoritmos genéticos.

Marco teórico

2.1 Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

En la actualidad, se entiende por “Gestión de residuos sólidos urbanos (RSU)” al conjunto de operaciones encaminadas a dar a los RSU generados en una determinada zona el tratamiento global más adecuado, desde los puntos de vista técnico, económico, medioambiental y sanitario, de acuerdo con sus características y los recursos disponibles. Sin embargo, la creciente cantidad tanto de residuos generados como del ratio de generación per cápita convierten la gestión de residuos en un verdadero reto para los Gobiernos de todos los países del mundo. (Márquez Benavides, 2011)

Para el diseño y dimensionar un sistema integrado de gestión de residuos, es imprescindible conocer y relacionar una serie de factores que incluyen la cantidad y tipos de residuos, situación y ubicación de vertederos, la existencia de estaciones de transferencia, estacionalidad de la población, vías de comunicación, recursos económicos disponibles, entre otros. Con el conocimiento de estos aspectos se puede confeccionar un sistema global e integrado de gestión de los residuos sólidos que engloba todas las actividades comprendidas desde los puntos de generación hasta los lugares de eliminación, reciclaje, recuperación o valorización, buscando siempre la combinación más adecuada para las condiciones o particularidades que se tienen o requieren. (Colomer & Gallardo, 2007)

De acuerdo a Márquez Benavides, 2011 la gestión de los RSU en la sociedad actual es muy compleja, por el índice de generación de residuos, por las limitaciones económicas, por la incorporación de nuevas tecnologías, regulaciones ambientales, programas y políticas de reciclaje. De aquí que el problema fundamental de la gestión no sea la existencia de tecnologías para su tratamiento, sino el encontrar la combinación apropiada para lograr una gestión eficaz. Por ello se están incorporando modelos matemáticos que ayuden a controlar todos los aspectos de la gestión.

2.2 Sistema De Gestión Integral De Residuos Sólidos

La gestión de residuos sólidos se puede considerar un sistema de manejo basado en un enfoque sostenible que tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos que se envían a disposición final, a fin de minimizar el impacto negativo de los residuos y los costos asociados a lo antes mencionado. La visión de un sistema integral permite definir metas para convertir las alcaldías en municipios ecoeficientes.

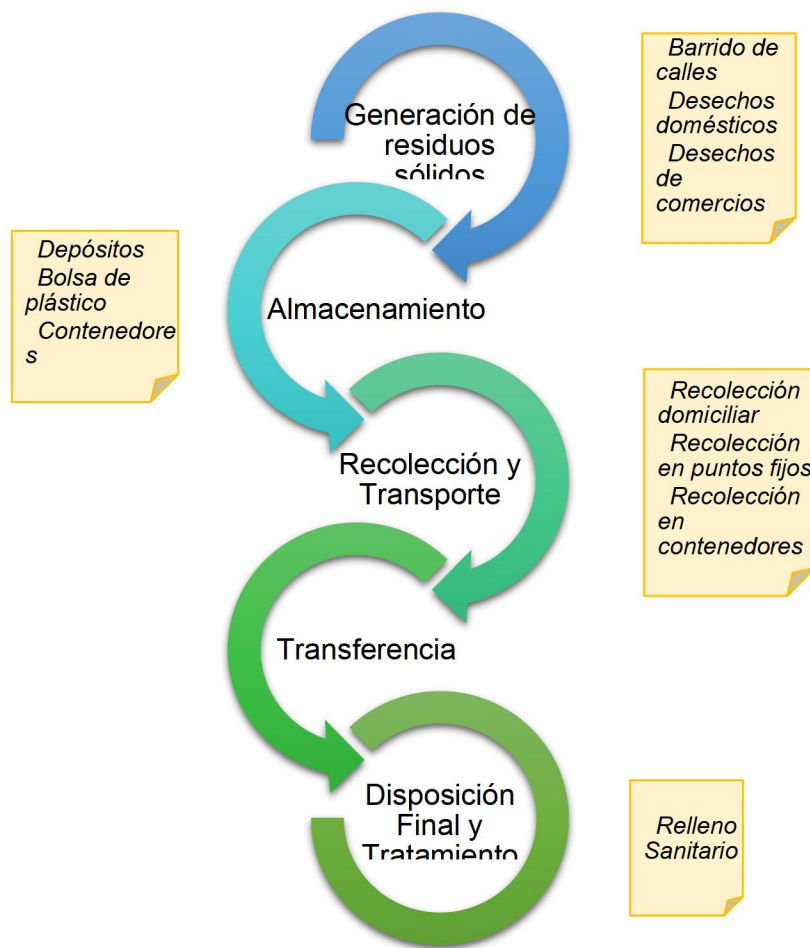
El manejo o conducción de cada uno de las fases desde que se desecha el residuo hasta que se desintegra, se observa en cuatro fases: generación, recolección y transporte, transferencia, disposición final y/o tratamiento, en cada una de las etapas, intervienen factores, tecnológicos, socio-culturales, biofísicos, económicos y político-administrativos, pues hablar de

residuos es un fenómeno multidisciplinario. Esta va a hacer la forma de exponerlos en este trabajo, la descripción de cada uno de los momentos es una forma para conocer qué pasa en ellas y determinar cuáles serían las posibles estrategias adecuadas. (Díaz Cuenca, Alvarado Granadas, & Pérez Ramírez, 2018)

Figura 5

Sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos

Urbanos



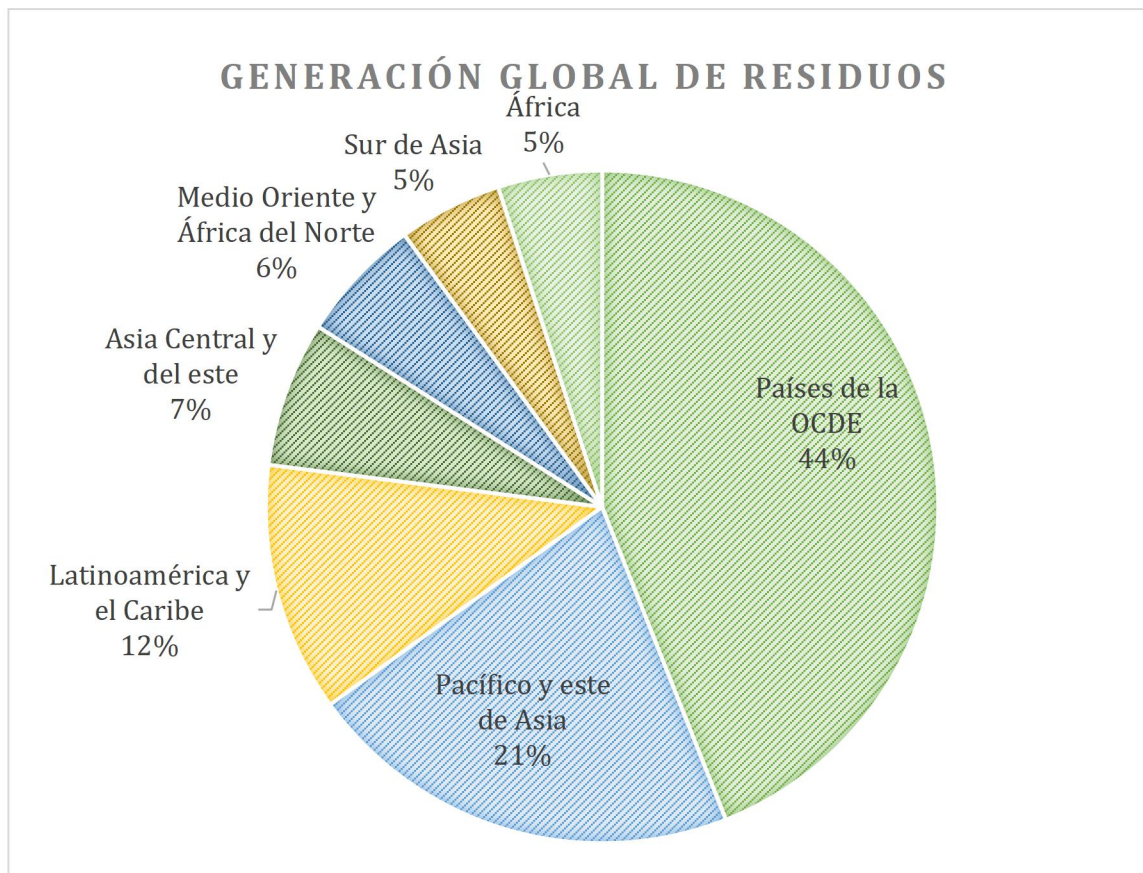
2.2.1 Fase I: Generación.

El concepto refiere a la generación de residuos como consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre, provenientes de diverso origen: residencial, comercial, industrial, etc. Se vincula a las prácticas de consumo cotidiano. La generación global

de RSU muestra una disparidad regional en cuanto a su volumen, determinada, en general, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana. En el año 2010, cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. En el caso de Latinoamérica y el Caribe, contribuyeron con el 12% del total, detrás de los países que integran las regiones del Pacífico y del este de Asia. (Hoornweg, 2012)

Figura 6

Gráfica de generación global de residuos.



En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (10.24 millones de t más generadas en ese período). Si se expresa por habitante, alcanzó 1.2 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año. (INEGI, 2015)

La generación: en las comunidades de estudio se trata principalmente bajo dos indicadores, volumen y composición de residuos. Con relación al primero, la generación per cápita, es un indicador que muestra la magnitud del problema en los casos tratados, se observa que hay una relación directa entre tamaño de población y producción per cápita de residuos.

2.2.2 Fase II: Recolección y Transporte

La etapa de la recolección de los RSU está muy ligada a la salud pública. La ausencia de esta actividad y su vinculación con la proliferación de enfermedades infecciosas en el siglo XIX, fue el factor detonante para atribuir a los gobiernos locales la responsabilidad de ofrecer dicho servicio. (UN-HABITAT, 2010)

En el caso de la recolección de los casos de estudio, un indicador para mostrar el comportamiento de este, es la cobertura de recolección, es decir del monto general de residuos, que porcentaje se estima se está recolectando; otra tecnología de recolección que hace alusión al procedimiento y al equipo de recolección.

La recolección es un servicio público que comprende la colecta de los RSU en el sitio donde se producen y su traslado hasta el sitio donde se tratan o disponen. Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, tiene una relevancia fundamental, además de que los residuos que se colectan (al menos una parte de ellos) pueden ser recuperados o dispuestos adecuadamente. En contraste, aquellos que no se recolectan pueden permanecer en los sitios de generación o diseminarse, ocasionando efectos negativos, tales como: obstruir desagües y cursos de agua (con potenciales riesgos de inundaciones), contaminar los cuerpos de agua y los suelos, deteriorar el paisaje o convertirse en fuente de enfermedades potenciales a la población, entre otros (UN-HABITAT, 2010). La recolección se diferencia de la siguiente manera:

- General: sin discriminar los distintos tipos de residuos.
- Diferenciada: discriminando por tipo de residuo en función de su posterior tratamiento y valoración.

2.2.2.1 Métodos de Recolección

La elección del método de recolección es de gran importancia para el diseño del trazado de la ruta. A continuación, se muestra una breve definición de los tipos de recolección. (Hernández Navarro, 2019)

2.2.2.2 Método de parada fija o de esquina

Este método consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, en donde previamente por medio de una campana se comunica la llegada del camión y los usuarios acuden a entregar sus residuos. El método de parada fija es de los más comunes y económicos, sin embargo, cuando no hay quien tire la basura, ésta puede acumularse en exceso y ser arrojada clandestinamente. (SEDESOL)

Figura 7

Método de parada fija o de esquina

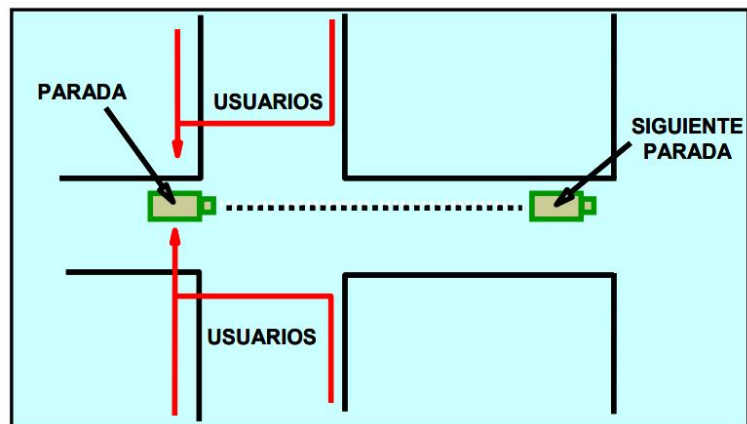


Tabla 2

Ventajas y desventajas del método de esquina o parada fija.

Ventajas	Desventajas
Mejora la imagen del servicio	Utiliza más tiempo que el de contenedores.
La recolección se realiza en menor tiempo	Requiere mayor personal de Recolección.
Es el más económico después del de contenedores	Requiere cierta participación de los usuarios

2.2.2.3 Método de acera

Consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los “peones” de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente colocados por los residentes en el frente de sus casas. Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida, y los residentes deben estar informados de ello, para sacar sus bolsas con residuos en el momento adecuado evitando así que los perros u otros animales rompan las bolsas y derramen los residuos cuando se colocan con demasiada anticipación al paso del vehículo. Los residentes de la vivienda tienen como única obligación el colocar sus residuos en el frente de su casa, preferentemente protegidos en la forma ya indicada. (SEDESOL)

Figura 8

Método de acera

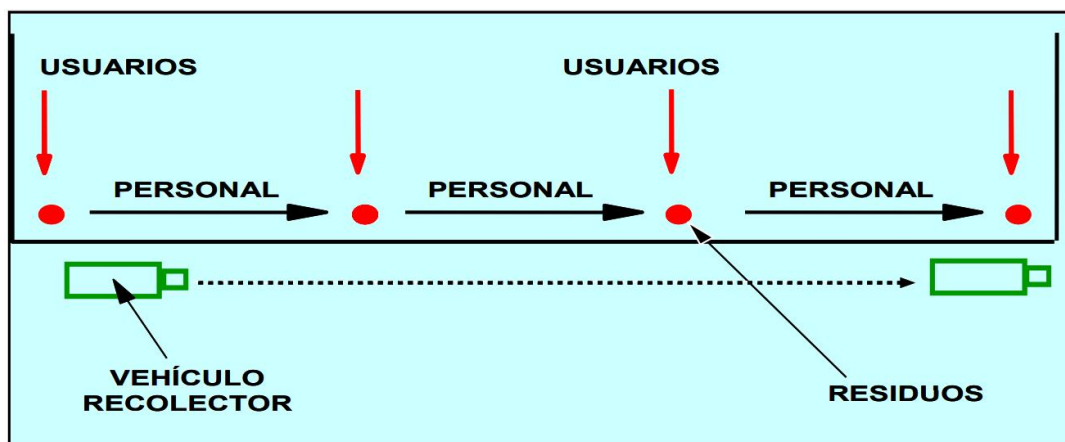


Tabla 3

Ventajas y desventajas del método de acera.

Ventajas	Desventajas
Mejora la percepción de calidad del servicio	Utiliza mayor cantidad de personal
Independencia de los usuarios	Requiere mayor tiempo de recolección

2.2.2.4 Método de Contenedores

La recolección mediante contenedores requiere de empleo de camiones especiales y

que los contenedores estén ubicados en forma asequible al vehículo recolector. Es un método ideal para centros de gran generación de residuos; hoteles mercados, hospitales, industrias, tiendas de autoservicio, etc., exige que la recolección se lleve a cabo con la debida oportunidad, ya que de lo contrario puede ocasionar focos de contaminación, al mantener almacenados grandes cantidades de residuos, en diferentes sitios de la ciudad. (SEDESOL).

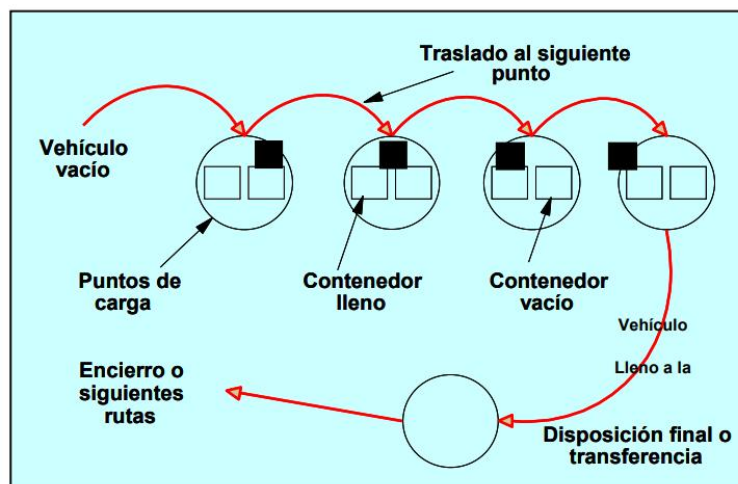
La localización de los contenedores, deberá disponerse de tal manera que el vehículo recolector tenga un fácil acceso a ellos y que, además, pueda realizar maniobras sin problemas.

- **Contenedores Fijos**

El camión recolector vacía el contenido de los contenedores y deposita el contenedor en su misma posición, por lo general, el equipo cuenta con sistema mecanizado para hacer estas operaciones. Los contenedores varían en su capacidad entre 1 y 7m³. (Ríos Hernández, 2009)

Figura 9

Método de contenedores Fijos



- **Contenedores Móviles**

En este método, el vehículo transporta el contenedor lleno a la estación de transferencia o al sitio de disposición final. El equipo requiere forzosamente contar con sistema mecanizado. Por lo general se utiliza para contenedores de capacidad mayor a 10m³. (Ríos Hernández, 2009)

Figura 10

Método de contenedores móviles.

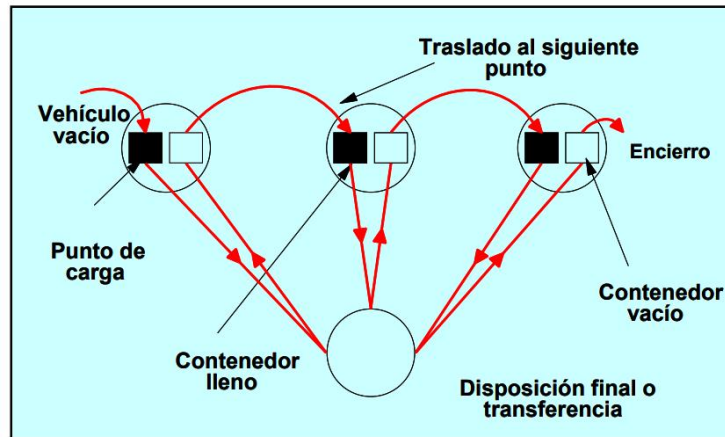


Tabla 4

Ventajas y desventajas del método de contenedores.

Ventajas	Desventajas
Disminuyen las frecuencias de recolección	Requiere amplia participación de los usuarios
Opera con el mínimo de personal	Requiere inversión adicional para contenedores
El recorrido se hace en el tiempo mínimo	La recolección debe respetar los tiempos establecidos.

2.2.2.5 Consideraciones

Al seleccionar un método de recolección, se debe en cuenta los siguientes aspectos a considerar. (Según el Manual para el diseño de rutas SEDESOL).

