

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL

CARRERA DE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

Tema: “Diseño de una ruta de recolección para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP.”

Trabajo de titulación previa la obtención del título de Ingeniería en Logística y Transporte.

AUTORA: García Quendí Yomaira Liceth

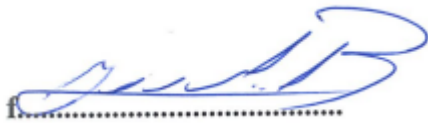
TUTOR: MSc. Mafla Bolaños Iván Gabriel

Tulcán, 2022

CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR

Certifico que la estudiante García Quendí Yomaira Liceth con el número de cédula 040205095-9 ha elaborado el trabajo de titulación: “Diseño de una ruta de recolección para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP.”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de Titulación, Sustentación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.



Mafla Bolaños Iván Gabriel


TUTOR

Tulcán, marzo de 2022

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente trabajo de titulación constituye requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de Logística y Transporte de la Facultad de Comercio Internacional, Integración, Administración y Economía Empresarial

Yo, García Quendí Yomaira Liceth con cédula de identidad número 0402050959 declaro: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

f. 

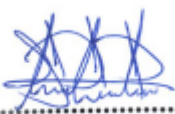
García Quendí Yomaira Liceth

AUTORA

Tulcán, marzo de 2022

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, García Quendí Yomaira Liceth declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “Diseño de una ruta de recolección para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

f.....

García Quendí Yomaira Liceth

AUTORA

Tulcán, marzo de 2022

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a mi querido Dios, quien con su bendición me ha llenado de amor, vida y salud. Quien me ha permitido seguir adelante día a día y así llegar a cumplir mis objetivos y metas en el transcurso de mi vida.

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por brindarme amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, ya que me ayudaron con todo lo necesario para poder culminar una meta más en mi vida. A mi hermano quien por su apoyo ha estado conmigo en todo momento. A mi novio y mi hijo quienes me han motivado emocionalmente en el cumplimiento de otra meta más en mi vida.

A mis docentes de la escuela de Logística y Transporte en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por haber compartido sus enseñanzas y prácticas en mi formación profesional, especialmente al Msc. Iván Mafla, tutor de mi proyecto de investigación quien en todo momento me supo guiar y con sus conocimientos me ha ayudado a culminar con éxito este trabajo de titulación. También agradecer al Msc. Javier Pozo por su valioso tiempo y paciencia quien también me ayudó en el cumplimiento de esta investigación.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi quién me abrió sus puertas y me dio la oportunidad de educarme y convertirme en una profesional responsable y comprometida con mis tareas.

Finalmente, agradecer al Municipio de la ciudad de Tulcán, quienes me ayudaron para poder realizar mi investigación, al Sr. Wilson Prado por haberme ayudado con el acceso a información sobre la recolección de residuos sólidos.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con infinito amor y cariño a mis padres Mariela y Hugo, quienes principalmente me han ayudado y apoyado en todo momento de mi vida. Por sus consejos que día a día me sirven de ayuda para seguir adelante y así sentirme segura por lo que hago. A mi hermano Jonathan por siempre hacerme sentir feliz en momentos difíciles.

A mi novio y a mi hijo por su apoyo incondicional en todo momento, por demostrarse que cuando se presente un problema en mi vida siempre busque una solución y sea capaz de responder a ello.

ÍNDICE

I. PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	20
2.2. MARCO TEÓRICO	21
2.2.1. Vehicle Routing Problem VRP.....	21
2.2.2. Tipos de VRP.....	22
2.2.3. Métodos de solución de VRP (Heurísticas y Metaheurísticas)	22
2.2.4. Recolección de material reciclable VRP	23
2.2.5. Rutas de vehículos para el transporte de materiales peligrosos.....	23
2.2.6. Programa de Análisis de Redes (ArcGIS)	23
2.2.7. Servicio de Recolección y transporte de residuos sólidos	24
2.2.8. Vehículo recolector.....	24
2.2.9. Contenedor de residuos	24
2.2.10. Residuo orgánico	25
2.2.11. Residuo inorgánico	25
2.2.12. Métodos de recolección	25
2.2.13. Método por contenedores	25
2.2.14. Método de acera.....	26
III. METODOLOGÍA.....	27

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	27
3.1.1. Enfoque.....	27
3.1.2. Tipo de Investigación	27
3.2. IDEA A DEFENDER	28
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	28
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	32
3.4.2. Análisis Estadístico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. RESULTADOS.....	34
4.1.1. Análisis de la situación actual	34
4.1.2. Dimensionamiento del problema con criterios VRP	38
4.1.2.1. Ubicación de contenedores reales.....	44
4.1.2.2. Ubicación de contenedores ficticios	44
4.1.2.3. Información de la ubicación de contenedores en el programa ArcGIS	49
4.1.2.3.1. Información de la ubicación de contenedores reales	51
4.1.2.3.2. Información de la ubicación de contenedores ficticios	51
4.1.2.5. Información de los vehículos recolectores	52
4.1.2.6. Costos para determinar el costo por kilómetro recorrido en viaje.....	53
4.1.3. Diseño de las rutas de recolección en la ciudad de Tulcán.	55
4.1.3.1. Zonas de recolección.	55
4.1.3.2. Información de nodos	57
4.1.3.3. Rutas actuales en cada zona de la ciudad de Tulcán.	58
4.1.3.4. Rutas simuladas en cada zona de la ciudad de Tulcán.	66
4.2. DISCUSIÓN	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1. CONCLUSIONES	98
5.2. RECOMENDACIONES.....	99