- Programas sociales existentes
- Hábitos de la población
- Costos asociados a cada uno de los métodos
- Características particulares de la localidad
- Utilización de varios métodos de recolección

2.2.2.6 Rutas de recolección.

Las rutas son los recorridos específicos que deben realizar diariamente los vehículos recolectores en las zonas de la localidad, donde han sido asignadas con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicho sector. Las reglas

básicas para el diseño de rutas de recolección son: (SEDESOL)

- El diseño de rutas trata de aumentar la distancia productiva (distancia en la que solo se está llevando a cabo la recolección de residuos) con relación a la distancia total (es la distancia que recorre el vehículo de recolección, desde el punto de partida hasta el lugar de disposición final de residuos).
- Los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse. Cada uno debe consistir en tramos que queden dentro de la misma área de la ciudad o localidad en estudio.
- El inicio de una ruta debe estar cerca del lugar de resguardo del camión recolector y el final cerca del lugar de disposición final de residuos sólidos.
- En lugares con pendientes fuertes o desniveles altos, debe procurarse hacer el recorrido de la parte alta a la parte baja. Si se presentan hondonadas que hay que bajar y luego subir, hay que procurar atenderlas al comienzo del viaje, cuando el vehículo recolector va con poca carga.
- Tratar de recolectar simultáneamente ambos lados de la calle. Sin embargo, ello no es recomendable en avenidas muy anchas o con mucho tránsito.
- Se debe respetar el sentido de circulación y la prohibición de ciertos virajes.
- Evitar los giros a la izquierda y las vueltas en U, porque hacen perder tiempo, son peligrosos y obstaculizan el tránsito.
- Las calles con afluencia vehicular se deben recorrer en las horas en que éste disminuye.
- Cuando hay estacionamientos de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos que la calle está más despejada.
- En las calles muy cortas o sin salida, es preferible que los vehículos recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vaya a buscar los receptáculos con los residuos, o en su caso el público lo deposite en la esquina más cercana a la ruta de recolección. Esto reduce el tiempo de la recolección.
- Cuando la recolección se hace simultáneamente a ambos lados de la calle, deben

hacerse recorridos largos y rectos, con pocas vueltas.

- Cuando la recolección se hace primero por un lado de la calle y después por el otro, generalmente es mejor tener recorridos con vueltas a la derecha alrededor de manzanas.
- Es preciso reconocer muy bien las características propias de la ciudad para que las rutas de los camiones recolectores no causen diferentes tipos de problemas.

La aparición de tiraderos clandestinos, es uno de los problemas que acarrea un mal manejo de rutas de recolección y ello se convierte en potenciales focos de infección y transmisión de enfermedades en las ciudades. Tanto la capacidad de los camiones, las distancias, y el crecimiento acelerado de nuevos centros de población, aunado al mal diseño de las rutas contribuye a que el servicio de recolección no cumpla con las expectativas esperadas de este servicio (Pérez Arriaga, Racero Moreno, & Villa Caro, 2007). Por esta razón, se deben trazar las rutas de recolección de manera que la fuerza de trabajo y el equipo sean utilizados satisfactoriamente.

- Macro rutas de Recolección

La Secretaría de Desarrollo Sustentable de México (SDS), en su manual de gestión integral de residuos sólidos, denomina macro rutas a la estratificación de la ciudad a través de sectores de operación, para lo cual establece la cantidad de camiones óptima, asignándolos a cumplir la ruta según su sector operativo. Este proceso de macro ruta se compone de dos etapas; la primera se denomina de gabinete y consiste en calcular teóricamente las necesidades del sector; en la segunda etapa conocida como ajuste de campo se balancea y nivela las cargas conforme el contexto analizado en cada área. (Bravo Figueroa, 2021)

Para la elaboración de rutas es necesaria la partición del territorio en zonas homogéneas, la misma que se realiza tomando en cuenta características como la generación de residuos, topografía y límites determinados por accidentes geográficos o instalaciones urbanas. (Bravo Figueroa, 2021)

Esta segmentación de la ciudad en sectores operativos se denomina macro rutas, las

cuales permiten conocer el número de vehículos que se requieren para la operación; posterior a esto se deben definir horarios y frecuencias de recolección. (Viñamagua Carrión & Lucero Pastás, 2016)

- Micro rutas de Recolección

Micro ruta es el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados, con el fin de recolectar en la mejor manera posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área. (Bravo Figueroa, 2021)

(Racero Moreno & Pérez Arriaga, 2006) afirman que el diseño de micro rutas debe hacerse con base en una serie de factores variables de acuerdo con la ciudad en estudio, los cuales se enuncian a continuación:

- Planos que contengan: trazo urbano, topografía, ancho y tipo de calles y tipos de disposición final.
- Zonas de habitación unifamiliar: nivel socioeconómico, número de casas, tránsito, vialidad y número de habitantes por vivienda.
- Localización de puntos de generación de residuos sólidos: mercados, supermercados, centros comerciales, cines, hospitales, restaurantes, etc.
- Generación unitaria de residuos sólidos de los elementos anteriores.
- Equipo de recolección
- Método de recolección a utilizar y
- Frecuencia de recolección

El micro ruteo se refiere al cumplimiento diario de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados los vehículos recolectores. El micro ruteo tiene los siguientes objetivos:

1. Disminuir la distancia recorrida entre dos puntos determinados.
2. Evitar pasar en lo posible por el mismo punto dos veces (punto muerto)

3. La ruta más eficiente es la que tiene menos puntos muertos. (Bravo Figueroa, 2021)

2.2.2.7 Aspectos a considerar en las rutas de recolección

- Número y tipo de equipo seleccionado
- Tamaño de la tripulación.
- Frecuencia de recolección.
- Distancia entre paradas y estaciones.
- Distancia al sitio de transferencia o disposición final.
- Maniobrabilidad de los contenedores.
- Topografía del terreno.
- Tráfico en la ruta.
- Condiciones de los caminos. (Márquez Pérez, 2008)

Otras consideraciones para el ruteo son:

- Las rutas no deben de estar fragmentadas o traslapadas.
- Cada ruta deberá ser compacta, atacando un área geográfica y estar balanceada.
- El tiempo total de cada ruta deberá ser razonablemente el mismo.
- La recolección deberá comenzar lo más cercano al encierro.
- Las calles de un solo sentido se tratarán de atacar desde el principio de ellas.
- Se deberán minimizar las vueltas en U y a la izquierda.
- Las partes elevadas se atacarán primero.
- Generalmente, cuando sólo se recolecta de un lado de la acera, es preferible rodear las manzanas.
- Cuando la recolección es por los dos lados de la acera, es preferible recolectar en línea recta por varias manzanas. (Márquez Pérez, 2008)

2.2.3 Fase III: Transferencia

Las Estaciones de Transferencia son instalaciones donde los residuos de los vehículos recolectores son transferidos a equipos de transporte de gran capacidad de carga, los cuales

finalmente son los encargados de llevar los residuos a las plantas de tratamiento o al centro de disposición final.

2.2.4 Fase IV: Disposición Final y/o Tratamiento

La disposición final es la última etapa en el manejo de RSU y comprende al conjunto de operaciones destinadas a lograr el depósito permanente de los residuos sólidos urbanos, producto de las fracciones de rechazo inevitables resultantes de los métodos de valorización adoptados.

En México, la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos son los rellenos sanitarios. De acuerdo a lo establecido en la LGPGIR, este tipo de infraestructura debe incorporar obras de ingeniería particulares y métodos que permitan el control de la fuga de lixiviados y el adecuado manejo de los biogases generados a fin de evitar riesgos a la salud pública y el ambiente. Los rellenos sanitarios difieren mucho del simple enterramiento de los residuos y sus actuales características reducen significativamente el riesgo de impactos adversos al ambiente. Mediante esta tecnología los residuos quedan encapsulados entre los materiales de la cubierta superior y un sistema de membranas, lo que permite implementar sistemas de recolección y control de las emisiones líquidas y gaseosas.

En Veracruz, el número de rellenos sanitarios registrados ante la Secretaría de Medio Ambiente es de un total de 28, teniendo un volumen de ingreso de residuos sólidos urbanos de aproximadamente 2,488 toneladas. La infraestructura para el manejo de los residuos sólidos urbanos es limitada, todos ellos fueron construidos antes del 2012, por el Gobierno del Estado y en algunos casos por las autoridades municipales; los cuales, en su gran mayoría, presentan deficiencias operativas. La mayoría de estos rellenos se encuentran en las regiones de la Huasteca Alta, Huasteca Baja y Totonaca. (Galina Pantoja, Mézquita Alonso, & Chávez Estudillo, 2020)

Tabla 5

Rellenos sanitarios en el estado de Veracruz

No .	Región	Municipio	No .	Región	Municipio
1	Olmeca	Acayucan	15	Huasteca Alta	Pánuco
2	Huasteca Baja	Álamo Temapache	16	Totonaca	Poza Rica de Hidalgo
3	Huasteca baja	Cerro Azul	17	De los Tuxtlas	San Andrés Tuxtla
4	Del Papaloapan	Cosamaloapan	18	Del Nautla	San Rafael
5	Totonaca	Coyutla	19	Huasteca Alta	Tampico Alto
6	Capital	Emiliano Zapata	20	Totonaca	Tecolutla
7	Olmeca	Ixhuatlán del Sureste	21	Huasteca Alta	Tempoal
8	Del Papaloapan	Lerdo de Tejada	22	Del Papaloapan	Tierra Blanca
9	Del Nautla	Martínez de la Torre	23	Totonaca	Tihuatlán
10	Olmeca	Mecayapan	24	Huasteca Baja	Tuxpan
11	Sotavento	Medellín	25	Sotavento	Veracruz
12	Huasteca Alta	Naranjos Amatlán	26	Capital	Villa Aldama
13	De las montañas	Nogales	27	Capital	Xalapa
14	Huasteca Alta	Ozuluama	28	Huasteca Baja	Huayacocotla

La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 define las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Las plantas de tratamiento son instalaciones a las cuales llegan los residuos provenientes de la recolección, sea esta diferenciada o no, para su clasificación y enfardado según el tipo de material, para su posterior venta e ingreso a nuevos procesos productivos.

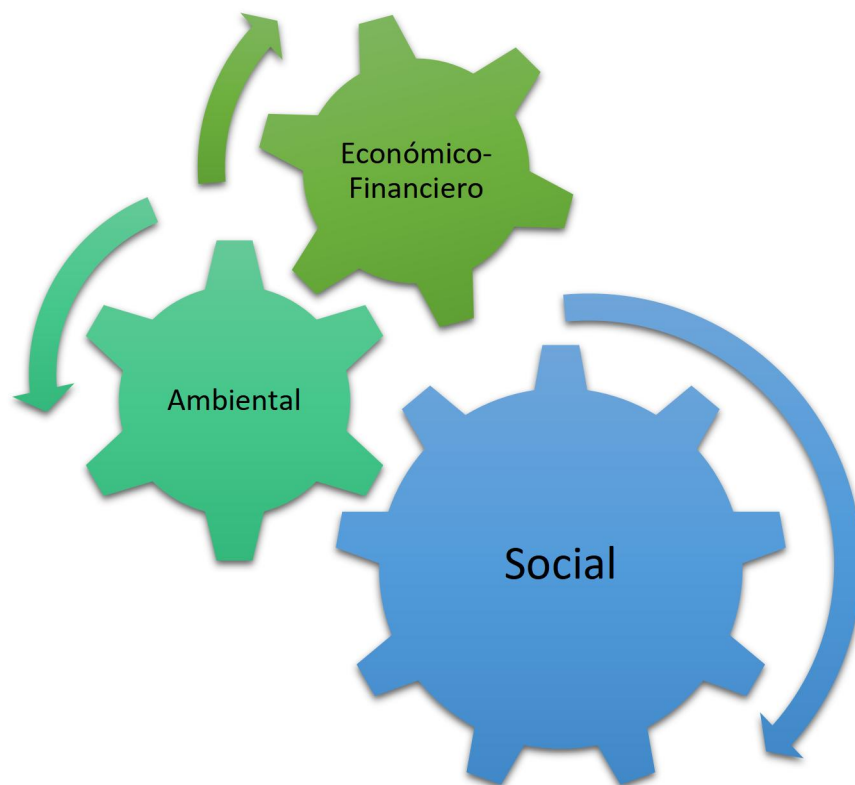
2.3 ENFOQUE SOSTENIBLE

El presente proyecto apoya a fortalecer las estrategias gubernamentales aplicadas al manejo eficiente en materia de residuos sólidos urbanos, integrando la sostenibilidad en los procesos que se llevan a cabo. La visión sostenible que se plantea no solo parte de componentes ambientales integrados a la sociedad y a la economía, sino que es un enfoque integrado que parte de la propuesta de un equilibrio entre el desarrollo social, el crecimiento económico sostenido e inclusivo y la gestión sostenible de los recursos naturales.

Se considera el principal enfoque, incluyendo una serie de acciones articuladas entre sí en al menos seis ámbitos: político, organizacional, socio - cultural, tecnológico, ambiental y económico – financiero; dando respuesta directa a las causas subyacentes que generan la problemática y la insuficiente cobertura identificada en la gestión de residuos sólidos. (CARE International-Avina, 2012)

Figura 11

Enfoque Sostenible en la gestión integral de residuos



2.3.1 Ámbito Político – Jurídico

A través de las acciones realizadas en este ámbito, se asegura el apoyo y la viabilidad política a los procesos desde las autoridades locales. Además, se desarrollan de manera participativa políticas que son favorables a la gestión del servicio, lo que a futuro garantiza mayores niveles de cumplimiento y apropiación. (CARE International-Avina, 2012)

2.3.2 *Ámbito Organizacional*

Se promueve al interior de los Municipios y/o organizaciones comunitarias el fortalecimiento de su estructura orgánica para los procesos de operación, mantenimiento y administración del sistema de residuos sólidos. (CARE International-Avina, 2012)

2.3.3 *Ámbito Socio – Cultural*

La estrategia y metodología de intervención en la gestión de residuos sólidos considera a la participación como uno de sus principios fundamentales. Asegura el involucramiento de la población en todos los procesos de gestión de los residuos a través de actividades permanentes de promoción, educación y comunicación.

2.3.4 *Ámbito Tecnológico*

En este componente se asegura el uso de diseños adecuados, tecnologías apropiadas y las alternativas del nivel de servicio para la implementación del sistema de gestión de residuos sólidos. Incluye todas las fases, desde la generación hasta la disposición y tratamiento final de los residuos en el sitio de disposición final. (CARE International-Avina, 2012)

2.3.5 *Ámbito Ambiental*

Asegura la implementación de procesos y acciones que permitan generar impactos positivos y mitigar los impactos negativos en el ambiente; así se protegerán de la contaminación a las fuentes de agua, el suelo y el aire (control de lixiviados, gases, olores), se cuidará de la estética y el paisaje en ciertas obras de infraestructura. Es decir, se atenderán una serie de medidas que se encuentran establecidas en las políticas y procedimientos ambientalmente aceptables para este tipo de intervenciones. Especial atención requiere el proceso de reflexión de la comunidad, actores locales y externos, así como la realización de acciones conducentes al cierre de los botaderos de basura que no implementan acciones integrales de gestión de los residuos sólidos. (CARE International-Avina, 2012)

2.3.6 *Ámbito Económico – Financiero*

Orientado al establecimiento de procesos adecuados de cálculo, definición y puesta en

vigencia de tarifas, considerando criterios de equidad y cobros diferenciados, así como el planteamiento de escenarios de reducción gradual de los subsidios. Se espera que el sistema de gestión de residuos sólidos tenga tarifas que cubran los costos de operación, mantenimiento, reposición y capitalización. Las tarifas son establecidas atendiendo a la capacidad y voluntad de pago de las comunidades. (CARE International-Avina, 2012)

2.4 ECO – DRIVING

La forma en que un conductor se comporta sobre ruedas puede cortar o disparar los costos de combustible y mantenimiento del vehículo. Si los conductores aprenden buenos hábitos de conducción, una empresa puede llegar a ahorrar una cantidad importante de combustible y reducir los costes de mantenimiento de los vehículos. El Eco-Driving es una práctica de conducción de forma que se minimice el consumo de combustible, la emisión de dióxido de carbono y el desgaste del vehículo.

Autores como (Corcoba Magaña, 2013) definen al Eco-Driving como una técnica de conducción que permite ahorrar combustible con independencia de la tecnología del vehículo, y que se basa en el control de las variables sobre las que puede actuar el conductor como: la velocidad, la marcha y la desaceleración. Diversos estudios demuestran que este estilo de conducción reduce el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes de forma considerable. En (J. Van Mierlo, 2004) los autores analizaron la influencia del estilo de conducción y del tráfico en la emisión de gases contaminantes y el consumo de combustible. Sus conclusiones fueron que, aplicando los consejos de Eco-Driving, se puede ahorrar entre un 5% y un 25% de combustible.

2.5 PERSPECTIVAS DEL IMPACTO DEL SISTEMA

Desde el punto de vista técnico el manejo adecuado de los residuos brinda oportunidad de crecimiento e implementación de conocimiento tecnológico y científico, ahora bien, considerando que un sistema integral tiene principalmente un enfoque sostenible, el adecuado funcionamiento permitiría mitigar los impactos negativos en los tres ejes de la sostenibilidad.

Impacto Tecnológico

El manejo de los residuos se ha considerado sólo como un servicio, olvidándose de sus componentes especialmente del tecnológico. Las tecnologías empleadas en dicho manejo son precarias y en muchas ocasiones llegan a ser obsoletas, el marco regulatorio requiere ser complementado y fortalecido por lo que instrumentar políticas integrales es necesario para la gestión sostenible de los residuos sólidos. Actualmente en México existen distintos sistemas de recolección de basura aplicados en solo algunas ciudades del país, teniendo la idea principal de la recolección de la basura para su transformación o venta basándose en ensayos empíricos de prueba y error, por lo que emplear métodos estadísticos (simulación, muestreo, entre otros) eficientes y confiables, permite obtener el diseño óptimo y que este se ajuste a las necesidades y requerimientos de cada municipio o ciudad.

2.5.1 Impacto Científico

El beneficio educativo y cultural se puede medir de muchas formas, como el cambio de actitud de las personas al colaborar con las implementaciones necesarias (separación de los residuos desde la fuente). Estas acciones deben ir acompañadas con programas de capacitación es recuperación, separación, reducción y reutilización de residuos, esto con el fin de reforzar hábitos de manejo y disposición final. La proyección académica de dichos programas son la mayor fortaleza de todo el proyecto porque a partir de una buena implementación del plan de acción se empieza a reflexionar sobre diversas alternativas que se pueden brindar ya sea a los residuos orgánicos o a los residuos valorizables, considerando el impacto negativo en el ambiente cuando no se implementan soluciones optimas. Este análisis permite generar varios proyectos de investigación que dan pie a diversas aportaciones para el beneficio ambiental y técnico. (Castrillón Quintana & Puerta Echeverri, 2004)

2.5.2 Impacto Social

Los hábitos actuales de consumo son responsables en gran medida de la cantidad y calidad de los residuos sólidos, provocando así el aumento en los riesgos a la salud de la

población y al medioambiente, sin embargo, a su vez se aprecian a los residuos sólidos como un proceso industrial. Lo cual da lugar a la existencia de problemas como la falta de conciencia colectiva y/o conductas sanitarias por parte de la población para disponer sus residuos, al dejarlos abandonados en calles, áreas verdes, márgenes de los ríos, playas; esto influye de forma negativa en las condiciones del paisaje existente y altera el sistema ambiental y natural

2.5.3 Impacto Económico

La degradación del ecosistema acarrea tanto costos sociales, como económicos, dentro de los cuales se destaca la devaluación de propiedades, pérdida de biodiversidad endémica y costos relacionados con la salud de los trabajadores y sus familias. Entre los muchos impactos positivos que brinda un buen manejo de los residuos se ubica la generación de empleos, concientización de los productores al influir de manera directa en este proceso y detectar/crear mercados para reciclables y materiales de reúso. Todo lo anterior brinda para el municipio disminución de costos operativos y de transporte.