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
V. ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Problemas en la recolección de residuos.....	17
Figura 2 Cómo consideran los habitantes de Tulcán al servicio de recolección de residuos ...	35
Figura 3 Frecuencia del depósito de residuos.....	36
Figura 4 Horario del depósito de residuos.....	37
Figura 5 Ocupación de los contenedores al momento de depositar residuos	38
Figura 6 Cuadro de criterios VRP	39
Figura 7 Requisitos para generación de rutas.....	41
Figura 8 Información de la ubicación de contenedores reales en el programa ArcGIS	51
Figura 9 Información de la ubicación de contenedores ficticios en el programa ArcGIS.....	52
Figura 10 Zonificación de la ciudad de Tulcán	56
Figura 11 Ubicaciones de contenedores reales y ficticios.....	57
Figura 12 Información de las ubicaciones de los nodos	58
Figura 13 Ruta actual zona norte.....	59
Figura 14 Ruta actual zona centro norte.....	61
Figura 15 Ruta actual zona centro	62
Figura 16 Ruta actual zona centro sur	64
Figura 17 Ruta actual de la zona sur.....	65
Figura 18 Rutas simuladas para la recolección de residuos sólidos	67
Figura 19 Ruta simulada zona norte	68
Figura 20 Contenedores por recoger en la zona norte	70
Figura 21 Ruta simulada zona centro norte	72
Figura 22 Contenedores por recoger en la zona centro norte	74
Figura 23 Ruta simulada zona centro	76
Figura 24 Contenedores por recoger en la zona centro	78
Figura 25 Ruta simulada zona centro sur	80
Figura 26 Contenedores por recoger en la zona centro sur	82
Figura 27 Ruta simulada zona sur	84

Figura 28 Contenedores por recoger en la zona sur	86
Figura 29 División de la zona centro sur	89
Figura 30 División de la zona sur	90
Figura 31 Suma de la capacidad real en kg de contenedores reales	91
Figura 32 Suma de la capacidad real en kg de contenedores ficticios	91
Figura 33 Funcionamiento de la recolección diferenciada en Tulcán	92
Figura 34 Porcentaje de ocupación de los contenedores por zona (Power BI)	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de variables	29
Tabla 2 Consideraciones del servicio de recolección de residuos.....	34
Tabla 3 Frecuencia del depósito de residuos	35
Tabla 4 Horario del depósito de residuos	36
Tabla 5 Cantidad de residuos que encuentran los usuarios en el contenedor.....	37
Tabla 6 Criterios VRP en el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores ...	40
Tabla 7 Requisitos para generación de rutas en el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores.....	42
Tabla 8 Promedio kg por vivienda	45
Tabla 9 Determinación y ubicación de contenedores ficticios en la zona norte y sur de Tulcán.	45
Tabla 10 Tiempo de enganche en contenedores al azar	50
Tabla 11 Tiempo de enganche del contenedor en minutos	50
Tabla 12 Información vehículo 1.....	52
Tabla 13 Información vehículo 2.....	53
Tabla 14 Información vehículo 3.....	53
Tabla 15 Datos generales con respecto a costos.....	53
Tabla 16 Costos Fijos	54
Tabla 17 Costos de mantenimiento	54
Tabla 18 Costos extras (Costo de consumo de combustible)	55
Tabla 19 Dirección de las zonas de Tulcán	56
Tabla 20 Información de nodos.....	58
Tabla 21 Información de la ruta actual zona norte	60
Tabla 22 Información de la ruta actual zona centro norte	61
Tabla 23 Información de la ruta actual zona centro	63
Tabla 24 Información de la ruta actual zona centro sur	64
Tabla 25 Información de la ruta actual zona sur	66
Tabla 26 Información ruta simulada zona norte.....	68
Tabla 27 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona norte	69
Tabla 28 N° de contenedores recogidos zona norte	69
Tabla 29 Orden de contenedores por recoger en la zona norte	70
Tabla 30 Información de la ruta simulada zona centro norte	72
Tabla 31 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro norte	73

Tabla 32 N° de contenedores recogidos zona centro norte	73
Tabla 33 Orden de contenedores por recoger en la zona centro norte	74
Tabla 34 Información de la ruta simulada zona centro	76
Tabla 35 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro	77
Tabla 36 N° de contenedores recogidos zona centro.....	77
Tabla 37 Orden de contenedores por recoger en la zona centro.....	78
Tabla 38 Información de la ruta simulada zona centro sur.....	80
Tabla 39 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro sur	81
Tabla 40 N° de contenedores recogidos zona centro sur.....	81
Tabla 41 Orden de contenedores por recoger en la zona centro sur.....	82
Tabla 42 Información de la ruta simulada zona sur.....	84
Tabla 43 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona sur	85
Tabla 44 N° de contenedores recogidos zona sur.....	85
Tabla 45 Orden de contenedores por recoger en la zona sur.....	86
Tabla 46 Hora de inicio y fin en el recorrido de las zonas	88
Tabla 47 Porcentaje de ocupación de contenedores por zona	93
Tabla 48 Total en distancia, tiempo y costo en rutas actuales y rutas simuladas.....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Rutas actuales en la recolección de residuos	103
Anexo 2: Formato de encuesta dirigida a los habitantes de Tulcán en la plataforma Google Forms.....	106
Anexo 3: Formato de encuesta dirigida a los trabajadores del Municipio	108
Anexo 4: Matriz de las ubicaciones de contenedores reales	111
Anexo 5: Matriz de las ubicaciones de contenedores ficticios	112
Anexo 6: Autorización de la jefatura de Gestión de Residuos Sólidos del Municipio de Tulcán	113
Anexo 7: Acta Predefensa	114
Anexo 8: Validación de Abstract.....	115