2.5.4 Impacto Ambiental

Enumerar las terribles consecuencias de un mal manejo de los residuos sólidos es extenso debido a que son demasiados los impactos negativos que tienen en el ambiente, ya que van desde la proliferación de olores desagradables, sin olvidar que muchos son tóxicos y llegan a generar diversos efectos sobre la salud humana, incluyendo las plagas de insectos y roedores; y alcanzando sobre todo la contaminación de los mantos de agua que lleva a la pérdida de este recurso para el consumo humano o recreación, causando a su vez la muerte de flora y fauna deteriorando el paisaje. Todas estas consecuencias a su vez y por lo general se deben a los incumplimientos en el manejo de los residuos sólidos, afectando el medio ambiente y la calidad de vida de la población, por lo cual es necesario una coordinación entre las piezas involucradas en este proceso.

2.6 Dinámica de sistemas

La Dinámica de Sistemas se entiende, en el sentido de Forrester (1968), como una

metodología para entender el cambio, utilizando las ecuaciones en diferencias finitas o ecuaciones diferenciales. Dada la representación de estos procesos podemos estudiar la dinámica del conjunto de los estados disponibles por el sistema que es el tema central de la modelación. (García, 2017)

Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo. Esto la hace muy útil para el estudio de fenómenos sociales ya que en ellos están implicados una gran cantidad de elementos e interrelaciones en los que la presencia de no linealidades determina el comportamiento y dificultan una solución analítica. Además, los efectos de las políticas y acciones ejercidas sobre estos sistemas se manifiestan en horizontes temporales diferentes y dilatados. (Morlán Santa Catalina, 2010)

Este hecho dificulta la construcción de laboratorios de experimentación donde se puedan probar diferentes políticas y observar sus consecuencias sobre el sistema. Por tanto, los modelos de simulación dinámica permiten estudiar cómo las políticas, decisiones, estructura y retrasos influyen en el crecimiento y la estabilidad de un sistema. Actualmente su ámbito de aplicación abarca la planificación y diseño de políticas corporativas, la gestión y las políticas públicas, los modelos biológicos y médicos, el área de la energía y el medio ambiente, el desarrollo de la teoría en ciencias naturales y sociales, la toma decisiones y la dinámica no lineal compleja. (Morlán Santa Catalina, 2010)

La Dinámica de Sistemas tiene su origen en la década de los años 30 cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos, que son instrumentos en los que existe una realimentación desde la salida a la entrada. En la década de los años 50, aprovechando los iniciales avances de la Informática. Jay Forrester desarrolla en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) la Dinámica Industrial. Con este instrumento, que aúna el enfoque sistémico y la simulación por ordenador, consigue avanzar en la resolución de problemas que se producen en

el seno de la empresa industrial. (García, 2017)

Sus trabajos cristalizaron en sus tres obras más trascendentes: “Industrial Dynamics” que analiza diversos sistemas comerciales y de gestión como el control de inventarios, la logística y la toma de decisiones; “Urban Dynamics” que estudia los problemas de la sociedad urbana, como el hacinamiento y el deterioro de las ciudades; y “World Dynamics” que se dirige a problemas como el crecimiento demográfico y la contaminación a escala global. En 1970, en el Informe al Club de Roma se presenta el Modelo del Mundo, coordinado por el matrimonio Meadows utilizando Dinámica de Sistemas. Estos trabajos y su discusión popularizaron la Dinámica de Sistemas a nivel internacional. El primer libro de Forrester, “Industrial Dynamics”, sigue siendo una declaración elemental de la filosofía y metodología de la disciplina. (Morlán Santa Catalina, 2010)

La innovación de Forrester consistió en transferir el conocimiento de la teoría de control y realimentación de la Ingeniería Automática a otras áreas como la organización y las ciencias sociales, proponiendo una sencilla metáfora hidrodinámica para la representación de un sistema, abstrayendo las ecuaciones diferenciales que definen un sistema no lineal. Es decir, la Dinámica de Sistemas representa matemáticamente nuestros modelos mentales siendo una fase posterior al desarrollo de dichos modelos mentales. Las principales aplicaciones de software para la Dinámica de Sistemas existentes en la actualidad, simulan el correspondiente modelo matemático por medio de métodos numéricos computacionales facilitando el análisis de su comportamiento e incertidumbre a través de una interfaz gráfica amigable. (Morlán Santa Catalina, 2010)

2.6.1 Enfoque Sistémico

El término “sistema” es tremendamente polisémico ya que se utiliza en todo tipo de contextos, sin embargo, una de las definiciones más clara sea la dada por Rosnay: “Un sistema es un conjunto de elementos en interacción dinámica organizados en función de un fin. Un sistema se debe de considerar abierto, ya que normalmente están en relación con el exterior”.

El enfoque sistémico se apoya de cuatro conceptos fundamentales:

- La Interacción entre los elementos del sistema. La interacción recíproca modifica la naturaleza o el funcionamiento de estos elementos.
- La totalidad. Un sistema está compuesto por todos sus elementos; sin embargo, esto no quiere decir que sea la adición de todos los elementos.
- La organización, es considerada como el concepto central del enfoque sistémico.
- La complejidad resume los tres conceptos anteriores, apoyándose sobre dos nociones fundamentales: la variedad de elementos y la interacción de elementos. La complejidad se puede ilustrar a través de los siguientes puntos:
 - Un sistema es complejo cuando está constituido por una gran variedad de elementos que tienen funciones especiales.
 - Los elementos están organizados en niveles jerárquicos internos.
 - Los diferentes niveles y elementos individuales se hallan ligados por una gran variedad de relaciones.
 - Las interacciones entre los elementos son de tipo no lineal.

El tema de la complejidad, cada vez más creciente, de los productos tecnológicos, y como consecuencia lo difícil y laborioso que puede llegar a ser el estudio de su comportamiento, nos lleva a apelar a un enfoque más globalizador: el enfoque sistémico. (Ferrerías & Gay, 2002)

2.6.1.1 Sistemas abiertos y sistemas cerrados

Desde el punto de vista de su vinculación con el entorno podemos clasificar a los sistemas en abiertos y cerrados.

Los sistemas abiertos son aquellos que están en relación con su entorno (con su medio), con el que mantienen un permanente intercambio, este intercambio puede ser tanto de energía, materia, información, como de residuos, contaminación, desorden, etc. En sistema abierto podemos hablar de una entrada y de una salida. (Ferrerías & Gay, 2002)

Un sistema cerrado es aquel que está totalmente aislado del mundo exterior, con el que,

en consecuencia, no tiene ningún tipo de intercambio. Un sistema cerrado es un sistema que no tiene medio. Ahora bien, un circuito cerrado es una abstracción que no tiene vigencia en la vida real, pero que debido a la simplificación que significa manejarse con datos que están limitados dentro del sistema ha permitido establecer leyes generales de la ciencia. (Ferrerías & Gay, 2002)

CAPITULO IV. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con los objetivos que pretende alcanzar la presente investigación y con el fin de realizar la evaluación de las macro rutas y micro rutas del sistema de limpia pública del municipio de Huatusco se utilizaron los siguientes tipos de investigación:

Se aplicó investigación de tipo bibliográfica y documental para fundamentar el estudio de forma teórica, cuya finalidad es explorar las perspectivas y teorías de análisis de la información obtenida, además permite conocer los antecedentes y el estado del problema en cuestión.

Asimismo, se empleó la investigación de campo para complementar la consulta de fuentes documentales, por consiguiente, se observó el modo en que operan las rutas de recolección con la finalidad de recabar datos relevantes que contribuyan al estudio del sistema.

Además, por el nivel de conocimiento se llevó a cabo un estudio descriptivo a fin de caracterizar el estado en el que operan las rutas de recolección de residuos de tal manera que se pueda ordenar y sistematizar la información para una mejor comprensión, de tal manera que se logre identificar las deficiencias en el sistema y con base al estudio realizado se propongan estrategias que contribuyan a la mejora del sistema.

3.2 Métodos y técnicas

El siguiente apartado se describen los métodos y técnicas de investigación aplicados para obtener los datos necesarios en su aproximación al objeto de estudio. Dicha importancia radica en que son la garantía de la cientificidad.

3.2.1 Métodos

En esta sección se describen los métodos de investigación a través de los cuales se

plantearon las problemáticas, tomando en cuenta el método cualitativo y método observacional.

3.2.1.1 Método cualitativo

El enfoque cualitativo permite el reconocimiento del fenómeno de estudio en el entorno, utilizando como principal herramienta la recolección de datos por lo cual el proceso de investigación se centra en efectuar un análisis pertinente de los datos recopilados.

A partir de los datos recabados se hace posible la toma de decisiones para proponer medidas y estrategias enfocadas a la mejora del sistema.

3.2.1.2 Método observacional

El método observacional desempeña un papel complementario para el método cualitativo ya que parte del constante monitoreo del sistema para compilar datos de relevancia apoyado de herramientas tecnológicas como el sistema de posicionamiento global (GPS) que permite una aplicación más práctica.

3.2.2 Técnicas

El apartado de técnicas describe los diferentes instrumentos empleados para la obtención de datos en las etapas del proceso investigativo.

3.2.2.1 Observación

La observación científica permite percibir una realidad específica y detallada del lugar en donde se lleva a cabo la investigación, en este caso el municipio de Huatusco siendo observado el mecanismo que utiliza el sistema de limpia pública para la recolección de los residuos sólidos domiciliarios de tal manera que se logren identificar áreas de mejora.

Al realizar el reconocimiento del área establecida se logró identificar las rutas de recolección que operan actualmente en el municipio. El proceso de obtención de datos mediante el ruteo con dispositivos GPS se llevó a cabo durante dos semanas esto por la necesidad de abarcar las tres rutas planteadas por los encargados del sistema. Se tomó como referencia de inicio el día 21 de noviembre del 2022 para finalizar el 27 del mismo mes, debido a variaciones en el sistema se retomó el ruteo el día 05 de diciembre del 2022 para finalizar el

proceso el día 11 del mismo mes.

3.2.2.2 Entrevista

Para llevar a cabo el proceso de investigación se realizó una entrevista al encargado de la Coordinación de Servicios de Limpia Pública. Se considera una técnica de investigación cualitativa, en el presente proyecto se aplicó a fin de profundizar la información sobre el estado del sistema, tomando como referencia el funcionamiento, las características y deficiencias consideradas por el encargado. Resulta ser una técnica útil para aclarar dudas que surjan en el proceso de conversación, se caracteriza por ser una técnica implementada en estudios descriptivos y fases de exploración.

Se agendó una cita con el coordinador de limpia pública, donde detallo la operatividad de las rutas de recolección en la zona urbana y la zona rural, describió los equipos móviles encargados para los ruteos, los equipos que se encargan de hacer el proceso de disposición final y las cantidad de residuos mandados al relleno incluyendo los costos que esto representa, asimismo enfatizó en la necesidad de cobertura en zonas específicas e identificó aspectos que podrían representar ineficiencias en el sistema.

3.3 Metodología

La sección de Metodología describe los pasos a seguir para llevar a cabo el proceso de investigación, se divide en tres partes: trabajo de gabinete, trabajo de campo y método de estudio, los cuales se detallan a continuación.

3.3.1 Trabajo de Gabinete

- I. Elaborar los oficios pertinentes para solicitar el permiso del H. Ayuntamiento de Huatusco, para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo en coordinación con la dirección de Servicios Públicos Municipales para finalmente ser canalizados a la Coordinación de Servicios de Limpia Pública que son los encargados directos del tema en relación.
- II. Realizar una reunión con el encargado de la coordinación de Servicios de Limpia Pública

para elaborar la planificación de las actividades a desarrollar asimismo definir las fechas en las que se realizará el ruteo con los dispositivos GPS debidamente instalados.

- III. Programar asesorías de forma periódica para revisar los avances del proyecto y realizar recomendaciones que mejoren la estructura del trabajo de investigación.

3.3.2 Trabajo de campo

- I. Verificar el tipo y cantidad de unidades móviles encargadas de realizar la recolección de residuos y cotejar el mapa de rutas (en caso de tenerlo) o los registros relacionados al funcionamiento y costos de mantenimiento del sistema.
- II. Determinar la capacidad de carga de los vehículos.
- III. Configurar los GPS de manera correcta para un óptimo desempeño durante los recorridos e instalarlos debidamente en las unidades.
- IV. Identificar las rutas de recolección por medio de la plataforma de monitoreo digital correspondiente al dispositivo rastreador.
- V. Registrar la información recabada en una base de datos de Excel.

3.3.3 Método de estudio

- I. Ubicar geográficamente en un mapa los puntos recorridos registrados en el GPS haciendo uso de la plataforma Google Earth.
- II. Analizar el cumplimiento de las micro rutas con base a las macro rutas establecidas por el sistema.
- III. Elaborar un reporte de los indicadores de operación, obtenidos en los ruteos.
- IV. Analizar los datos a fin de detectar ineficiencias en el sistema de ruteo y proponer áreas de mejora.
- V. Elaborar propuestas de mejora considerando la optimización del sistema.

3.4 Materiales

En la siguiente tabla se describen los materiales a ocupar en el desarrollo de las actividades descritas en la presente investigación:

Tabla 6

Materiales para el desarrollo del proyecto.

Etapa	Material	Imagen	Función
Observación	Equipos electrónicos: computadora y teléfono móvil		Utilizados para describir el proceso de recolección en el municipio y tomar fotografías como evidencia de ello.
Registro de datos	Base de datos: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y Microsoft Excel		Se emplearon dispositivos rastreadores GPS TKSTAR TK905 para registrar de manera precisa y real las rutas que operan actualmente. Además de la representación gráfica de las rutas los dispositivos miden diversos parámetros para lo cual es necesario llevar el control mediante una base de datos en Excel.
Análisis de datos	Fuentes documentales, Microsoft Word y Excel, Google Earth, Mapa Digital de México (INEGI).		Las fuentes documentales sirven de guía para fundamentar el estudio del sistema, por otra parte, las representaciones gráficas de las rutas se trasladaron a una plataforma con mayor visibilidad y accesibilidad para lo cual se hizo uso de Google Earth y el mapa digital de INEGI donde se consultan datos estadísticos relevantes.

3.4.1 Descripción de los materiales

En este apartado se describen los dos principales materiales que se utilizaron para llevar a cabo la investigación, enfatizando en la funcionalidad además de las ventajas y desventajas.

3.4.1.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

A fin de proporcionar mayor practicidad y exactitud al momento de recabar información se consideró necesario implementar dispositivos tecnológicos que sustentarán la veracidad de los datos. Con base a esto se realizó una evaluación técnica y económica de los equipos disponibles en el mercado priorizando cualidades como la portabilidad, el desempeño y la confiabilidad de la recepción de datos.

Se cuenta con dos dispositivos localizadores GPS de la marca TKSTAR modelo TK905, que trabaja en base a la red GSM/GPRS existente y a los satélites GPS, con facilidad de monitoreo mediante SMS, la aplicación WINNES GPS o mediante la plataforma web del dispositivo.

Tabla 7

Ventajas y desventajas de los dispositivos GPS.

Ventajas	Desventajas
Ayuda a planificar rutas. Es de fácil manejo ya que se puede llevar un control mediante computadora o teléfono móvil. Información detallada de los trayectos realizados, desde distancias recorridas hasta consumo de diésel.	Es necesario siempre tener el dispositivo actualizado para evitar fallas. Es indispensable que cuente con carga de lo contrario no registra trayectos.

3.4.1.2 Google Earth

Con el propósito de tener una mejor visibilidad de las rutas en su forma gráfica, se decidió utilizar el programa informativo Google Earth que tiene la capacidad de mostrar imágenes de satélites y mapas que se adaptan de manera idónea al proyecto para su representación a escala.

Tabla 8

Ventajas y desventajas del programa Google Earth.

Ventajas	Desventajas
Eficaz motor gráfico en 3D. Posee opciones útiles para marcar territorios y medirlos. Opciones para manejar varias capas de contenido.	Está un poco desactualizado. Variación de imágenes en algunas zonas. Requiere de una conexión a internet veloz.

CAPITULO V. RESULTADOS

4.1 Diagnóstico de la situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos en el municipio de Huatusco.

En el presente capítulo se efectuará el análisis del estado actual en el que opera el sistema de recolección de residuos sólidos, describiendo principalmente como operan las rutas.

4.2 Cobertura de monitoreo de rutas

Ahora bien, de acuerdo a lo observado, se puede determinar que el proceso de recolección de residuos se realiza de manera continua en el transcurso de la semana en las colonias de la cabecera municipal en un horario promedio de 6:00 a.m. a 15:00 p.m., sin embargo se observó un recorrido vespertino por las avenidas 1 y 2 que son las principales de la ciudad sobre todo para cubrir el servicio el área comercial y primordialmente el Mercado Juárez que es una de las zonas con mayor producción de residuos debido a los negocios internos y los vendedores ambulantes que se encuentran fuera de este.

Asimismo, se realizan recorridos para cubrir el servicio de las comunidades rurales, esta ruta se realiza los días miércoles, viernes y sábado. También se toman en cuenta puntos focales o bien conocidos como puntos rojos que son las áreas que están saturadas de residuos a cualquier hora del día.

4.3 Macro rutas que operan actualmente en Huatusco

Debido a ser una ciudad con un gran número de colonias y por ende de habitantes, la recolección se sectorizó en grandes zonas, estas zonas fueron delimitadas por el encargado del sistema de Limpia Pública y se logró corroborar su cumplimiento esto con base a los datos obtenidos por medio de los dispositivos GPS.

Dada esta sectorización se obtuvieron las macro rutas, con la finalidad de realizar un análisis minucioso de cada ruta y su desempeño el presente estudio se planteó en función de los días de la semana.

4.3.1 Macro rutas lunes

Tabla 9

Macro rutas día lunes.

Día	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
Lunes	Avenida 2 Avenida 4 Avenida 6 Avenida 8 Emiliano Zapata Los Encinos Los Manantiales Praderas de Axol Laguna Autozone Villas la vista Setse 1 Setse 2 Maná Restaurante	Avenida 1 Avenida 3 Avenida 5 Avenida 7 Agustín Chicuellar Ejidal Acatepec Miguel Alemán Reserva Territorial	Puntos rojos Reserva Territorial

La tabla anterior muestra la sectorización realizada para definir las macro rutas, podemos observar que se definieron tres rutas para el día Lunes, estas rutas se realizan de manera simultánea. La ruta 1, cubre el servicio en la zona centro norte del municipio y por su parte, la ruta 2 le corresponde el área centro sur de la ciudad y las colonias que se muestran en la tabla respectivamente.