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores en la ciudad de Tulcán a través de una propuesta de diseño de rutas mediante el uso de software para Análisis de Redes y problemas de ruteo de vehículos, VRP. Esto permitió determinar las rutas más eficientes para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos a todos los habitantes de la ciudad. Primeramente, se analizó la situación actual de las rutas recolección de residuos sólidos, mediante observación en campo y encuestas con las que se logró identificar que la ciudad está dividida en cinco zonas de recolección. Tres zonas de la ciudad cuentan con la disposición de contenedores reales, mientras que en las dos zonas restantes se realiza la recolección por el método de acera. En el diseño de la investigación, se propuso ubicar contenedores ficticios de acuerdo a la demanda promedio de residuos generados por los hogares en las zonas que no cuentan con contenedores para optimizar el servicio de recolección en los sectores de la ciudad en relación a tiempo, distancias, costos de las rutas de circulación, capacidad disponible, número de vehículos recolectores y la calidad del servicio ofrecido a los habitantes. Los resultados obtenidos en la simulación con respecto a las rutas de recolección actuales muestran mejoras significativas en los parámetros de análisis del servicio. El porcentaje de mejora en distancia fue del 8,97%, en tiempo con respecto a los datos del programa se obtuvo una mejora del 0,37% y de acuerdo al criterio del conductor una del 7,88%. En cuanto al costo se evidenció una reducción del 2,63%, se tiene una reducción del 10% en el tiempo que permanecen los residuos en el contenedor y hasta un 25% en la ocupación del contenedor. En conclusión, se obtuvo una optimización general del servicio de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán.

Palabras clave: Rutas, Recolección, Servicio, Análisis de redes (ArcGIS), Problema de enrutamiento vehicular (VRP).

ABSTRACT

The present research work was conducted with the aim of optimizing the solid waste collection service by containers in the city of Tulcán through a route design proposal by using software for network analyst and vehicle routing problem solving. This allowed to determine the most efficient routes for the provision of the solid waste collection service to all the inhabitants of the city. First, the current situation of the solid waste collection routes was analyzed through field observation and surveys which allowed to identify that the city is divided into five collection zones. Three zones of the city have a disposal of real containers, and in the two remaining zones the collection is done by the curbside method. In the research design, it was proposed to use containers according to the average demand for waste generated by households in areas that do not have with containers to optimize the collection service in the sectors of the city in relation to time, distances, costs, available capacity, number of collecting vehicles and the quality of the service offered to the inhabitants. The results obtained in the simulation regarding the current collection routes showed significant improvements in the service analysis parameters. The percentage of improvement in distance was 8,97%, in time an improvement of 0.37% regards to the data of the program and according to the driver's criteria there was an improvement of 7,88%, regarding the cost a reduction of 2,63% was evidenced, there is a 10% reduction in the time that the waste remains in the container and up to 25% in the occupation of the container. In conclusion, a general optimization of the solid waste collection service in the city of Tulcán was obtained.

Keywords: Routes, Collection, Service, Network Analyst (ArcGIS), Vehicle Routing Problem (VRP).

INTRODUCCIÓN

La prestación del servicio de recolección de residuos sólidos, es indispensable en todas las ciudades del Ecuador y el mundo entero, ya que se realiza con el objetivo de mantener limpios todos los espacios urbanos como parques, aceras y viviendas de cada ciudad, logrando disminuir posibles externalidades negativas que sean causadas por la mala gestión de los residuos.

El problema que actualmente existe en la ciudad de Tulcán, es que el servicio de recolección de residuos sólidos no se lo realiza de manera eficiente, debido a que manejan rutas de recolección por el método de acera, lo que implica recorrer largas distancias, mayor tiempo de carga de los residuos y costos de servicio más altos. Otro de los problemas es que no se tiene un horario de recolección establecido y conocido por la ciudadanía, por lo que en algunos lugares los contenedores se encuentran saturados o en ocasiones los residuos son regados y generan mal aspecto a la ciudad. Otro problema es que la recolección por el método de acera en dos zonas de la ciudad hace que el vehículo recolector no pase por ciertas viviendas.

La presente investigación parte de información que permitió conocer cómo es el manejo de los residuos que presta el municipio actualmente, El método de recolección actual en las zonas donde no existen contenedores plantea la posibilidad de ubicar contenedores ficticios de acuerdo a la demanda de residuos, para así brindar un servicio de recolección de manera equitativa a todos los ciudadanos. Mediante el uso del software ArcGIS y su extensión VRP, se han diseñado nuevas rutas que pretendan mejorar la calidad del servicio.

I. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el año 2019 en Ecuador se recolectó un promedio de 12.671,18 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales el 86,5% se recolectaron de manera no diferenciada, y el 13,5% de manera diferenciada. En la fase de disposición final se reportó que el 48,2% los GAD Municipales disponen de rellenos sanitarios, el 32,7% disponen de celdas emergentes y el 19,1% disponen de botaderos. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC, 2019, p.4)

En Carchi diariamente se recogen 45 toneladas de residuos, según el director de Gestión Ambiental y Riesgos del Municipio de Tulcán, el 80 % son residuos orgánicos y el 20 % son inorgánicos, estos desechos son depositados en el relleno sanitario en el sector de la Palizada. (Casco y Punina, 2019, p.19)

Actualmente las rutas manejadas en la recolección de residuos sólidos son las mismas de cuando se realizaba la recolección por el método de acera, es decir no existen rutas específicas diseñadas de acuerdo a la ubicación de contenedores. Ahora la recolección de residuos sólidos se lo realiza por el método de contenedores que son ubicados en distintos sectores de la ciudad. El problema que existe en este servicio es que al no tener establecida la ruta de recolección conforme a la ubicación de contenedores, los vehículos recolectores recorren largas distancias generando así costos adicionales en transporte, combustible, desgaste de neumáticos, mantenimiento, entre otros, además se genera la pérdida de tiempo, lo cual no es favorable para dicho servicio. También no cuentan con horarios específicos para la recolección de residuos, la cual se realiza de forma aleatoria tanto en las rutas seguidas como en las horas del día.