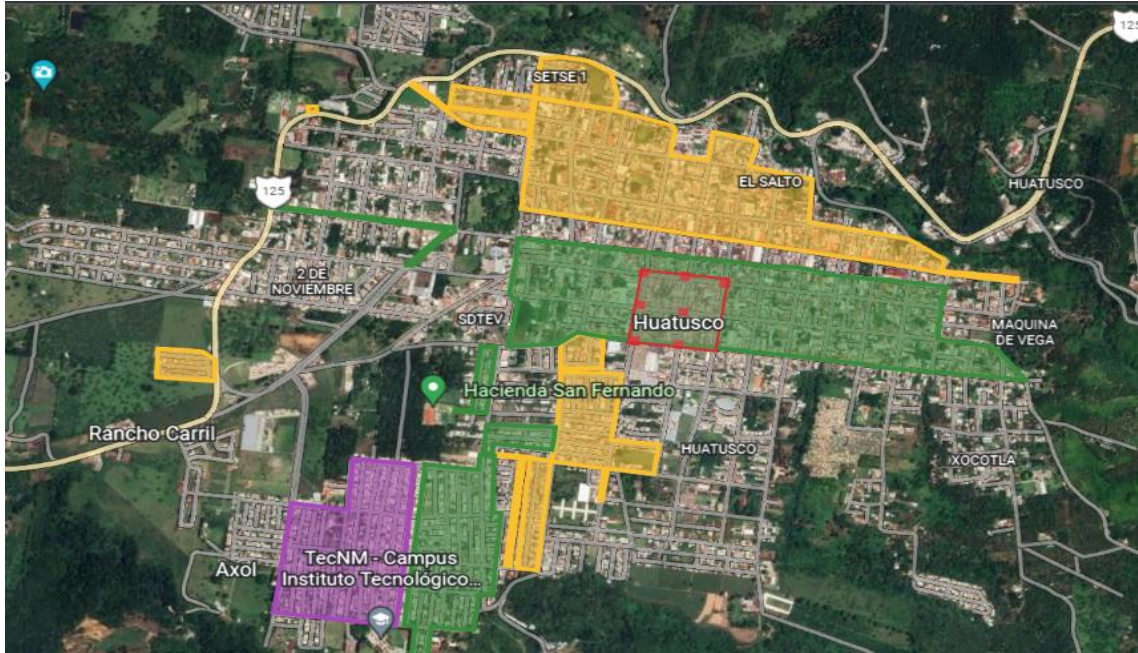
Otro punto importante que se observa es que hay dos rutas para la colonia Reserva Territorial esto se debe a que es una de las colonias con mayor población lo que demanda mayor cobertura es por ello que la ruta 2 se encarga de la parte este de la colonia y la ruta 3 se enfoca en la zona oeste además de atender los puntos rojos.

La figura 12 muestra de manera gráfica las macro rutas antes mencionadas, el color amarillo representa la ruta 1, mientras que la ruta 2 se identifica con el color verde, por su parte la ruta 3 es la señalada con color morado y finalmente el área roja es la zona de influencia de

los puntos rojos.

Figura 12

Macro rutas día lunes.



4.3.1.1 Micro rutas lunes

La figura 13 muestra cómo operan las rutas del día lunes a detalle, señalando las calles y avenidas por las que realiza el recorrido el camión recolector, se puede observar que coincide con las macro rutas establecidas.

Figura 13

Micro rutas día lunes.



4.3.1.2 Informe de Kilometraje

Por otra parte, la tabla 10 muestra el informe de kilometraje de acuerdo a los datos que brindó el GPS:

Tabla 10

Informe de Kilometraje - Rutas lunes

Lunes Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	21/11/2022	27.43	10.62
Lunes Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				

No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	21/11/2022	26.38	10.22
Lunes Ruta #3				
From:2022-12-05 06:00 To : 2022-12-05 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	05/12/2022	42.69	16.54

En la tabla muestra los kilómetros recorridos en cada ruta, además se muestra un dato correspondiente a el consumo de combustible esto con base a la distancia recorrida y tomando en cuenta el coeficiente de consumo: por cada 100 kilómetros recorridos se consumen 38.74 litros de diésel. Este dato se tomó en base a al recorrido que se realiza a el relleno sanitario ubicado en la Ciudad de Nogales, en el cual se recorren alrededor de 142.28 kilómetros y se consume un total de 55 Litros de diésel, por lo que se obtiene un rendimiento de aproximadamente 2.581 kilómetros por litro. (Datos de consumo obtenidos del Informe Técnico del Estudio de Generación y Composición de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Huatusco, Veracruz).

4.3.2 Macro rutas martes

Tabla 11

Macro rutas día martes.

Día	Ruta 1	Ruta 2
Martes	Calle 4 Calle 6 Calle 8 Calle 10 Calle 12 Unidad Huatusco Autobuses Astro Plus Guillermo Lira Húngaros Morelos Calle 20	Calle 2 Calle 1 Calle 3 Calle 5 Calle 7 Calle 9 Calle 11 Calle 13 Ampliación Constitución 2 de noviembre

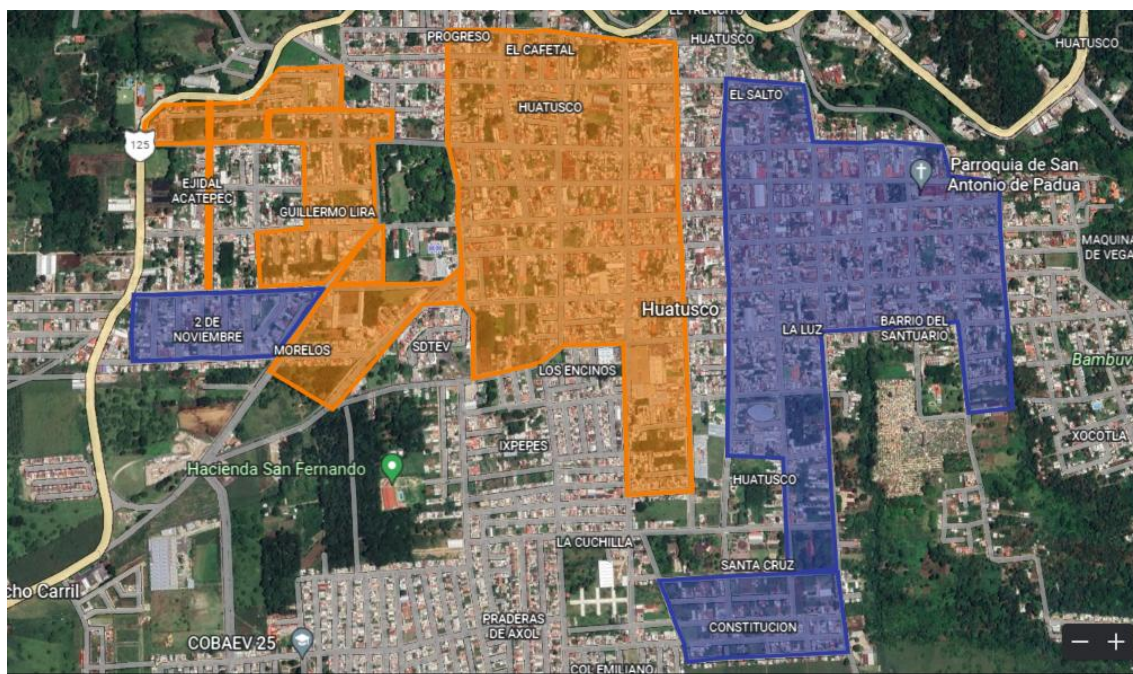
El día martes únicamente se contemplan dos rutas, ya que se cubre poca zona el encargado designa una cuadrilla que se queda en el depósito de transferencia a fin de realizar la separación de residuos valorizables (cristal, plástico, cartón, entre otros), barrido de áreas verdes y atender los puntos rojos de la ciudad.

El día martes se contempla para reciclado de residuos debido a que no existe la cultura de separación de residuos por parte de la población con el propósito de disminuir el volumen que se transporta a disposición final los operadores del sistema se dan a la tarea de separar los residuos que se pueden reciclar para buscar un mercado en el que se pueda comercializar. Sin embargo, la tarea de separar los residuos en el centro de transferencia es compleja debido a que los residuos están en contacto con lixiviados desprendidos de los mismos desechos y esto ocasiona que los residuos reciclables estén sucios.

La figura 14 representa las macro rutas en el mapa digital del municipio, las zonas de color anaranjado corresponden a la ruta uno, mientras que la zona azul delimita la ruta dos.

Figura 14

Macro rutas día martes.



4.3.2.1 Micro rutas martes

Por su parte las micro rutas señalan el camino que recorrieron los camiones recolectores para cubrir las dos zonas y se logra corroborar el cumplimiento del servicio en las zonas indicadas además que muestran cobertura total del área.

Figura 15

Micro rutas día martes.



4.3.2.2 Informe de Kilometraje

Tabla 12

Informe de Kilometraje - Rutas martes.

Martes Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	22/11/2022	23.68	9.174
Martes Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	22/11/2022	39.75	15.40

4.3.3 Macro rutas miércoles

Tabla 13

Macro rutas día miércoles.

Dia	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
-----	--------	--------	--------

Miércoles	Avenida 2 Avenida 4 Avenida 6 Avenida 8 El cuatro Villas la Vista Setse 1 Setse 2 Maná Restaurante	Avenida 1 Avenida 3 Avenida 5 Avenida 7 Xocotla Centenario Guardia Nacional	Puntos rojos Michapa
-----------	--	---	-------------------------

La representación de las rutas descritas en la tabla se muestra en la figura 16 la cual se muestra a continuación:

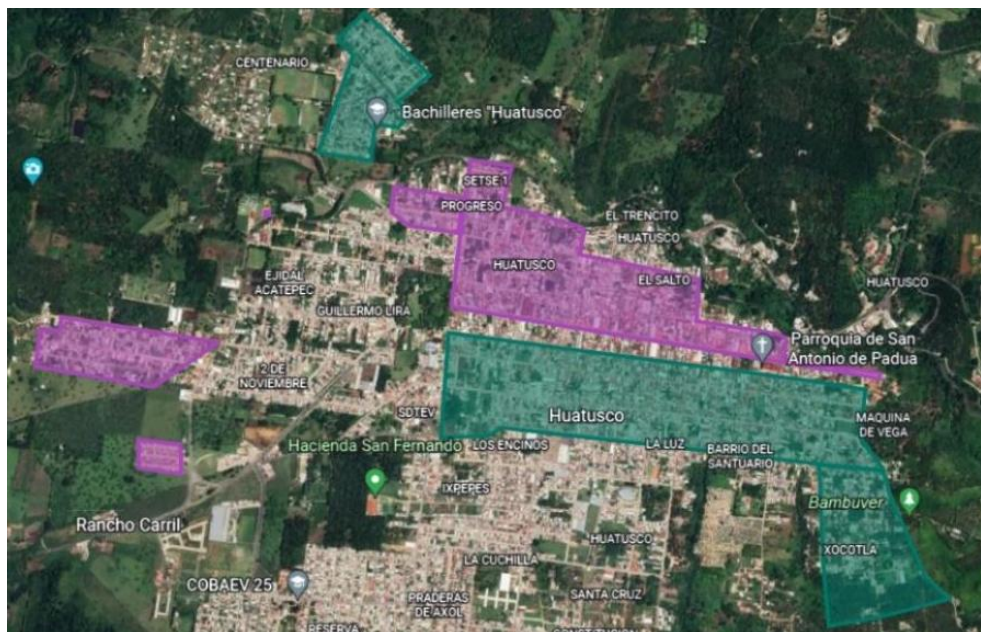
Figura 16

Macro rutas día miércoles.



Figura 17

Macro rutas 1 y 2.



Para el proceso de recolección del día miércoles se identificaron tres macro rutas de las cuales dos realizan recorridos en las avenidas del centro de la ciudad, incluyendo colonias aledañas como podemos ver en la figura 17, mientras que la ruta extra atiende las zonas rurales teniendo como límite Metlapoxteca y Cotecontla atendiendo a su paso las zonas rurales que dejan su basura en carretera como lo muestra la figura 18.

Figura 18

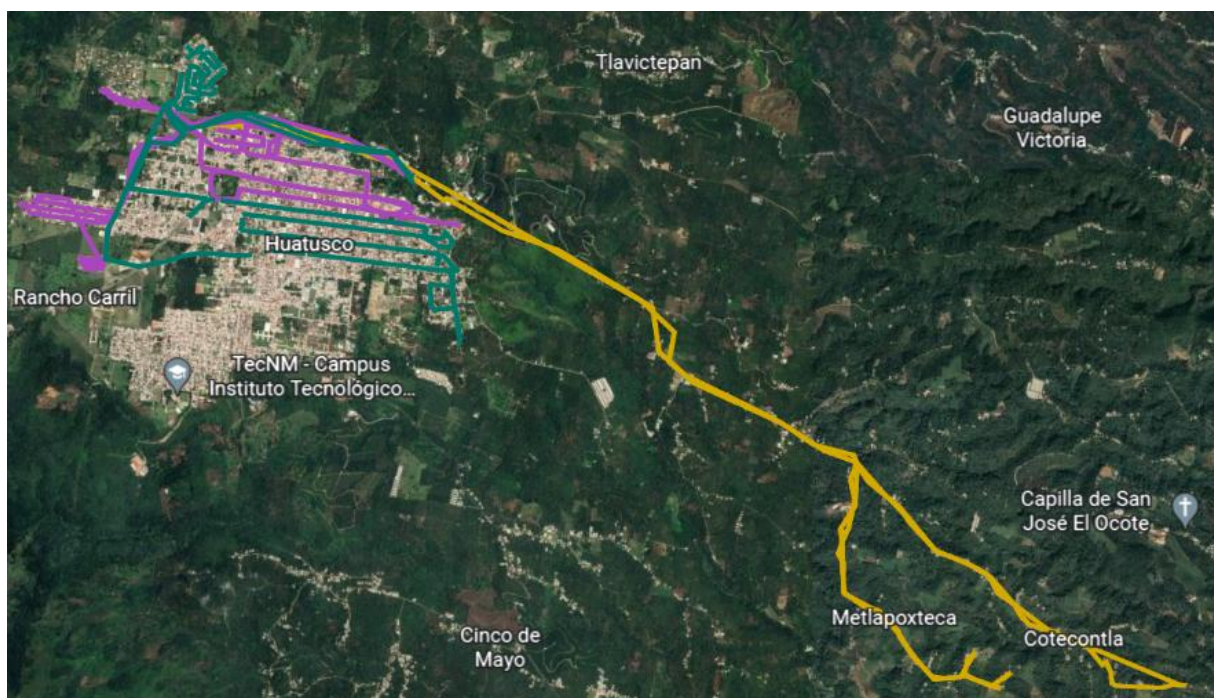
Macro ruta 3.



4.3.3.1 Micro rutas miércoles

Figura 19

Micro rutas día miércoles.

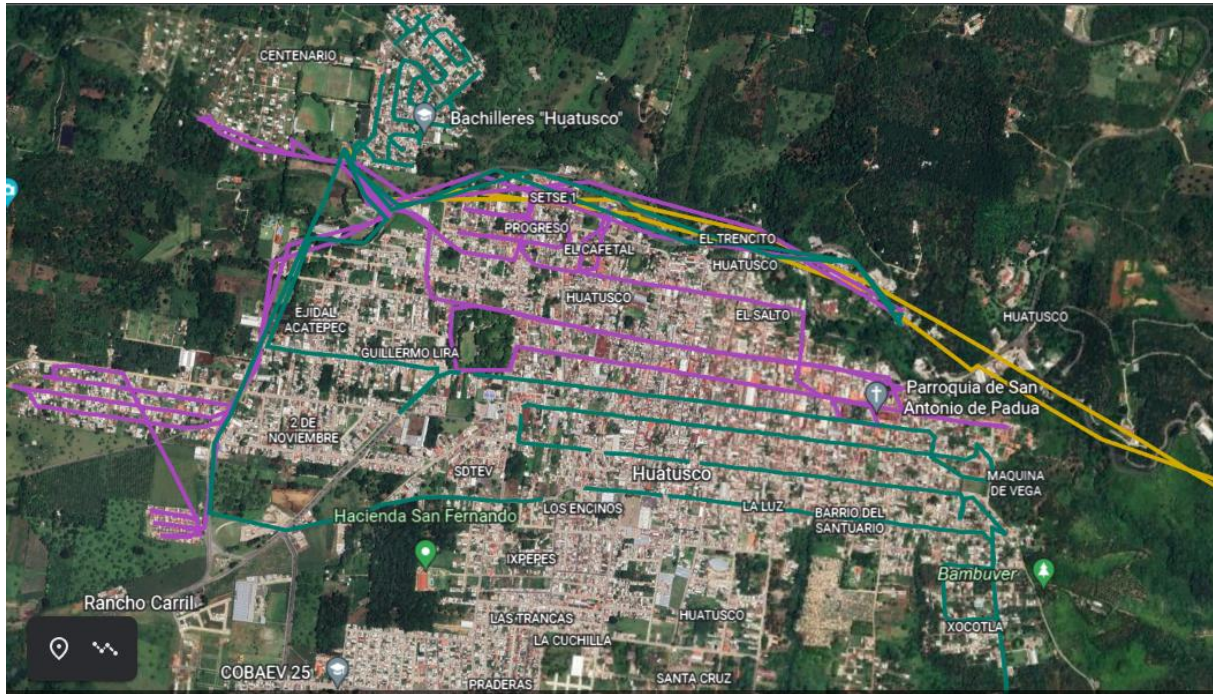


La figura 19 muestra la forma en que operan las rutas del día miércoles señalando las direcciones que toma el camión recolector, la ruta tres atiende las necesidades en las zonas

rurales como se logra apreciar. Para ilustrar de manera clara la operación en la zona urbana y las calles y avenidas transitadas podemos ver la figura 20:

Figura 20

Micro rutas 1 y 2.



4.3.3.2 Informe de Kilometraje

Tabla 14

Informe de Kilometraje - Rutas miércoles.

Miércoles Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	23/11/2022	23.83	9.23
Miércoles Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	23/11/2022	21.44	8.31
Miércoles Ruta #3				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	07/12/2022	43.02	16.67

4.3.4 Macro rutas jueves

Tabla 15

Macro rutas día jueves.

Día	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
Jueves	Calle 4 Calle 6 Calle 8 Calle 10 Calle 12 Los Manantiales Praderas de Axol Los Encinos Emiliano Zapata	Calle 2 Calle 1 Calle 3 Calle 5 Calle 7 Calle 9 Calle 11 Calle 13 Miguel Alemán Agustín Chicuellar Reserva Territorial	Puntos Rojos Reserva Territorial

El día jueves las rutas se basan en atender el centro de la ciudad tomando como referencia el ruteo desde la calle dos a la calle doce y de la calle uno hasta la calle trece además de atender las colonias señaladas en la tabla y los puntos rojos que se muestran en la figura 21.

Figura 21

Macro rutas día jueves.