Otro problema es los contenedores en algunas calles de la ciudad están totalmente saturados de residuos, por lo que las personas prefieren dejar sus residuos en fundas encima o a lado de los contenedores, a causa de ello se genera otro problema en el cual los animales especialmente los perros llegan al lugar a seguir escurriendo estos residuos hasta convertirlos en desastres, de modo que los ciudadanos se han quejado del mal estado en que se encuentran estos contenedores, lo mismo ocurre con algunas personas cuando ensucian demasiado al botar la basura en las calles o dejarla en espacios, por esta razón la contaminación ambiental es un problema que enfrenta la mayor parte de la población debido al crecimiento diario de la población, el comercio y la industria.

Por otra parte, en la ciudad de Tulcán algunos sectores no tienen a disposición contenedores para el depósito de sus residuos, por esta razón algunas personas dejan los residuos en las aceras y estos son regados por varios motivos. A consecuencia de ello pueden generarse enfermedades en las personas por no tratar un correcto manejo de residuos por lo que es comprensible que las administraciones locales aseguren una recolección de residuos práctica, a fin de mejorar el bienestar de los habitantes de la ciudad.

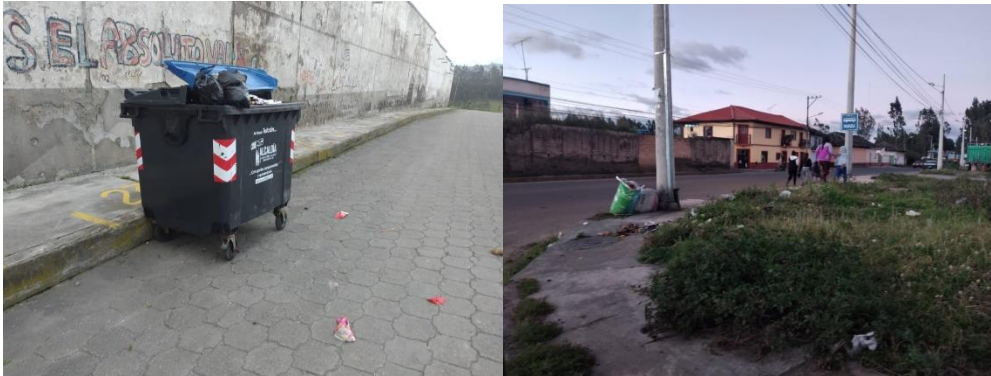


Figura 1 Problemas en la recolección de residuos

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la ruta que optimiza el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Desde la normativa legal, la presente investigación se basa en la Constitución de la República del Ecuador en el título V de la Organización Territorial del Estado en el Art. 264 numeral 4 manifiesta que “los gobiernos municipales deberán prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Ministerio de Educación, 2008,p.82). En el Art. 415 hace mención a que el estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, reducción del reciclaje y tratamiento de desechos sólidos y líquidos. (Ministerio de Educación, 2008,p.117)

Se ha tomado en cuenta el Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización en el Capítulo III la Sección Primera. Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones en el Art. 55, literal d “los gobiernos autónomos descentralizados municipales deberán: Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Ministerio de Finanzas del Ecuador , 2012,p.33).

En el Art. 136 menciona que los gobiernos autónomos descentralizados municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado. (Ministerio de Finanzas del Ecuador , 2012, p.71)

En el Art. 137 se menciona que “las competencias de servicios públicos de alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental, en todas sus fases, las ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas” (Ministerio de Finanzas del Ecuador , 2012, p.72).

Se consideró la parte legal en esta investigación debido a que las administraciones municipales son responsables de brindar un adecuado manejo de residuos sólidos de modo que se garantice la salud y el bienestar de todos los ciudadanos.

En el desarrollo de la investigación se buscó la manera de ayudar a los encargados de realizar la recolección brindando un mejor control en el manejo de residuos, de modo que se logre limpiar todos los lugares y así los habitantes se sientan a gusto del ambiente en el que se encuentren. También se beneficiaría el municipio de Tulcán, porque al manejar rutas diseñadas de acuerdo a la ubicación de contenedores y a criterios técnicos de diseño de rutas, los vehículos recolectores no tendrían que recorrer largas distancias y tampoco perderían tiempo. Además, se reducirán los costos generales del servicio al no recorrer largas distancias, menor consumo de combustible y mantenimiento de los vehículos.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una ruta de recolección para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.
- Dimensionar el problema de las rutas de recolección de residuos sólidos con base en criterios VRP.
- Determinar las rutas óptimas del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán de acuerdo al dimensionamiento del problema.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Qué aspectos permiten analizar la situación actual del manejo de residuos sólidos por contenedores en la ciudad de Tulcán?
- ¿Cómo dimensionar el problema de rutas del servicio de recolección de residuos sólidos con base en criterios VRP?
- ¿Cómo determinar las rutas óptimas del servicio de recolección de residuos sólidos de acuerdo al dimensionamiento del problema?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El estudio de Minga y Zhiminaycela (2019) afirman:

El objetivo de la investigación fue optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el área urbana del centro cantonal Sígsig provincia de Azuay para mejorar la gestión y manejo de los mismos, mediante el uso de la herramienta ArcGIS 10.1. se diseñó la nueva ruta de recolección permitiendo modelar redes de transporte mediante un sistema vial en un espacio determinado con sus respectivos bloques y restricciones de circulación, así logrando brindar un mejor servicio de recolección de residuos para la ciudadanía. Los resultados muestran la optimización en tiempo y espacio de recorrido en la recolección de residuos sólidos de las diferentes rutas en el cantón Sígsig. (p.8)