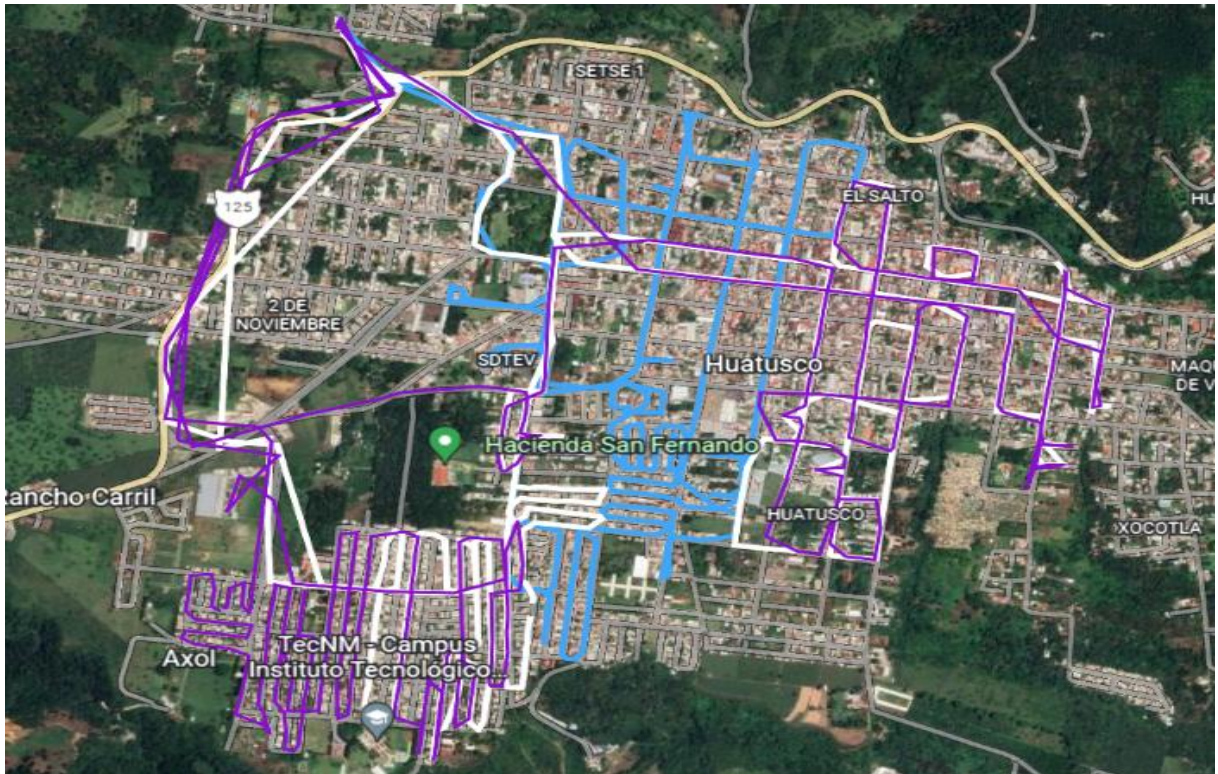


4.3.4.1 Micro rutas jueves

En la figura 22 se muestran dos micro rutas con similitud entre sí, esto debido a que el muestreo se realizó en días diferentes y la programación de las rutas cubría tanto la ruta dos como la ruta tres esto debido a el equipo vehicular utilizado y a que las zonas a recorrer son menos que otros días. Sin embargo, esta variación no afecta el trazado de las rutas ya que respeta las zonas delimitadas.

Figura 22

Micro rutas día jueves.



4.3.4.2 Informe de Kilometraje

Tabla 16

Informe de Kilometraje - Rutas jueves.

Jueves Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	24/11/2022	17.68	6.85
Jueves Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	24/11/2022	27.96	10.83
Jueves Ruta #3				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	08/12/2022	31.35	12.15

4.3.5 Macro rutas viernes

Tabla 17

Macro rutas día viernes.

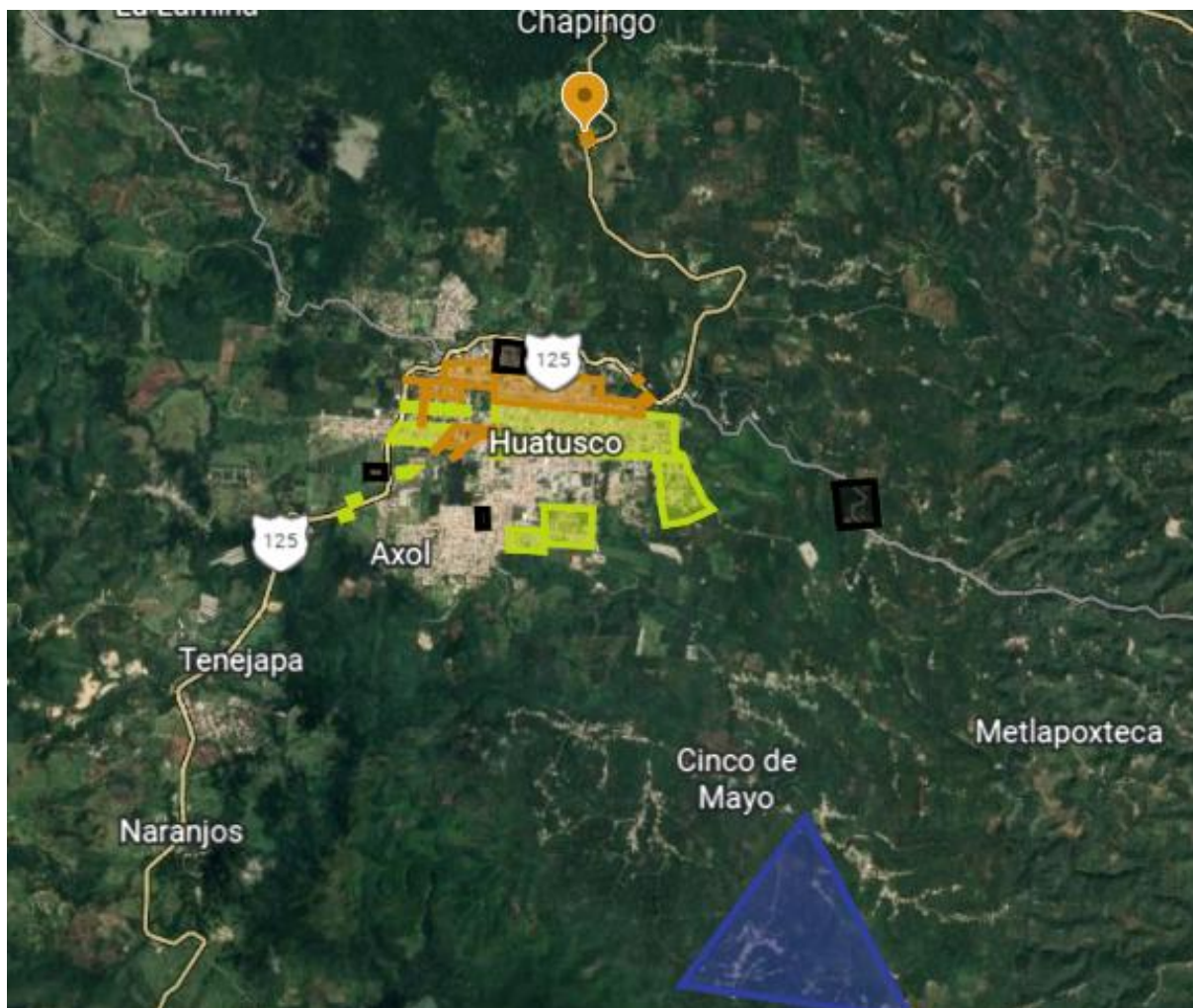
Día	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
Viernes	Avenida 2 Avenida 4 Avenida 6 Avenida 8 Morelos Húngaros Guillermo Lira Las garzas Calle 20 El molino Cruxtitla Beneficio álamos Gasolinera Álamos Pepe Coffe Las cañadas Chapingo	Avenida 1 Avenida 3 Avenida 5 Avenida 7 Ejidal Acatepec Villas la Vista Xocotla Ampliación Constitución 2 de noviembre Gas Huatusco Ferche Gas 2 Fraccionamiento San Antonio Olimpo	Puntos rojos Mesa del rancho Refugio

Tomando en cuenta la información de la tabla 17, podemos considerar la ejecución de tres rutas una para zona urbana, otra cubre gran parte de la zona urbana y a su vez una institución educativa que es la universidad autónoma de Chapingo que se encuentra a las afueras de la zona urbana aproximadamente a unos seis kilómetros del palacio municipal, además de la ruta que cubre las necesidades de la zona rural.

En la figura 23 se logra apreciar las tres rutas que se plantearon para desempeñar el servicio de limpia pública en el municipio, sin embargo, también se observan cuatro zonas (representadas en color negro) que no corresponden a los datos plasmados en la tabla, pero cubiertas por el servicio los días viernes.

Figura 23

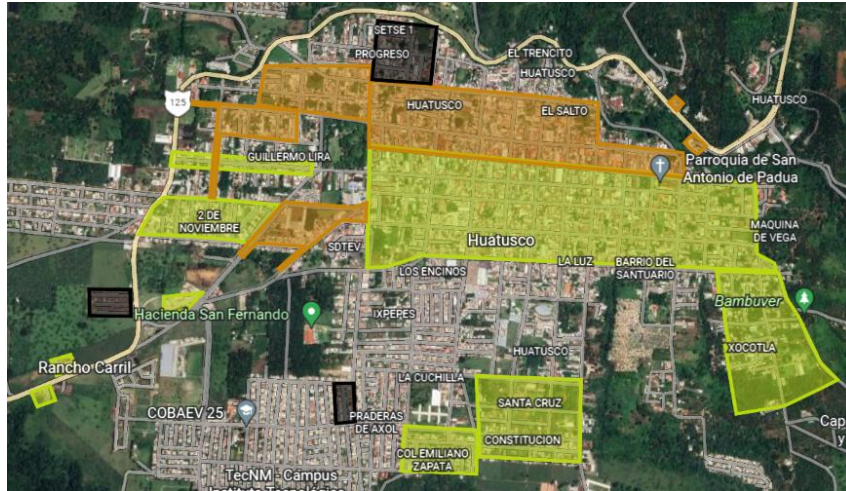
Macro rutas día viernes.



La figura 24 muestra las macro rutas en la zona urbana, como ya se mencionó anteriormente las zonas en color negro representan las rutas no registradas para el día viernes, más adelante se muestra como operó el sistema en esas zonas.

Figura 24

Macro rutas zona urbana del día viernes.



4.3.5.1 Micro rutas viernes

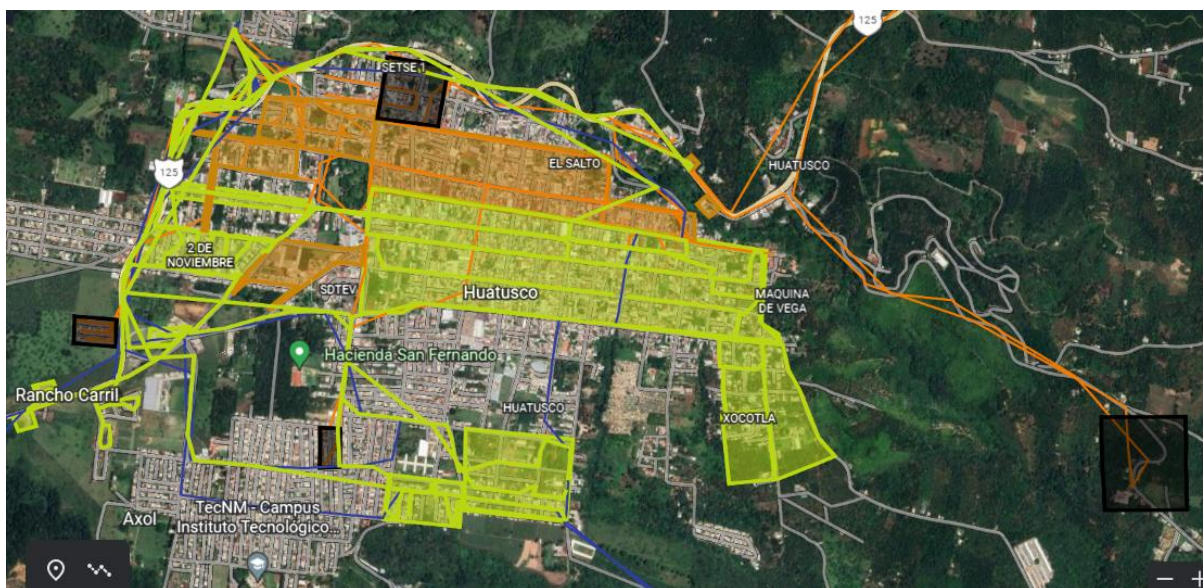
Figura 25

Micro rutas día viernes.



Figura 26

Micro rutas zona urbana del día viernes.



4.3.5.2 Informe de Kilometraje

Tabla 18

Informe de Kilometraje - Rutas viernes.

Viernes Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	25/11/2022	40.2	15.57
Viernes Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	25/11/2022	44.1	17.09
Viernes Ruta #3				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)

1	TK905-54462	09/12/2022	158.64	61.46
---	-------------	------------	--------	-------

4.3.6 Macro rutas sábado

Tabla 19

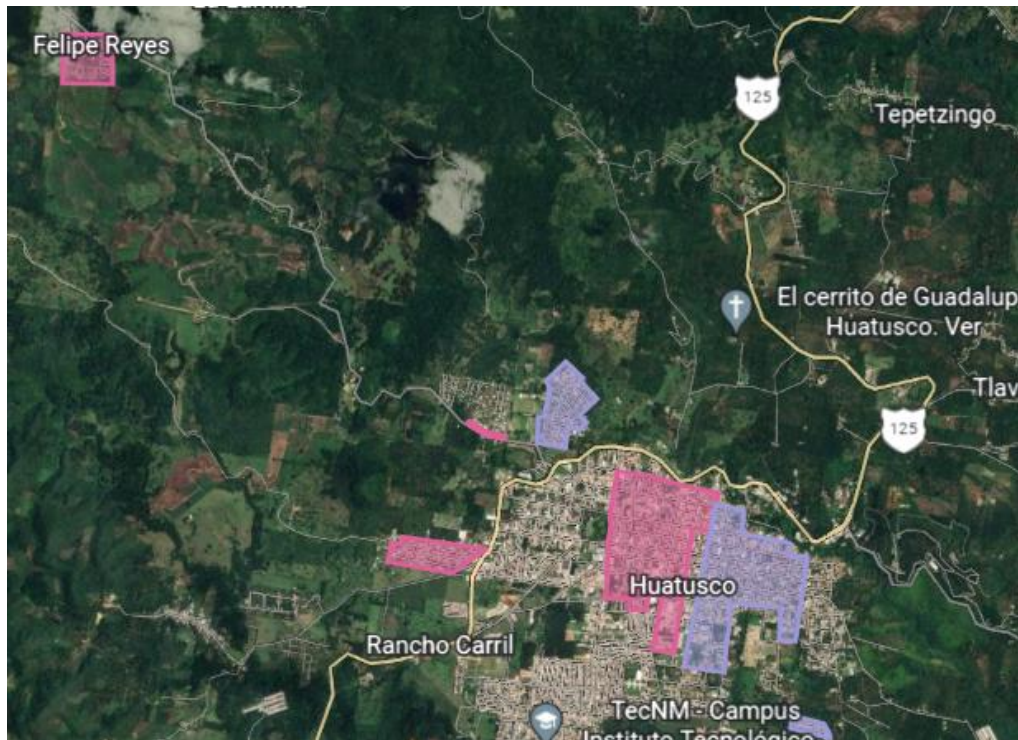
Macro rutas día sábado.

Día	Ruta 1	Ruta 2
Sábado	Calle 4 Calle 6 Calle 8 Calle 10 Calle 12 Los Encinos Enrique Trejo El cuatro Luis Córdoba Reyes	Calle 2 Calle 1 Calle 3 Calle 5 Calle 7 Calle 9 Calle 11 Calle 13 Antorcha Centenario

Para el fin de semana se cuentan con 2 rutas por día, el día sábado los camiones recorren desde la calle 12 hasta la calle 13, también se recolectan los residuos en colonias como El Cuatro, Antorcha y Centenario, la figura 27 muestra de forma ilustrada las zonas indicadas en la Tabla 19.

Figura 27

Macro rutas día sábado



4.3.6.1 Micro rutas sábado

A continuación, en las ilustraciones 28 y 29 se observa la ruta registrada por el GPS el día sábado, sin embargo, a pesar de que solo se tiene contemplado la zona urbana, se aprecia que también hace recorrido a comunidades.

Figura 28

Micro rutas día sábado.

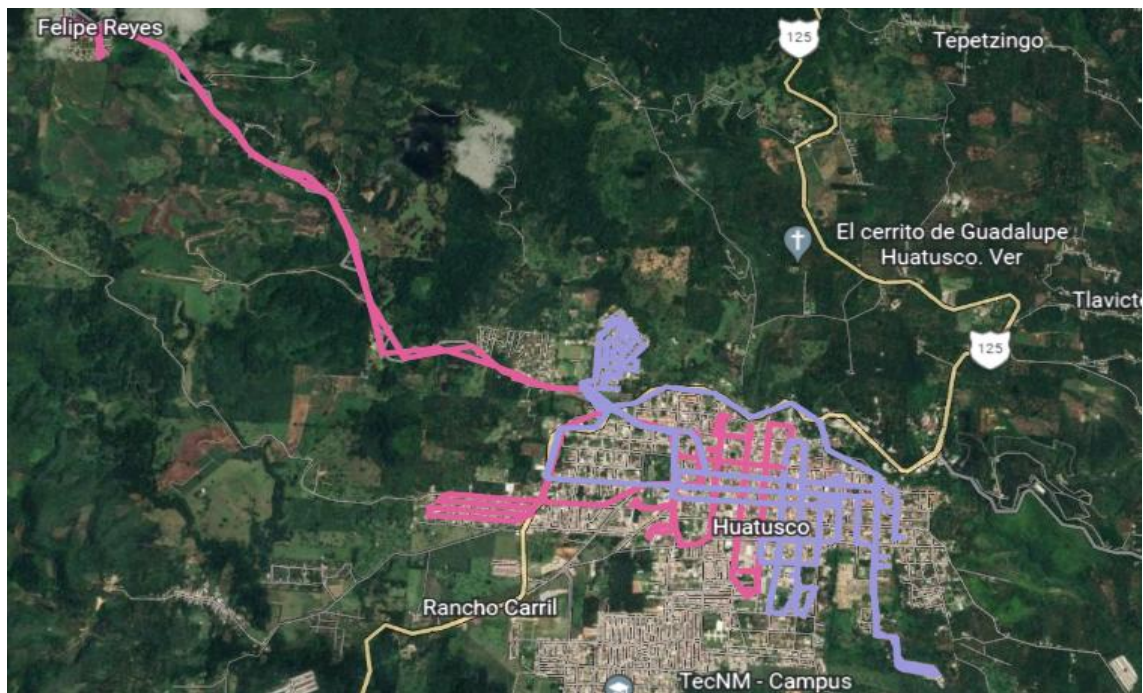
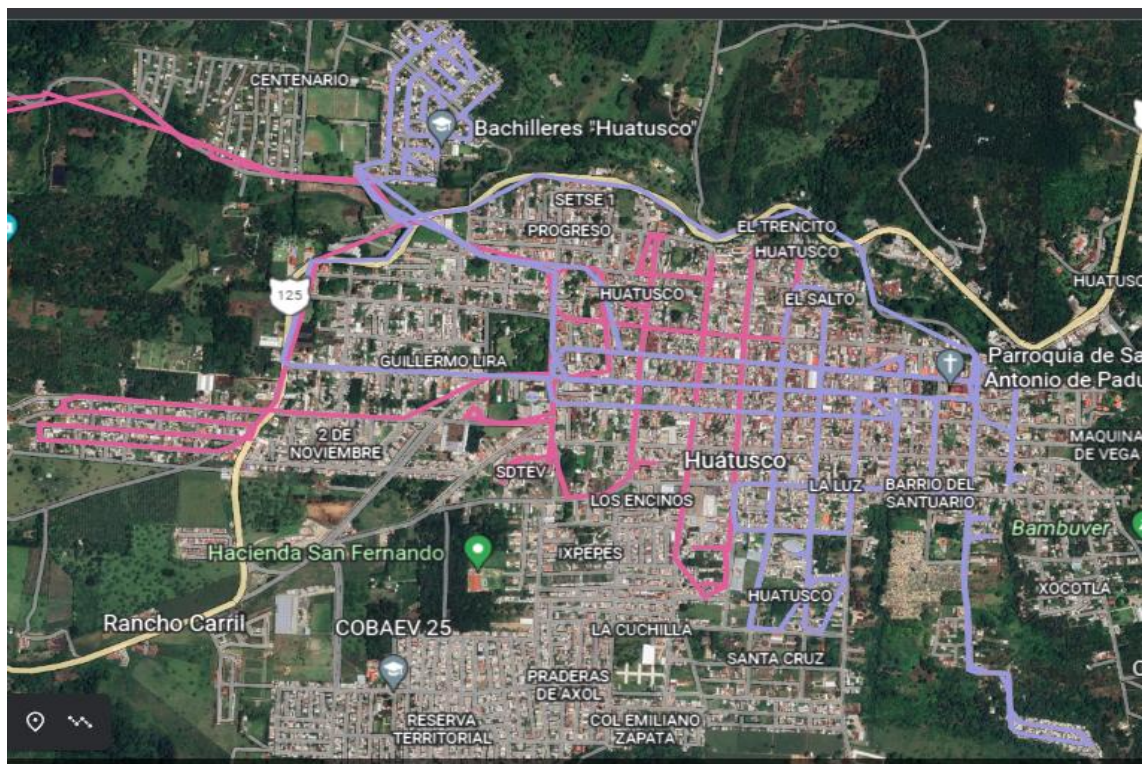


Figura 29

Micro rutas zona urbana del día sábado.



4.3.6.2 Informe de Kilometraje

Tabla 20

Informe de Kilometraje - Rutas sábado.

Sábado Ruta #1				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	26/11/2022	24.67	9.56
Sábado Ruta #2				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	26/11/2022	27.7	10.73
Sábado Ruta #3				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54462	10/12/2022	130.67	50.63

4.3.7 Macro rutas domingo

Tabla 21

Macro rutas día domingo.

Día	Ruta 1 Matutina	Ruta 2 Vespertina
Domingo	Avenida 1 Avenida 2	Avenida 1 Avenida 2 Calle 4 Avenida 7 esquina calle 4 Explanada Emiliano Zapata

La ruta planteada para el día domingo se divide en dos, la matutina y la vespertina, en la primera consiste en recorrer las avenidas 1 y 2; la segunda aparte de recorrer esas mismas avenidas también recorre la calle 4 y sigue a la avenida 7 para llegar a la Explanada Emiliano Zapata. En las figuras 30 y 31 se muestra de manera gráfica las dos rutas planteadas

anteriormente.

Figura 30

Ruta Matutina,

Domingo



Figura 31

Ruta Vespertina, Domingo



4.3.7.1 Micro rutas domingo

A continuación, se muestra en color amarillo la ruta matutina y en color verde la ruta vespertina que proporciono el GPS, durante el muestreo el día domingo.

Figura 32

Micro rutas Domingo



4.3.7.2 Informe de Kilometraje

Tabla 22

Informe de Kilometraje - Rutas domingo.

Domingo Ruta Matutina y Vespertina				
From:2022-11-21 06:00 To : 2022-11-21 22:00 Fuel Consumption Coefficient/100 Kilometers:38.74L				
No.	Target Name	Time	Mileage (km)	Fuel Consumption(L)
1	TK905-54486	27/11/2022	22.69	8.79

4.4 Área de puntos rojos

Los puntos rojos a los que se refieren en las rutas se basan en la zona comercial debido a que son zonas que muchas personas usan de botaderos, la tabla 23 muestra las ubicaciones de estos puntos.

Tabla 23

Ubicación de Puntos rojos

Puntos rojos	Ubicación
1	Esquina calle 6 con avenida 7
2	Esquina calle 4 con avenida 7
3	Esquina calle 6 con avenida 5
4	Esquina calle 4 con avenida 5
5	Esquina calle 6 con avenida 3
6	Esquina calle 4 con avenida 3
7	Esquina calle 2 con avenida 3

La figura 33 muestra la ubicación de los puntos en el mapa digital:

Figura 33

Área de puntos rojos.



El cuadro delimitado en color rojo indica la zona de influencia de los puntos rojos y claramente se puede observar los puntos ubicados en el mapa, dicha zona tiene tal impacto debido a que se considera área comercial, los negocios cercanos a estos puntos comúnmente ofrecen productos de tipo orgánico es decir frutas, verduras e inclusive flores se sabe que este tipo de productos son perecederos razón por la cual esta zona se considera una señal de alerta ya que si se desatiende estos sitios podrían convertirse en focos de infección lo cual generaría

un impacto negativo en el ambiente y la sociedad. La figura 34 muestra las condiciones en las que se encuentran comúnmente las zonas de los puntos rojos, las imágenes mostradas fueron capturadas durante el muestreo que se realizó.

Figura 34

*Zona de puntos
rojos*



4.5 Unidades de transporte para el proceso de recolección de residuos

El sistema cuenta con dos vehículos International Compactador, dos unidades de transporte Kenworth Rabón y Mercedes Rabón, una unidad Volkswagen Robust, además se rentan tres unidades Kenworth Torton, Kenworth Tolva y Kenworth Volteo, haciendo un total de ocho vehículos sin embargo para el proceso de recolección se hace uso de tres unidades debido a que se toman en cuenta tres rutas por día a excepción del día martes que únicamente se operan dos rutas debido a que ese día la cuadrilla que no va a ruteo tiene actividades de separación en el depósito de transferencia.

Para realizar el proceso de recolección se hace uso de vehículos compactadores, a fin de reducir volumen a medida que se aumenta la cantidad de residuos recolectados.

4.6 Cuadrillas de ruteo

La cuadrilla de trabajo normalmente está integrada de cuatro a cinco integrantes, el chofer y dos o tres recolectores que cargan los residuos al vehículo, estos últimos dependen de

la unidad vehicular que se emplea y la zona que se atiende.

4.7 Barrido de calles

Es el barrido de todos los desperdicios existentes en la banqueta y a lo largo de esta, donde se puedan acumular los residuos empujados por el tráfico rodado, intervalos entre coches aparcados y zonas accesibles normalmente con escobas bajo estos últimos. De igual manera se recolectan los residuos en plazas, paseos, etc. Incluidos parques, espacios verdes, etc.

La cuadrilla está compuesta de 6 personas, de las cuales 2 son personas de la tercera edad y una pertenece a un sindicato. De esta cuadrilla 2 ayudan en el sitio de transferencia y los 4 restantes realizan el recorrido de barrido que corresponde de la calle 13 a la calle 12 y de la avenida 8 a la avenida 7, en un horario de 6 am a las 2 pm. El barrido también incluye la Alameda (ubicada en Calle 14 Norte), la explanada y el Parque Ignacio Zaragoza (ubicada en Avenida 1 Oriente). El recorrido que se realiza se muestra en la figura 35.

Figura 35

Rutas de barrido.



4.8 Toneladas Recolectadas de Residuos Sólidos en el Municipio de Huatusco

En la tabla 24 se encuentran las toneladas totales que se llevaron al relleno sanitario del mes de enero al mes de octubre, así como también el costo generado por depositarlas ahí. Esta información fue brindada por el encargado de limpia pública del municipio de Huatusco, Veracruz; las variaciones que presenta se deben al control de pagos que tienen en el relleno sanitario. También se aprecia que a partir de los meses de abril y mayo las cantidades empiezan a ser más constantes, ya que a principio del año 2022 hubo un cambio en la estructura organizacional del departamento y se empezó a implementar una nueva forma de trabajo. Las toneladas y costos totales se obtuvieron de los documentos llamados “Control de entradas del Municipio de Huatusco” que entrega el relleno sanitario para hacer los pagos correspondientes; dichos documentos se encuentran resumidos en el apartado ANEXOS de esta investigación.

Tabla 24

Toneladas de residuos puestos a disposición en el relleno sanitario.

No.	Mes	Toneladas Totales
1	Enero	366.38
2	Febrero	844.26
3	Marzo	638.15
4	Abril	731.36
5	Mayo	636.67
6	Junio	719.73
7	Julio	671.93
8	Agosto	748.93
9	Septiembre	761.23
10	Octubre	718.16

	Total, por año	6836.8
--	----------------	--------

4.9 Propuesta de Mejora

Para la propuesta de mejora se planteó un diagrama causal, en el cual se hace mención de los indicadores logísticos con los que cuenta actualmente el sistema de recolección de residuos sólidos, como lo es los kilos recolectados por kilómetros, el porcentaje de recuperación, kilómetros recorridos, las toneladas que se recolectan y la capacidad de carga con la que cuentan los camiones en cada viaje. Dentro de otras variables a resaltar es la generación per cápita, la cual se basa en una distribución uniforme (con límite inferior de 413.05 y límite superior de 951.81) cuyo dato coincide con el que se obtuvo del *Informe Técnico del Estudio de Generación y Composición de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Huatusco, Veracruz*. Los elementos principales del diagrama son los RSU, esta variable está dada por una variable secundaria que es la Generación, la cual se basa en la población del municipio (59,960 INEGI), los días y la producción per cápita (0.469 kg/persona); a su vez las toneladas recolectadas se relacionan con los RSU pues el proceso de recolección se basa en la eficiencia del sistema (87.26%). Se detectó que actualmente en el municipio se realiza una recolección mixta, por lo cual el diagrama causal lleva por objetivo enfatizar la posible implementación de una recolección diferenciada, la cual consiste en separar los residuos orgánicos de los residuos valorizables, con esto se podría observar un comportamiento diferente en el costo de operación del sistema de recolección; de la misma manera el concepto de Eco-Driving puede encajar con la idea planteada ya que al cuidar el manejo de los vehículos se puede lograr disminuir el costo de mantenimiento de los camiones que se utilizan.

Figura 36

Modelo dinámico del sistema actual de gestión de RSU.

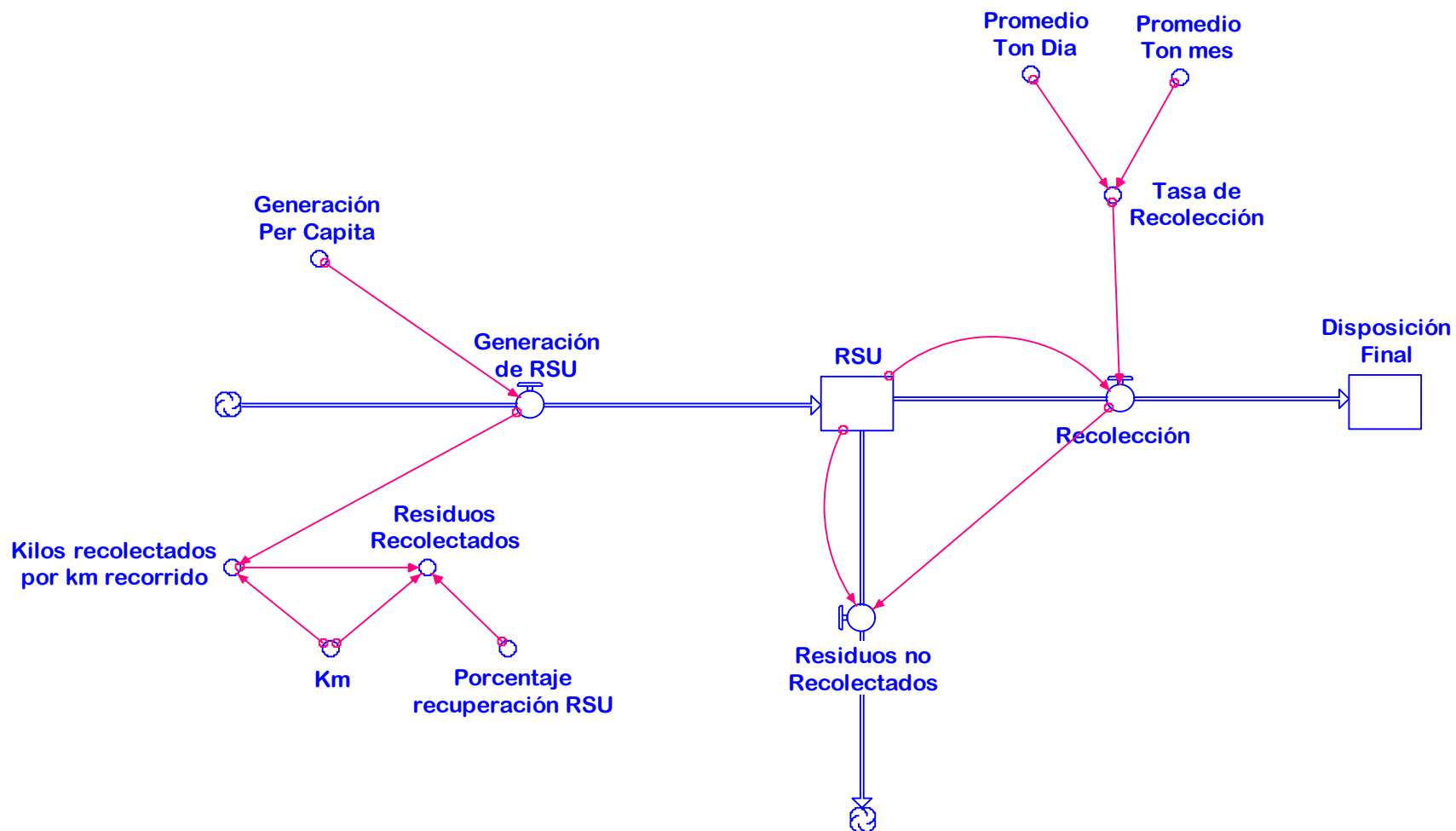


Figura 37

Modelo dinámico de la propuesta de mejora.

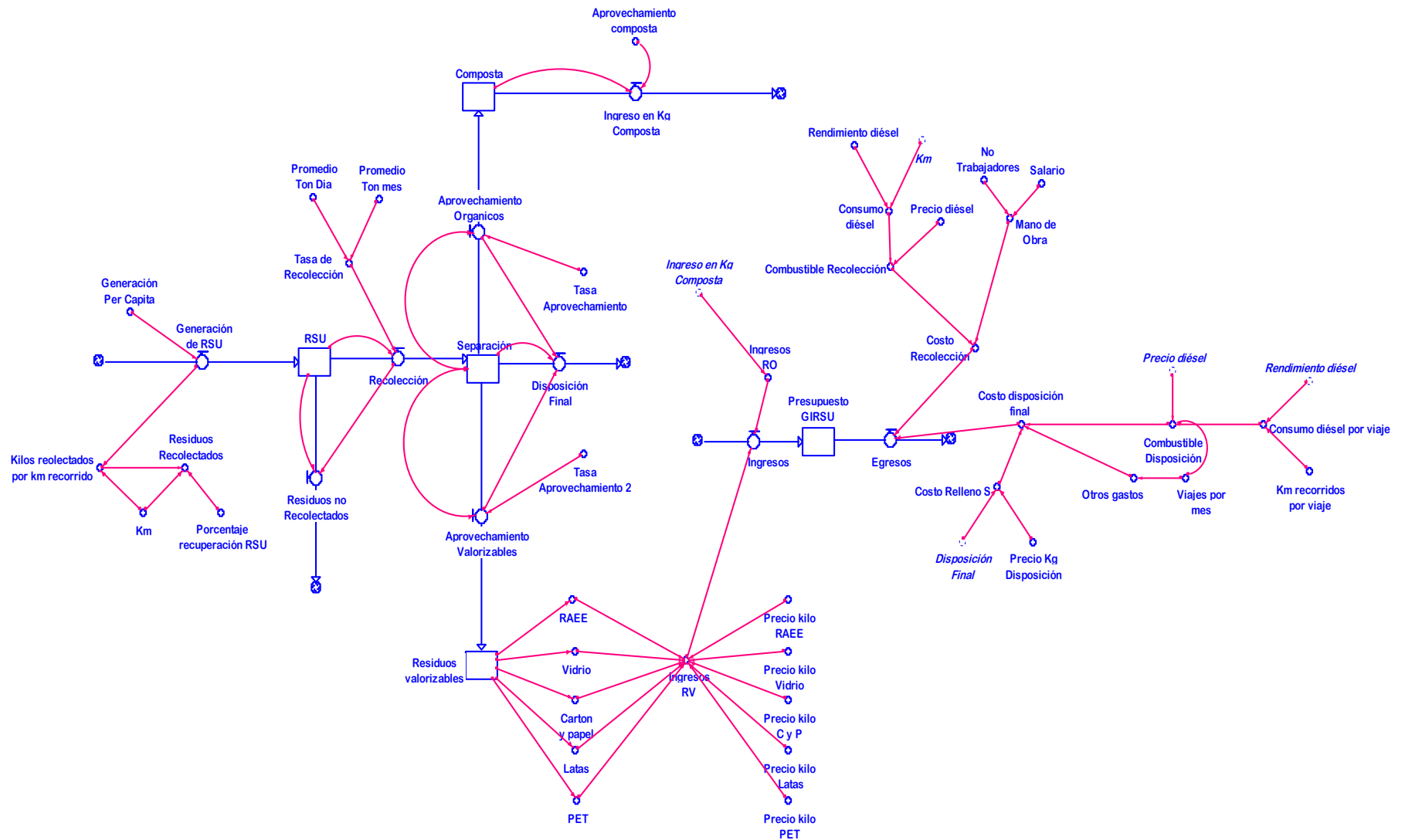


Tabla 25

Variables de nivel	Variables de flujo	Variables auxiliares	
RSU Separación Composta Residuos valorizables Presupuesto GRSU	Aprovechamiento Orgánicos (AO) Aprovechamiento Valorizables (ARV) Disposición final (DF) Egresos (E) Generación de RSU Ingresos RV (IRV) Ingresos en Kg Composta (IKC) Ingresos (I) Recolección (R) Residuos no recolectados (RNR)	Aprovechamiento composta (%AC)	Porcentaje Recuperación RSU
		Cartón y papel (CyP)	Precio diésel
		Combustible Disposición (CDI)	Precio kg (PKg)
		Combustible Recolección (CRE)	Precio Kg Disposición (PKgD)
		Consumo Diésel (CD)	Precio kilo C y P (PCyP)
		Consumo Diésel por viaje (CDV)	Precio kilo Latas (Platas)
		Costo disposición final (CDF)	Precio kilo PET (PPET)
		Costo Recolección (CR)	Precio kilo RAEE (PRAEE)
		Costo Relleno S. (CRS)	Precio kilo Vidrio (PVidrio)
		Generación Per Cápita (GPC)	Promedio Ton Dia
		Ingresos por residuo	Promedio Ton Mes
		Ingresos RO (IRO)	RAEE
		Kilos recolectados por km recorrido	Rendimiento diésel
		Kilómetros (Km)	Residuos Recolectados (RR)
		Km recorridos por viaje	Salario
		Latas	Tasa Aprovechamiento (TA)
		Mano de Obra (MO)	Tasa Aprovechamiento 2 (TA2)
		Mantenimiento	Tasa de Recolección (TR)
		No. Trabajadores (NT)	Viajes por mes
		Otros gastos (OG)	Vidrio
		PET	

Variables en el modelo

Ecuaciones de flujo:

Aprovechamiento de Residuos Orgánicos:

$$AO = Separación * TA$$

Aprovechamiento de Residuos Valorizables:

$$ARV = Separación * TA2$$

Disposición final:

$$DF = Separación - AO - ARV$$

Egresos o Costos de operación

$$E = CR + CDF$$

Generación de RSU

$$Generación RSU = Generación Per Cápita$$

Ingresos en kilo de composta

$$IKC = \%AC * Composta$$

Ingresos

$$I = IRO + IRV$$

Recolección:

$$R = \frac{RSU}{TR}$$

Residuos no recolectados:

$$RNR = RSU - R$$

Ecuaciones Auxiliares:

Aprovechamiento composta

$$\%AC = 0.617$$

Cartón y Papel: este tipo de residuo representa el 37.38% de los residuos valorizables según las gráficas del estudio de generación y composición del municipio, y para obtener los kilos este porcentaje se multiplica por el stock de residuos valorizables y así sucesivamente con cada

residuo que forma parte de esta clasificación.