Cusco y Picón (2015) afirman:

La investigación tuvo como propósito la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales en el cantón Cuenca, mediante la aplicación de la herramienta SIG ha permitido que se minimicen los costos operativos de recolección así mejorando la prestación del servicio a los usuarios y logrando reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y también optimizando la ruta de recorrido con los vehículos recolectores hasta llegar al lugar del relleno sanitario de la ciudad. Mediante la aplicación de este estudio se ayudará a mejorar el funcionamiento de las rutas de recolección de residuos sólidos en el cantón, el mismo que brindará beneficio al municipio EMAC y mejorará el servicio de recolección que se presta a la ciudadanía. (p.2)

Casco y Punina (2019) afirman:

La investigación se basa en mejorar la gestión logística mediante una propuesta realizada al municipio de Tulcán, para lo cual se utilizó una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) la que ha permitido optimizar longitudes y tiempos en el sistema de recolección de desechos sólidos con respecto a las rutas, y así permitiendo gestionar información para organizar, administrar, analizar y compartir, de modo que se logrará brindando un mejor servicio a la ciudadanía con la aplicación de este estudio. (p.16)

Según Araiza y Zambrano (2015) afirman:

En la investigación se ha decidido implantar soluciones mediante el sistema de información geográfica SIG para el diseño de rutas de recolección de residuos, debido a las causas de la contaminación ambiental en México por el aumento de residuos sólidos urbanos que son ocasionados por varios factores entre ellos el aumento de población, cambios de rutinas de consumo, migración o nuevas costumbres, así como el manejo ineficaz de los residuos por parte de las administraciones, de modo que se ha diseñado nuevas rutas para lograr limpiar las aceras y calles y así disminuya la propagación de tiraderos a cielo abierto en las localidades de Benito Juárez y Jesús María Garza en el municipio Villaflores, Chiapas. (p.119)

Mejía y Patarón (2014) afirman:

El manejo de residuos sólidos en el cantón Tisaleo provincia de Tungurahua, no es bien tratado, por lo cual se ha decidido evaluar los impactos ambientales obteniendo como resultado que el 73,38 % son impactos negativos y el 26,62 % impactos positivos. Por tal motivo se ha decidido desarrollar un plan para el manejo exhaustivo de residuos sólidos el cual consta de diez presentaciones: prevención y mitigación de impactos, contingencias y emergencias, capacitación y educación ambiental, salud ocupacional y seguridad industrial, relaciones comunitarias, monitoreo, reforzamiento institucional, separación en la fuente, recolección, frecuencia y transporte. Este plan exhaustivo de residuos sólidos es apropiado para controlar y corregir los principales impactos ambientales. (p.4)

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Vehicle Routing Problem VRP

Jaquep (2008) afirma:

El VRP es el problema de enrutamiento de vehículos, consiste en un problema complicado de optimización combinatoria, compone un problema en el transporte que consiste en establecer el número de vehículos y las rutas que seguirá cada vehículo con el objetivo de distribuir los productos a una variedad de clientes, a fin de minimizar los costos de transporte. (p.1)

2.2.2. Tipos de VRP

Según SimpliRoute (2018) afirma:

Los tipos de VRP son: 1) VRP con flota heterogénea: Los vehículos son diferentes entre sí. 2) VRP con rutas abiertas: Los vehículos no vuelven al punto de partida de las rutas. 3) VRP con ventanas de tiempo: Existe un horario específico en el que los pedidos deberán ser entregados justo en ese tiempo. 4) VRP con Pick up and delivery: En la ruta existen centros de abastecimiento en el que los vehículos deberán pasar para obtener la mercancía que va a ser distribuida. (p.1)

Unisolutionsnews (2016) afirma:

Se establecen los siguientes tipos de VRP: 1) VRP con flota heterogénea: Los vehículos que pertenecen a la empresa tienen diferentes capacidades de carga. 2) Open VRP: También llamado ruteo abierto, se refiere a que el vehículo no regresa al depósito de origen, es decir conduce a otro lugar diferente para cargar los productos. 3) VRP con ventanas de tiempo (VRPTM): Se refiere a que cada cliente debe ser atendido en un tiempo específico de forma obligatorio. (p.1)

2.2.3. Métodos de solución de VRP (Heurísticas y Metaheurísticas)

Heurísticas:

De acuerdo a Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014) afirman:

Las heurísticas se limitan a una exploración de búsqueda de una buena solución en un tiempo corto. Existen tres categorías básicas de heurísticas para resolver el VRP.

- Heurística constructiva: Se construye una solución paso a paso a partir de los datos de un problema.
- Heurística de dos fases: Se construye rutas reales usando bucles de retroalimentación, en los que se agrupan los nodos de las rutas factibles, para así obtener buenos resultados.
- Heurísticas de mejora de la búsqueda local: Se parte de una solución inicial factible para así mejorar la solución aplicando movimientos locales. (p.13)

Metaheurísticas:

Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014) afirman:

Son mecanismos de propósito general para resolver problemas difíciles de optimización.