$$CyP = 0.3738 * RV$$

Combustible Disposición

$$CDI = (CDV * Precio diésel) * Viajes por mes$$

Combustible Recolección

$$CRE = CD * Precio diésel$$

Consumo Diésel

$$CD = Km * Rendimiento diésel$$

Consumo Diésel por viaje

$$CDV = KRV * Rendimiento diésel$$

Costo disposición final

$$CDF = CRS + CDI + OG$$

Costo Recolección

$$CR = CRE + MO + Mantenimiento$$

Costo Relleno S.

$$CRS = DF * PKgD$$

Generación Per Cápita: al realizar las pruebas de bondad de ajuste del total de desechos que se llevaron a disposición final el programa STAT FIT arrojó que siguen una distribución uniforme, por lo que se hace uso de la función RANDOM para obtener datos aleatorios acordes al sistema real. **Los datos se encontraban en kilos por lo que se hace la conversión a toneladas.

$$GPC = Distribución Uniforme (Limite Inferior, Limite Superior) * 1000$$

$$GPC = (RANDOM(413.05, 951.81)) * 1000$$

Ingresos por Residuos Orgánicos: se divide entre 50, para comercializar en bultos de 50 kg, y cada bulto tendría un costo promedio de \$300.

$$IRO = \left(\frac{IKC}{50} \right) * 300$$

Ingresos por Residuos Valorizables

$$IRV = (RAEE * PRAEE) + (Vidrio * PVidrio) + (CyP * PCyP) + (Latas * PLatas) + (PET * PPET)$$

Kilos recolectados por km recorrido

$$Kg \text{ recolectados por Km recorrido} = \frac{Generación \text{ RSU}}{Km}$$

Kilómetros: Distancias registradas por GPS a la semana y multiplicada para tener el dato mensual

$$Km = 460.74 * 4$$

Km recorridos por viaje: distancia registrada ida y vuelta al centro de disposición más cercano a la ciudad de Huatusco en este caso Colorines, Nogales.

$$KRV = 142.28$$

Latas: este tipo de residuo representa el 6.25% de los residuos valorizables según los gráficos.

$$Latas = 0.0625 * RV$$

Mano de Obra

$$MO = NT * Salario$$

No. Trabajadores

$$NT = 15$$

Otros gastos

$$OG = 88 * Viajes \text{ por mes}$$

PET: este residuo representa el 19.48% de los residuos valorizables.

$$PET = 0.1948 * RV$$

Porcentaje Recuperación RSU

$$\%RRSU = 87.26\%$$

Precio diésel

$$Precio \text{ diésel} = 24.66$$

Precio kg

$$PKg = 15$$

Precio Kg Disposición

$$PKgD = 310/1000$$

Precio kilo C y P

$$PCyP = 3$$

Precio kilo Latas

$$PLatas = 4.50$$

Precio kilo PET

$$PPET = 7$$

Precio kilo RAEE

$$PRAEE = 10$$

Precio kilo Vidrio

$$PVidrio = 1.20$$

Promedio Toneladas por Dia

$$Promedio\ de\ tons * día = Distribución\ Uniforme\ (15030,50490)$$

Promedio Toneladas por Mes

$$Promedio\ de\ tons * mes = Distribución\ Uniforme\ (636670,844260)$$

RAEE: los residuos eléctricos y electrónicos representan el 3.18% del total de los residuos valorizables.

$$RAEE = 0.0318 * RV$$

Rendimiento diésel

$$Rendimiento\ diésel = 0.3874$$

Residuos Recolectados

$$RR = \%RRSU * (Kg\ recolectados\ por\ Km\ recorrido * Km)$$

Salario

$$\text{Salario} = 207.44$$

Tasa Aprovechamiento

$$TA = \text{Distribución Uniforme } (0.3021, 0.35346)$$

Tasa Aprovechamiento 2: se obtiene a partir del análisis de las gráficas del estudio de generación y composición de residuos del municipio, se toma como referencia inicial la estratificación y la generación estimada por estrato, de estas gráficas se clasifican los residuos valorizables en este caso vidrio, material ferroso (latas), plástico polietileno tereftalato (PET), residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), cartón y papel obteniendo un total de 4.93 toneladas, por lo tanto:

$$TA2 = 18.77\%$$

Tasa de Recolección

$$TR = 1 - \left(\left(\frac{\text{Promedio de tons} * \text{día}}{\text{Promedio de tons} * \text{mes}} \right) + 0.0637 \right)$$

Viajes por mes

$$\text{Viajes por mes} = 2 * (4)$$

Vidrio: para esta clasificación se tomo en cuenta el vidrio transparente y el ámbar, en donde ambos representan el 33.72% de los residuos valorizables.

$$\text{Vidrio} = 0.3372 * RV$$

4.9.1 Resultados y observaciones del modelo dinámico del sistema actual de gestión de RSU

Actualmente el sistema del servicio de limpia pública opera de manera cotidiana realizando una recolección mixta de los residuos, realizando un barrido por las principales calles de la ciudad y posteriormente realizando una disposición final de sus residuos en un relleno sanitario a partir de estos parámetros se realizó el modelado de la situación actual como se mostró anteriormente, los datos obtenidos muestran el comportamiento del sistema a lo largo de un año.

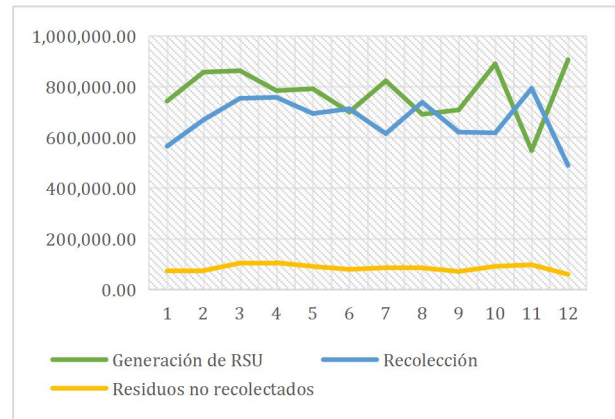
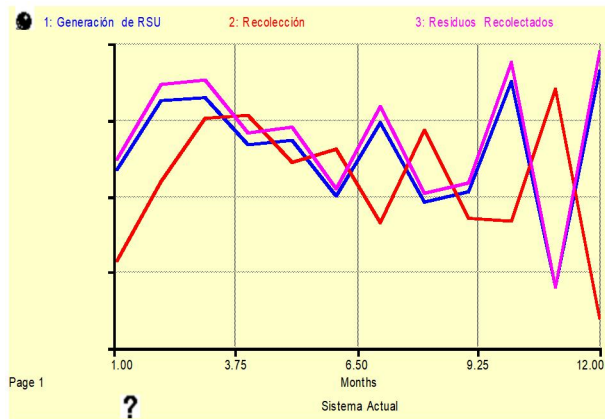
La tabla 26, señala un incremento variable en la generación de residuos y el no realizar ninguna modificación al sistema involucra un alza en las toneladas llevadas a disposición final y hablando en términos económicos esto representaría un incremento en los costos de disposición.

Tabla 26
Sistema GIRSU actual.

Sistema Gestión de residuos (Modelo base)				?
<i>Months</i>	<i>Generación de RSU</i>	<i>Recolección</i>	<i>Residuos no Recolectados</i>	<i>Disposición Final</i>
Jan	742,440.36	564,296.26	72,937.28	565,607.17
Feb	856,746.16	668,477.05	73,963.30	1,129,903.43
Mar	862,461.05	753,382.85	103,363.31	1,798,380.48
Apr	783,795.76	757,425.16	105,035.89	2,551,763.33
May	790,910.27	693,421.59	90,374.17	3,309,188.49
Jun	699,282.77	712,241.12	78,669.16	4,002,610.08
July	822,238.19	614,118.83	85,163.94	4,714,851.20
Aug	690,504.21	737,881.46	84,356.73	5,328,970.03
Sep	707,844.45	620,117.68	70,386.53	6,066,851.48
Oct	889,201.99	617,245.59	90,598.86	6,686,969.16
Nov	547,766.60	792,471.19	96,730.80	7,304,214.75
Dec	905,860.53	488,862.90	58,903.69	8,096,685.94

Es importante mencionar que las tablas generadas por Stella Architect presentan por defecto un desfase de un mes, al realizar las proyecciones numéricas toman como referencia las cifras generadas el mes previo en este caso diciembre del año anterior. La figura 38 muestra como el proceso de generación de residuos va a la par del proceso de recolección y por tanto también del proceso de disposición final.

Figura 38
Gráfica representativa de la situación actual.



4.9.2 Resultados y observaciones del modelo de la propuesta de mejora.

La propuesta que se presenta en el modelo, parte de la idea de realizar una recolección diferenciada esto con el propósito de buscar un beneficio de la separación de los residuos orgánicos de los valorizables, esta medida tiene el objetivo de reducir los residuos que se vierten en el sitio de disposición final y en la medida posible disminuir sus costos de disposición. En la tabla 27 podemos notar una baja en los índices de disposición esto a partir de la simulación de la propuesta. Cabe mencionar que las cantidades que se muestran son una proyección a través del tiempo del comportamiento que tienen estas variables por lo tanto existe una variación en los datos.

Tabla 27

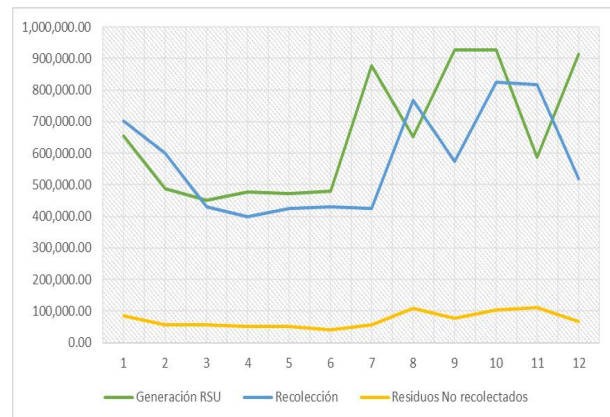
Sistema GIRSU con base en la propuesta de mejora.

Sistema GIRSU (Propuesta de mejora)					?
Months	Generación de RSU	Recolección	Residuos no Recolectados	Disposición Final	
Jan	656,366.90	703,040.11	84,411.82	347,740.25	
Feb	488,509.11	600,699.45	55,667.45	356,972.19	
Mar	451,669.28	430,995.24	57,513.87	296,007.88	
Apr	477,376.11	399,480.99	52,188.29	207,864.87	
May	472,941.26	426,559.28	50,816.83	184,480.62	
Jun	481,461.20	430,706.88	42,234.38	211,583.74	
July	878,396.84	424,383.27	57,077.93	201,976.26	
Aug	653,425.59	768,445.53	109,951.31	210,646.92	
Sep	928,019.38	574,615.32	78,810.26	369,221.74	
Oct	928,297.94	824,266.31	103,753.07	264,590.09	
Nov	588,515.90	817,760.06	110,537.87	419,306.61	
Dec	914,423.33	520,244.31	68,271.59	382,054.20	

La figura 39 representa de manera gráfica el comportamiento de las variables de generación, recolección y residuos no recolectados, nótese que existen puntos más altos en las gráficas esto se debe a que en ciertos meses la generación de residuos tiene un alza comúnmente en las fechas festivas como es enero, mayo, septiembre, octubre y evidentemente diciembre.

Figura 39

Gráficas en Stella y Excel del comportamiento de las variables: Generación de RSU, Recolección y Residuos no recolectados.



La tabla 28 describe de forma numérica el impacto en el proceso de disposición final con base al aprovechamiento de los residuos orgánicos y valorizables y realizando los cálculos correspondientes se logra apreciar una disminución aproximada entre el 40% a 50%.

Tabla 28

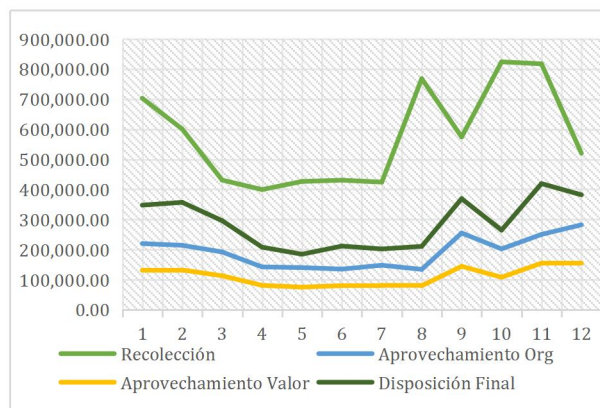
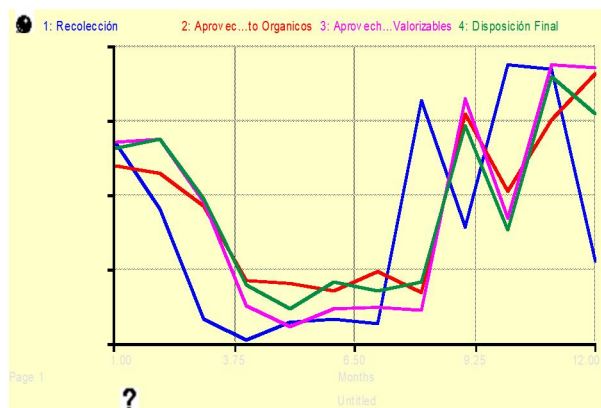
Aprovechamiento de los residuos orgánicos y valorizables.

Aprovechamiento residuos orgánicos y valorizables (Disminución en la disposición final)				?
Months	Recolección	Aprovechamiento Organicos	Aprovechamiento Valorizables	Disposición Final
Jan	703,040.11	219,846.41	131,153.54	347,740.25
Feb	600,699.45	214,107.29	131,960.63	356,972.19
Mar	430,995.24	191,940.29	112,751.29	296,007.88
Apr	399,480.99	142,232.57	80,897.81	207,864.87
May	426,559.28	140,017.79	74,982.58	184,480.62
Jun	430,706.88	134,910.36	80,065.18	211,583.74
July	424,383.27	147,886.94	80,843.68	201,976.26
Aug	768,445.53	134,079.61	79,656.74	210,646.92
Sep	574,615.32	254,986.56	144,237.23	369,221.74
Oct	824,266.31	202,169.94	107,855.30	264,590.09
Nov	817,760.06	250,244.91	154,714.79	419,306.61
Dec	520,244.31	282,212.30	153,493.56	382,054.20

A partir de una recolección diferenciada se puede obtener beneficios positivos como la elaboración de composta a partir de los residuos orgánicos o la venta de residuos reciclables como el cartón, papel, vidrio, material ferroso, el PET, y los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Esto a su vez contribuye a la disminución de los residuos puestos a disposición final como se puede observar en las gráficas de la figura 40.

Figura 40

Gráficas en Stella y Excel del comportamiento de las variables: Recolección, aprovechamiento de residuos orgánicos y valorizables y la disposición final.



Los residuos valorizables representan aproximadamente un 19% de los residuos recolectados por lo que la iniciativa de comercializarlos es ideal ya que representa una fuente de ingresos que bien podría ser útil para hacer del sistema de limpia publica un sistema sostenible. Los residuos valorizables se componen principalmente de cartón y papel, vidrio, PET, material ferroso y RAEE. La tabla 29 muestra los kilos de residuos valorizables a obtener al mes, dentro del modelo se maneja como stock y al final de la tabla se hace la suma total de kilos a recuperar en un periodo de tiempo de un año, asimismo se especifica la proyección por cada tipo de residuo ya que evidentemente al ser comercializados cada uno tiene un valor de compra distinto.

Tabla 29

Clasificación de los residuos valorizables (Proyección a un año).

Clasificación de residuos valorizables (Proyección a un año)							?
Months	Residuos valorizables	Carton y papel	Latas	PET	RAEE	Vidrio	
Jan	131,153.54	49,022.31	8,190.67	25,549.23	4,170.16	44,221.17	
Feb	262,307.07	98,044.61	16,381.34	51,098.47	8,340.32	88,442.34	
Mar	394,267.70	147,368.59	24,622.41	76,804.92	12,536.14	132,935.63	
Apr	507,018.99	189,512.54	31,663.84	98,769.33	16,121.18	170,952.10	
May	587,916.79	219,750.36	36,715.99	114,528.54	18,693.40	198,228.49	
Jun	662,899.37	247,777.20	41,398.73	129,135.45	21,077.55	223,510.44	
July	742,964.55	277,703.80	46,398.88	144,732.47	23,623.30	250,506.10	
Aug	823,808.23	307,921.39	51,447.65	160,481.14	26,193.81	277,764.25	
Sep	903,464.97	337,695.33	56,422.29	175,998.59	28,726.57	304,622.19	
Oct	1,047,702.20	391,608.03	65,430.05	204,096.58	33,312.74	353,254.80	
Nov	1,155,557.49	431,921.97	72,165.72	225,107.22	36,742.11	389,620.48	
Dec	1,310,272.28	489,750.95	81,827.81	255,246.28	41,661.42	441,785.81	
Dec: Final	1,463,765.84	547,123.47	91,413.64	285,147.44	46,541.90	493,539.39	

Dentro del sistema podemos hablar de los posibles ingresos a obtener a partir del aprovechamiento de la separación de residuos, sin embargo, el sistema también representa gastos esto debido al proceso de recolección y disposición final principalmente (y los considerados en el modelo). La tabla 30 muestra cifras estimadas de los ingresos de residuos orgánicos y valorizables tomando como punto de referencia los precios del mercado actuales, por otra parte, tenemos los costos estimados con base a datos actuales como salarios mínimos, precio de combustible, costos de disposición final, generación estimada, entre otros. Se puede observar que el proceso de recolección se maneja con un costo constante sin embargo esto se debe a una estandarización de precios, no obstante, es necesario considerar la variabilidad en el sistema real.

Tabla 30

*Comparación Ingresos -
Costos*

Comparación (Ingresos -- Costos) ?				
<i>Months</i>	<i>Ingresos RO</i>	<i>Ingresos RV</i>	<i>Costo Recolección</i>	<i>Costo disposición final</i>
Jan	1,095,757.50	457,536.55	20,717.92	119,377.41
Feb	1,504,837.00	915,073.09	20,717.92	122,239.31
Mar	1,633,186.15	1,375,425.22	20,717.92	103,340.37
Apr	1,572,927.55	1,768,764.48	20,717.92	76,016.04
May	1,304,491.19	2,050,981.06	20,717.92	68,766.92
Jun	1,190,747.93	2,312,562.05	20,717.92	77,168.89
July	1,121,974.00	2,591,873.96	20,717.92	74,190.57
Aug	1,159,685.96	2,873,901.73	20,717.92	76,878.48
Sep	1,105,976.66	3,151,788.78	20,717.92	126,036.67
Oct	1,682,202.72	3,654,968.52	20,717.92	93,600.86
Nov	1,642,194.46	4,031,227.83	20,717.92	141,562.98
Dec	1,864,169.37	4,570,959.14	20,717.92	130,014.73
Dec: Final		5,106,430.14	20,717.92	87,467.48

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

Se realizó una investigación para monitorear las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el municipio de Huatusco, Veracruz (México), con el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) a bordo de los camiones recolectores en un muestreo de 3 semanas. La confiabilidad y practicidad de estos dispositivos para la obtención de los resultados quedó demostrada aun cuando el registro de los datos tuvo un periodo de transición por cuestiones técnicas del equipo y el viaje del vehículo al relleno sanitario. De los resultados alcanzados en esta investigación de acuerdo con los objetivos planteados se concluye que la obtención y análisis de la información es clave para apreciar el desempeño del sistema de recolección y ajustarlo oportunamente de acuerdo con las cambiantes necesidades del municipio que experimente a lo largo de su crecimiento tanto poblacional como comercial.