Estas se clasifican en:

- Metaheurísticas sin memoria: Se trata de buscar o encontrar soluciones óptimas en una localidad.
- Metaheurísticas con memoria: La solución parte de la memoria limitada que guarda las anteriores soluciones que hayan sido encontradas anteriormente. (p.16)

2.2.4. Recolección de material reciclable VRP

Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014) afirman:

Los grandes campus universitarios afrontan el mayor problema de la recolección de desechos o desperdicios que son producidos por oficinas, aulas, laboratorios, etc. Este problema se vuelve complejo cuando hay varios edificios distribuidos en un área grande. En una semana laboral de 5 días, los vehículos son necesarios para recoger los residuos, el problema es minimizar la distancia recorrida por el vehículo y tiempo de recogida. Las limitaciones podrían ser la frecuencia de recolección, el número de vehículos y el volumen en término de contenedores, capacidad del vehículo y limitaciones de tiempo. (p.27)

2.2.5. Rutas de vehículos para el transporte de materiales peligrosos

Según Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014) afirman:

El transporte de materiales peligrosos sufre un mayor factor de riesgo. El problema se presenta por el aumento en la cantidad de estos materiales que se transportan, una forma de superar este riesgo es tomar medidas adecuadas de enrutamiento que puedan llevar a determinar rutas alternativas, en caso de ser necesario con respecto a las decisiones del conductor del camión. El problema es encontrar una ruta a menor riesgo con limitaciones de distancia y tiempo. (p.29)

2.2.6. Programa de Análisis de Redes (ArcGIS)

Según el Instituto Superior del Medio Ambiente (2014) afirma:

ArcGIS ofrece varias herramientas y extensiones que ayudan a analizar y modelizar el entorno, entre una de las extensiones está el Network Analyst, la misma que permite calcular rutas, optimizarlas y buscar el mejor lugar para un emplazamiento respecto al transporte. (p.1)

2.2.7. Servicio de Recolección y transporte de residuos sólidos

Según Jaramillo (2002) afirma:

Esta actividad consiste en recoger los residuos sólidos, materiales reciclables y el transporte hacia el lugar donde son descargados, este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, una estación o un relleno sanitario. La actividad de recolección y transporte es la más costosa del servicio del aseo urbano, la mayor parte se representa entre el 80% y 90% del costo total del servicio. (p.21)

2.2.8. Vehículo recolector

EMSERP (2019) afirma: “Es aquel vehículo usado para actividades de recolección de residuos sólidos desde los lugares que son generados los residuos y son transportados hasta las instalaciones de clasificación y plantas de aprovechamiento, estaciones de transmisión o hasta el lugar de disposición final” (p.1).

De acuerdo a ASECA (2018) afirma:

El vehículo recolector de basura es equipado con dispositivos técnicos para su funcionamiento, tiene la capacidad para recolectar toneladas de basura almacenándola de acuerdo a diferentes sistemas, sean con sistema de carga frontal, trasera o lateral. Son diseñados para brindar el servicio de recolección de residuos de acuerdo a las necesidades de la población. (p.1)

2.2.9. Contenedor de residuos

González (2020) afirma: “Son recipientes, por lo general de gran tamaño, donde las personas depositan desechos que producen. Estos contenedores suelen estar elaborados con metal o plástico. Se pueden encontrar ampliamente distribuidos en espacios públicos y dentro de hogares” (p.1).

Según Recytrans (2013) afirma: “Es un recipiente de carga para el depósito y transporte de residuos, dependiendo del ámbito donde se vaya a usar y los residuos que se depositen, este puede estar fabricado en metal o plástico” (p.1).

2.2.10. Residuo orgánico

Según Ruíz (2005) afirma:

Son residuos que son descompuestos por la acción natural de organismos vivos como bacterias, lombrices y hongos, es decir son residuos que se generan por los restos de los seres vivos como animales y plantas, por las cáscaras de las verduras y frutas, cáscaras de huevos, restos de animales, huesos, papel, entre otros. (p.8)

2.2.11. Residuo inorgánico

Para Ruíz (2005) afirma: “Son residuos que no pueden ser degradables o sufren una descomposición demasiado lenta, estos residuos provienen de minerales y productos sintéticos, como metales, plásticos, cristales, entre otros” (p.8).

2.2.12. Métodos de recolección

Los métodos de recolección según Enriquebio, Enriquebio (2006) afirma: “Se clasifican por el grado de tecnificación

- Mecanizados
- Semi – mecanizados
- Manuales

También se clasifican por el tipo de operación:

- Contenedores
- Esquina o parada fija
- Acera
- Intra domiciliario o llevar y traer” (p.4).

2.2.13. Método por contenedores

Enriquebio (2006) afirma: “El método implica la existencia de quipo de almacenamiento temporal, se ubica en zonas de gran generación y difícil acceso. Se distingue de dos tipos: contenedores fijos y contenedores móviles” (p.8).

2.2.13.1. Contenedores fijos

De acuerdo a Enriquebio (2006) afirma: “El camión recolector vacía los desechos de los contenedores y deposita el contenedor en su misma posición. Por lo general, el equipo cuenta con un sistema mecanizado y la capacidad de contenedores varía entre 1 y 7 m³” (p.9).

2.2.13.2. Contenedores móviles

Según Enriquebio (2006) afirma: “El vehículo transporta el contenedor lleno a la estación de transferencia o al sitio de disposición final. El equipo requiere de un sistema mecanizado y la capacidad para estos contenedores es mayor a 10 m³” (p.11).

2.2.14. Método de acera

López (2013) afirma: “En este método el personal encargado de recoger los residuos toma los recipientes de basura que han sido colocados en las aceras por las personas para luego trasladarlos hacia el vehículo recolector” (p.4).

Alvarado (2017) afirma:

En este método, el usuario debe sacar su recipiente al borde de la banqueta cuando oye la campana que toca uno de los operadores del vehículo de recolección. Posteriormente el vehículo pasa haciendo parada en cada lugar donde haya recipientes o bolsas con basura, su recorrido es lento, para que el personal de recolección tenga tiempo de recoger el recipiente, descargar su contenido a la caja del vehículo y lo devuelva al lugar de donde lo tomó. (p.26)

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se toma en cuenta el número de contenedores, distancias, costos y tiempos de circulación de los vehículos recolectores en cada sector de la ciudad de Tulcán. Así, se logrará tener una comparación con respecto a las rutas actuales que maneja el municipio, de modo que se logre determinar nuevas rutas que mejoren el servicio.

Niño (2011) afirma:

La investigación cuantitativa se basa en la cantidad y su principal medio es la medición y el cálculo, por ende, trata de buscar medir variables con referencia a magnitudes, esta investigación se aplica en investigaciones de tipo explicativo, experimental, exploratorio y descriptivo. (p.29)

3.1.2. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo descriptiva de modo que se realizó la descripción de los sectores en los que esta divide la ciudad de Tulcán para la recolección de residuos. Se realizó investigación de campo para la recopilación de información de cada una de las ubicaciones de los contenedores disponibles en cada sector de la ciudad y también de tipo explicativa que una vez obtenidos los resultados se conoció la optimización que se obtuvo con respecto a las rutas actuales.

Investigación descriptiva

Niño (2011) afirma:

Se trata de describir la realidad del estudio, ya sea un aspecto, una parte, una categoría o relaciones que se puedan establecer entre distintos objetos, con el objetivo de aclarar una verdad o comprobar una hipótesis. Se capta como un acto de mostrar por medio de palabras aquellas características de fenómenos, hechos, situaciones, cosas, personas y otros seres vivos, que de esta manera quien lea o interprete, los idee en la mente. (p.34)

Investigación explicativa

Bernal (2010) afirma:

La investigación explicativa o causal tiene como principal función probar una hipótesis y con ello buscar que las conclusiones lleven a la verdad, en esta investigación los investigadores plantean objetivos para estudiar el porqué de las cosas, hechos, fenómenos o situaciones. Además, se analizan las causas y efectos de la relación entre las variables. (p.34)

3.2. IDEA A DEFENDER

El diseño de rutas con base en criterios VRP y el uso de herramientas informáticas como ARCGIS optimizarán el servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Rutas de recolección

Variable dependiente: Servicio de recolección de residuos sólidos

Tabla 1 Cuadro de variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumento
V. Independiente: Rutas de recolección	Según el Observatorio de Salud y Medio Ambiente (2020) afirma: “Son aquellas rutas que siguen la recogida de residuos no seleccionados o separados en la fuente, siendo de viviendas, negocios, entre otros” (p.1).	Vehículos	Número de vehículos	Cuántos vehículos existen	Observación	Encuesta
			Capacidad de los vehículos	Cuál es la capacidad de los vehículos en toneladas		Encuesta
			Velocidad de los vehículos	Número de kilómetros por hora		Encuesta
			Número de rutas	Cuántas rutas se recorren		Encuesta
		Operaciones	Tipo de flota	Qué tipo de vehículo son los recolectores		Encuesta
			Número de rellenos sanitarios	Cuántos rellenos sanitarios existen		Encuesta
			Número de contenedores	Cuántos contenedores existen		Fichaje
Número de zonas	Cuántas zonas existen	Encuesta				

Ventanas de tiempo	Qué tiempo demora el recorrido en cada sector.	Observación	Tablas de tiempo
Demanda promedio de desechos sólidos por contenedor	Cuántas personas depositan los desechos en un contenedor		Fichaje
Tiempo de recogida por cada contenedor	Qué tiempo demora la recogida de residuos por cada contenedor.		Fichaje
Tipo de operación (pick up - delivery)	Cómo es el tipo de operación en la recogida y entrega de residuos		Encuesta

V. Dependiente: Servicio de recolección de residuos sólidos	Según Defensoría del Pueblo (2016) afirma: “Es el proceso de recolección de residuos sólidos en el domicilio, encargado por los GAD o empresas públicas” (p.1).	Proceso de recolección	Toneladas de desechos sólidos	Qué cantidad de desechos se generan diarios en toneladas.		Encuesta
			Tiempo de permanencia de los residuos sólidos en el contenedor	Qué tiempo permanecen los residuos sólidos en el contenedor.	Observación	Fichaje
			Porcentaje de ocupación del contenedor por unidad de tiempo	Qué porcentaje ocupan los desechos en el contenedor por unidad de tiempo	Observación	Fichaje
			Distancia recorrida	Qué distancia recorre el vehículo recolector	Programa ArcGis	Tablas de distancia
			Tiempo de recorrido	Qué tiempo se demora en recorrer	Programa ArcGis	Tablas de tiempo
			Costo de recorrido	Cuánto es el costo por recorrido	Programa ArcGis	Tablas de Costos

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Método deductivo

La presente investigación se basó en el método deductivo, ya que su problemática parte de no disponer el establecimiento de rutas de recolección de residuos sólidos por el método de contenedores en las zonas de la ciudad para solucionar el manejo inadecuado de las rutas de recolección en todas las zonas a distancias cortas, a un menor tiempo y a un bajo costo.

Se usó la encuesta para recolectar información sobre el manejo actual de los residuos sólidos, también se usó la observación para la recolección de información determinando la ubicación de los contenedores para proceder con el diseño de las rutas en cada zona de la ciudad de Tulcán. Otra de las herramientas que se usó fue el programa ArcGIS, ya que permitió analizar los datos en cuanto a distancias, tiempos y costos, de manera que las rutas simuladas sean óptimas para así mejorar y optimizar el servicio de recolección de residuos por cada zona de la ciudad de Tulcán.