Se identifica que los GPS son una herramienta de gran utilidad para los prestadores del servicio de limpia pública en municipios como Huatusco de Chicuellar, en donde los problemas de tráfico, espacios viales, etc., representan deficiencias significativas a la hora de brindar el servicio lo cual provoca una natural molestia en los usuarios (habitantes). Por lo anterior al emplearse este tipo de dispositivos GPS se logra interactuar con un gran número de parámetros que tradicionalmente no son considerados como los efectos del tráfico en las distintas vialidades, el cambio del tipo de vehículos, el kilometraje en cada ruta que representa el gasto en combustible y dentro de los más importantes el cambio del método de recolección empleado con todas sus implicaciones, entre otros, logrando que se pueda medir los beneficios y sus posibles repercusiones que estos tienen sobre las rutas de recolección.

Durante el presente diagnóstico también es evidente que uno de los actores más importantes es la comunidad, dado que son ellos los principales generadores que se encuentran presentes en el sector y a su vez pueden colaborar teniendo un consumo responsable que propicie una disminución de los residuos sólidos domiciliarios, por lo que una principal recomendación es la creación y divulgación de procesos y protocolos adecuados para

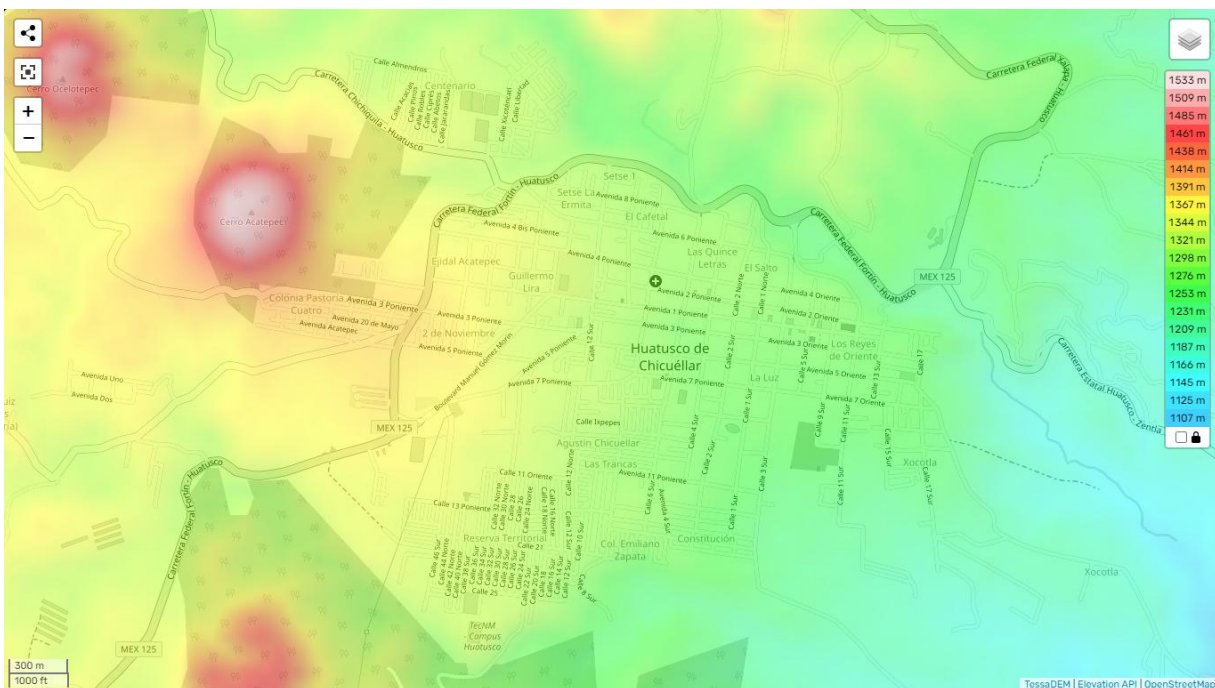
la disposición y, cuando sea necesario, el manejo de los residuos que generan, de igual forma a través de este tipo de estrategias se pueden ofrecer alternativas para la disposición de los residuos tales como la creación de depósitos para residuos valorizables, formación de programas que enseñen el manejo de composta, etc. Lo que permitirá a mediano plazo impactar en el ámbito social de forma positiva el desarrollo de técnicas autóctonas y la falta de conciencia colectiva y/o conductas sanitarias por parte de la población. De igual manera el desarrollo de la educación vial permite hacer conciencia en los conductores de los camiones recolectores, de este modo conceptos nuevos como lo es el Eco-Driving toman fuerza y dan pie a la concientización de las personas al colaborar con las implementaciones necesarias.

CAPITULO VII. DISCUSIÓN

Al realizar la caracterización del área de estudio se identificó que la ciudad de Huatusco tiene un relieve a desnivel en el cual existen zonas más altas que otras (Ver Figura 37), ahora con respecto a las normas para el diseño de las rutas de recolección (SEDESOL) se indica que debe iniciar en las zonas de mayor altitud ya que estas son las partes en donde se debe iniciar el recorrido, en la ciudad de Huatusco serían en colonias como el Centenario, 2 de Noviembre, Acatepec y parte de la Reserva Territorial. Esta modificación que se propone tiene la finalidad de aumentar la distancia productiva con relación a la distancia total del sistema de recolección.

Figura 41

Mapa topográfico Huatusco, Veracruz, México



Otra alteración que tendría que sufrir el sistema es la delimitación de tramos que queden dentro de la misma área, es decir se debe definir rutas por colonias en las cuales el recorrido baste para recolectar los residuos y se aproveche la capacidad de almacenamiento del camión

que este en ruta.

Un punto que es importante resaltar es la manera en la que se realiza la recolección, actualmente se recogen los residuos en ambos lados de las calles lo que es un punto a favor porque las calles no son muy anchas, sin embargo, Huatusco es una ciudad en donde se obstaculiza el tránsito fácilmente por lo que sería conveniente efectuar la recolección en horarios con menor afluencia vehicular, por lo tanto sería importante realizar un estudio para observar el comportamiento del tráfico e identificar las horas pertinentes para el proceso de recolección.

Al contar con un sistema de recolección de residuos sólidos más óptimo, se eliminarían en su mayoría los tiraderos clandestinos identificados en la ciudad y los cuales son focos de infección para los habitantes, todas estas razones se deben tomar en cuenta a la hora de rediseñar las rutas de recolección para que la fuerza de trabajo y el equipo sea utilizados satisfactoriamente. (Pérez Arriaga, Racero Moreno, & Villa Caro, 2007)

Al hablar de un sistema de recolección eficiente no solo se hace referencia a la satisfacción del habitante por ver su entorno limpio, sino que también se debe ser consciente con el medio ambiente para diseñar desde un enfoque sostenible, es por lo que en este ámbito conceptos como el Eco Driving se vuelven relevantes ya que al ser conscientes del impacto que tiene el conducir un camión recolector podemos cuidar detalles como las emisiones producidas, mantenimiento del equipo y el consumo de combustible que implica.

Si se desea llegar a un Manejo Integral de Residuos Sólidos el rediseño de las rutas es solo un punto a considerar, por lo que dentro de esa modificación se debe tomar en cuenta una recolección diferenciada de los residuos en donde se identifiquen los residuos orgánicos y los residuos valorizables puesto que los beneficios que se pueden obtener de esta separación van desde un valor monetario hasta la conciencia de la población respecto a su manera de consumo y por ende a la cantidad de basura que generan. Es importante mencionar que el diagrama causal planteado anteriormente está basado en un ambiente en donde todos los

participantes (habitantes, autoridades pertinentes, trabajadores involucrados, etc.) realizan las tareas de manera eficiente para que el sistema pueda funcionar de la mejor manera posible, por lo que si no se trabaja en conjunto los resultados pueden variar o no ser los deseados.

El modelo que se plantea anteriormente pone en consideración la posibilidad de realizar una recolección diferenciada como se ha venido comentando a lo largo del trabajo, sin embargo, las iniciativas a tomar también conllevan cambios adicionales dentro del sistema que es necesario considerar. En este punto hablamos de indicadores específicos como el kilometraje, debido a que se plantea una separación esta se debe realizar desde la fuente (los hogares) por lo cuál es importante tomar en cuenta como serian los recorridos con esto nos referimos a la posibilidad de pasar dos veces, dos camiones diferentes o en su caso especificar que tipo de residuo se recoge y que días lo que hasta cierto punto representaría un incremento en el kilometraje y por ende en el combustible, además se debe considerar la concientización hacia la población para obtener el apoyo requerido en estas medidas. Con respecto a la mano de obra, existe la posibilidad de requerir más personal para destinarlos a otras áreas ya que hablamos de un aprovechamiento de orgánicos a través del compostaje es necesario tener personal capacitado que se encargue de estas tareas asimismo se habla de equipo y herramientas especiales para realizar este procedimiento. Aun cuando parece que el hecho de implementar esta propuesta representa más desventajas que beneficios es necesario tener presente que es una inversión que a lo largo del tiempo convertiría el servicio de limpia pública en un sistema sostenible y desde el punto de vista financiero los beneficios monetarios a obtener son mayores a la inversión inicial.

Para concluir nada de esto es posible si no se cuenta con un equipo vehicular en optimas condiciones y por lo que se logró observar no se tiene un plan de mantenimiento preventivo para evitar desperfectos en las unidades, es evidente que la falla de los equipos representa un problema mayor para el sistema debido a los retrasos en el proceso de recolección además se debe tomar en cuenta las implicaciones sociales, es decir el

descontento de la ciudadanía. Por lo antes mencionado se sugiere la implementación de un plan de mantenimiento preventivo lo que permitiría una reducción de incidencias y por lo tanto una mayor disponibilidad y confiabilidad de las unidades, alargar la vida de la unidad, reducir costos, disminuir las horas improductivas y el retrabajo además posibilita las reparaciones puntuales y efectivas.

CAPITULO VIII. FUENTES DE INFORMACIÓN

Referencias

- Bartra Gómez, J., & Delgado Bardales, J. M. (2020). Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 4(2), 16. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>
- Betanzo Quezada, E., Torres Gurrola, M. Á., Romero Navarrete, J. A., & Obregón Biosca, S. A. (2016). Evaluación de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos con Apoyo de Dispositivos de Rastreo Satelital: Análisis e Implicaciones. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Bravo Figueroa, V. L. (Agosto de 2021). *Implementación de un modelo óptimo de recolección de desechos sólidos del cantón Milagro, Ecuador*. Obtenido de Issuu: https://issuu.com/unigis_latina/docs/105079
- CARE International-Avina. (2012). *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades de Organizaciones Comunitarias - Módulo 9 Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)*. Quito, Ecuador.
- Castrillón Quintana, O., & Puerta Echeverri, S. M. (Junio de 2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la corporación universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 15-21. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69511003.pdf>
- Colomer , F., & Gallardo, A. (2007). *Tratamiento y gestión de Residuos Sólidos*. Universidad Politécnica de Valencia: Editorial UPV.
- DataMéxico*. (2020). Obtenido de <https://datamexico.org/es/profile/geo/huatusco?healthCareOptionSelector=socialSecurityOption2&peaSelector=unemployedOption&yearHealthIMMS=Year20#calidad-vida>
- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granadas, A. R., & Pérez Ramírez, C. A. (2018). *ESTRATEGIAS EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE, ESTADO DE MÉXICO*. Obtenido de http://ru.iiec.unam.mx/4254/1/4-Vol2_Parte1_Eje3_Cap2-182-Diaz-Alvarado-Perez.pdf
- Espinoza Flores, J., Hernández Silva, J. F., López Varela, C. G., & Ochoa Gallegos, J. R. (2015). Diseño de Rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con un enfoque de optimización. *Congreso Internacional de Investigación, Academia Journals 2015*, (pág.

- 127). Ciudad Juárez. Obtenido de <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/601c628d90744535e41c635b/1612472993536/Ju%C3%A1rez+AJ+Memorias+Online+Tomo+03+2015.pdf>
- Fermani, M., Rossit, D. G., & Toncovich, A. A. (2019). *Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU*. Bahía Blanca: Facultad Regional San Rafael.
- Ferreras, M. Á., & Gay, A. (2002). *La Educación Tecnológica. Aportes para su implementación*. Centro Nacional de Educación Tecnológica.
- Galina Pantoja, R., Mézquita Alonso, I., & Chávez Estudillo, V. (2020). *Tiradero a Cielo Abierto VS Rellenos Sanitario*.
- García, J. M. (2017). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: Dinámica de Sistemas con VENSIM PLE*.
- Gutiérrez Galicia, F. (2008). *Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistema de Información Geográfica (SIG)*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2431/gutierr ezgalicia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández Navarro, J. L. (2019). *Sistema para Optimización de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos Implementando Algoritmos Genéticos*. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas UPIIZ, Zacatecas, Zacatecas. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/28771/HERNANDEZ%20NAVARRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoornweg, D. y.-T. (2012). In: What a waste. A Global review of Solid Waste management. Urban Development Series. *Waste generation*(15).
- INEGI. (2015). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Banco de Información Económica*. Obtenido de INEGI, México: www.inegi.org.mx/est/ctenidos/proyectos/cn/
- Jiménez López, C. E. (2021). *Optimización de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos, en la Zona Centro de la Ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas*. Tesis,

- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Ambiental, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12753/2031>
- León Jácome, J. C., Herrera Granda, I. D., Lorente Leyva, L. L., Montero Santos, Y., Herrera Granda, E. P., Imbaquingo Esparza, D. E., & Jácome León, J. G. (2020). Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos bajo un enfoque de Sistemas de Información Geográfica, un estudio de caso. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 479-493. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/a2803956d6c8a33b6d862dd6708e284b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Lucero Pastás, J. E., & Viñamagua Carrión, J. B. (2016). *Diseño de un Sistema de Recolección de Residuos Sólidos en el Cantón Cayambe*. Trabajo de Titulación, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7518/1/T-UCE-0012-44.pdf>
- Márquez Benavides, L. (2011). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Liliana-Marquez-Benavides/publication/308057682_Residuos_Solidos_Un_enfoque_multidisciplinario_Vol_I/links/57d853d708ae0c0081edfdf1/Residuos-Solidos-Un-enfoque-multidisciplinario-Vol-I.pdf
- Márquez Pérez, J. N. (2008). *Macro y Micro Ruteo de Residuos Sólidos Residenciales*. Obtenido de <https://repositorio.unisucree.edu.co/bitstream/handle/001/299/628.442M357.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Medina Bermúdez, C. I. (1999). Manejo de Residuos sólidos. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 8, 135-144. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1501/1238>
- Minga Quezada, M. I., & Zhiminaycela León, Y. F. (2019). *Optimización de las Rutas de Recolección de los Residuos Sólidos Urbanos del Centro Cantonal SÍGSIG*. Trabajo de titulación, Universidad Plotécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18149/1/UPS-CT008622.pdf>

- Morlán Santa Catalina, I. (2010). *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.
- Nación, S. d., & Urbanos, C. G. (2011). *Gestión por resultados creando evidencia evaluando impacto*. Obtenido de Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos: <https://es.slideshare.net/auditoriaexterna/presentacin-gestion-por-resultados-pgirsu-22>
- Pérez Arriaga, E., Racero Moreno, J., & Villa Caro, G. (2007). Los sistemas de recolección de residuos sólidos (los métodos y sus aplicaciones). *CienciaUAT*, 1(4), 58-60. Obtenido de <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/472>
- Racero Moreno, J., & Pérez Arriaga, E. (Septiembre de 2006). *Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (Ecoeficiencia)*. Obtenido de Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización - ADINGOR: <http://adingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/804>
- Reyes Benitez, B. (2021). *Optimización Global del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos para el trazado de rutas robustas en el Área Metropolitana de Monterrey*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Monterrey, Nuevo León. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/22985/1/1080082860.pdf>
- Ríos Hernández, A. (2009). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3066/GESTIONINTEGRAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sáez, A., & Urdaneta G., J. (septiembre-diciembre de 2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- Salas Jiménez, J. C., & Quesada Carvajal, H. (2006). Impacto ambiental del manejo de desechos sólidos ordinarios en una comunidad rural. *Tecnología en Marcha*, 19(3). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835817.pdf>
- Sánchez Gómez, J. E. (2021). *Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos implementando herramientas computacionales del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS en un municipio colombiano*. Tesis, Universidad de los Andes, Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/55649/25487.pdf?sequence=1>

SEDESOL. (s.f.). *Manual Tecnico Sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales*. Secretaria de Desarrollo Social. Obtenido de <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>

UN-HABITAT. (2010). *Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities*. Malta: Earthscan.

Viñamagua Carrión, J. B., & Lucero Pastás, J. E. (Octubre de 2016). *Diseño de un sistema de rutas de recolección de residuos sólidos en el cantón Cayambe*. Obtenido de DSpace: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7518>

CAPITULO IX. ANEXOS

Anexo A. Tabla de generación estimada por residuo.

Tipo de residuo	%	Toneladas Estrato alto	%	Toneladas Estrato medio	%	Toneladas Estrato bajo	SUMA
Alimenticios	0.4525	2.59685	0.3588	3.53090	0.0837	0.89692	7.02468
Jardín	0.0514	0.29498	0.0465	0.45760	0.0675	0.72332	1.47590
PET	0.0333	0.19111	0.0309	0.30408	0.0435	0.46614	0.96133
Plástico rígido	0.0432	0.24792	0.0384	0.37789	0.0631	0.67617	1.30198
No ferroso	0.006	0.03443	0.0053	0.05216	0.01	0.10716	0.19375
Ferroso	0.0097	0.05567	0.0139	0.13679	0.0108	0.11573	0.30819
Cartón y P	0.0791	0.45395	0.0714	0.70264	0.0642	0.68796	1.84455
C encerado	0.0213	0.12224	0.0172	0.16926	0.014	0.15002	0.44152
Trapo	0.0086	0.04935	0.0372	0.36608	0.0838	0.89799	1.31343
Vidrio transparente	0.0214	0.12281	0.0309	0.30408	0.0716	0.76726	1.19415
Vidrio color	0.0214	0.12281	0.015	0.14761	0.0186	0.19932	0.46974
Pañal	0.1164	0.66801	0.1578	1.55289	0.1712	1.83456	4.05546
Varios	0.0719	0.41263	0.0985	0.96933	0.2085	2.23427	3.61622
RAEE	0.0025	0.01435	0.0073	0.07184	0.0066	0.07072	0.15691
Construcción	0.0009	0.00517	0.0117	0.11514	0.0186	0.19932	0.31962
Residuo fino	0.0357	0.20488	0.0214	0.21059	0.0274	0.29362	0.70909
Otros	0.0246	0.14118	0.0376	0.37002	0.0369	0.39542	0.90661
Toneladas Totales		5.7388991	9.840867439		10.7159055		26.29313
Total R. V.							4.93487

Anexo B. Clasificación de los residuos valorizables

Residuos	%	Estrato alto	%	Estrato medio	%	Estrato bajo	Suma	Porcentaje
PET	0.0333	0.19111	0.0309	0.30408	0.0435	0.46614	0.96133	19.48
Ferroso	0.0097	0.05567	0.0139	0.13679	0.0108	0.11573	0.30819	6.25
Cartón y P	0.0791	0.45395	0.0714	0.70264	0.0642	0.68796	1.84455	37.38
V trans	0.0214	0.12281	0.0309	0.30408	0.0716	0.76726	1.19415	24.20
V color	0.0214	0.12281	0.015	0.14761	0.0186	0.19932	0.46974	9.52
RAEE	0.0025	0.01435	0.0073	0.07184	0.0066	0.07072	0.15691	3.18
Total	5.738899101		9.840867439		10.71590554		4.93487	100.00