Método deductivo

Bernal (2010) afirma:

Este método consiste en tomar conclusiones generales para así obtener explicaciones específicas. En este método se inicia con el análisis de los teoremas, postulados, principios y leyes, de aplicación universal y de comprobada su validez, para poder aplicarlos a soluciones o hechos particulares. (p.59)

3.4.2. Análisis Estadístico

La presente investigación realizó un análisis estadístico descriptivo con la información obtenida por la técnica de la encuesta y la observación de la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán que brinda el GAD Municipal, así como de los resultados de la simulación de las rutas de recolección en distancias, costos y tiempos cortos con respecto a las rutas actuales, de modo que se logre medir la mejora y eficiencia del servicio de recolección por contenedores de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán.

En la ciudad de Tulcán según el INEC (2020) la población es de 102395 habitantes, para poder aplicar la encuesta se usó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2}$$

Donde:

- z^2 : Nivel de confianza 95% → (1,96)
- σ : Desviación estándar → 0,5
- N : Tamaño de la población total → 102395
- e : Límite aceptable del error muestral: 5% → (0,05)
- n : Tamaño de la muestra

$$n = \frac{(1,96)^2 * (0,5)^2 * 102395}{0,05^2 * (102395 - 1) + (1,96)^2 * (0,5)^2}$$

$$n = \frac{98299,20}{256,95}$$

$$n = 382,56$$

La encuesta se realizó a 382 habitantes de la ciudad de Tulcán.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis de la situación actual

Para dar cumplimiento del primer objetivo que fue analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Tulcán, se usó los resultados obtenidos mediante la aplicación de encuestas a los habitantes de la ciudad, se tomó en cuenta a como es la consideración del servicio para cada uno de ellos, la frecuencia, el horario y la ocupación que encuentran al contenedor en el momento que depositan los residuos, con ello logrando obtener figuras y tablas para la interpretación de los mismos. Por otra parte, se realizó una encuesta al Municipio de Tulcán con el objetivo de conocer si todas las zonas de la ciudad disponían de contenedores, en la que se logró conocer que dos zonas no disponen de estos

La encuesta se realizó mediante la plataforma Google Forms, los resultados fueron trasladados a un archivo de Excel, para obtener las figuras y tablas de cada pregunta que se realizó.

¿Usted, cómo considera el manejo de recolección de residuos sólidos que presta el GAD Municipal de Tulcán?

Tabla 2 Consideraciones del servicio de recolección de residuos

Consideraciones	Número de personas	Porcentaje de participación (%)
Poco satisfactorio	233	61
Satisfactorio	132	35
Muy satisfactorio	17	4
TOTAL	382	100

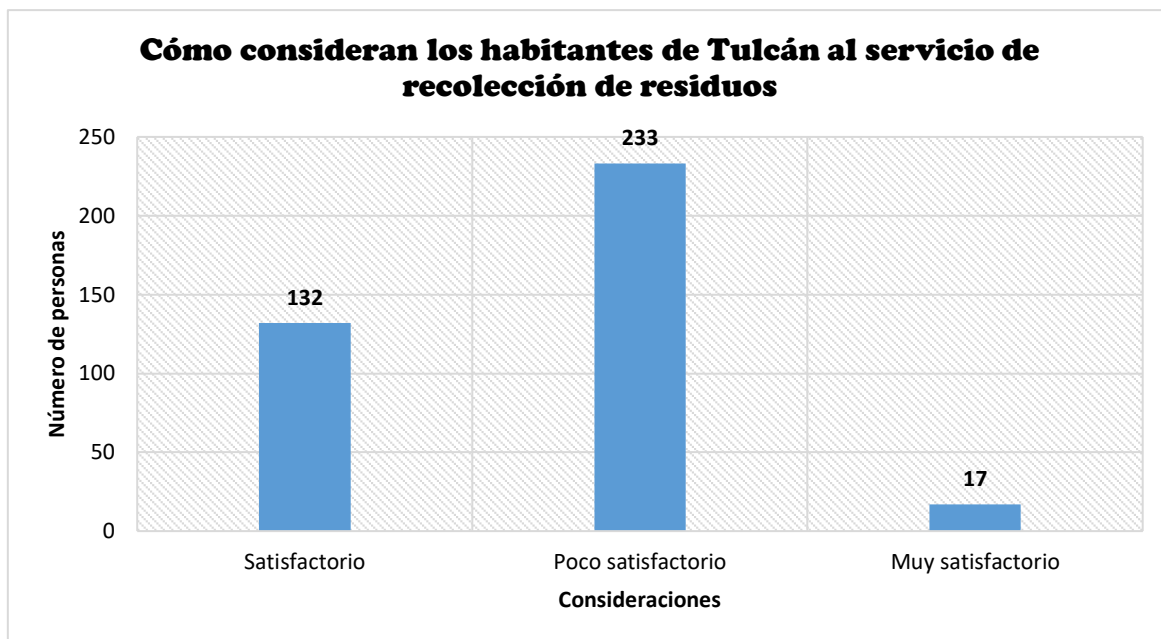


Figura 2 Cómo consideran los habitantes de Tulcán al servicio de recolección de residuos

Según la Figura 2 se observa que de las 382 personas la mayor parte lo considera como poco satisfactorio al servicio de recolección de residuos con un total de 233 personas representando el 61% del porcentaje de participación según la Tabla 2, una de las razones es que no realizan la recolección cuando los contenedores ya están saturados y los residuos son regados en las calles o veredas generando un mal aspecto, 132 personas lo consideran como satisfactorio con un porcentaje del 35% y 17 personas como muy satisfactorio solo con el 4%.

¿Con qué frecuencia los usuarios depositan los residuos sólidos en el contenedor?

Tabla 3 Frecuencia del depósito de residuos

Frecuencias	Número de personas	Porcentaje
		de participación (%)
Diariamente	239	63
Semanal	93	24
Quincenal	12	3
Fin de semana	38	10
TOTAL	382	100

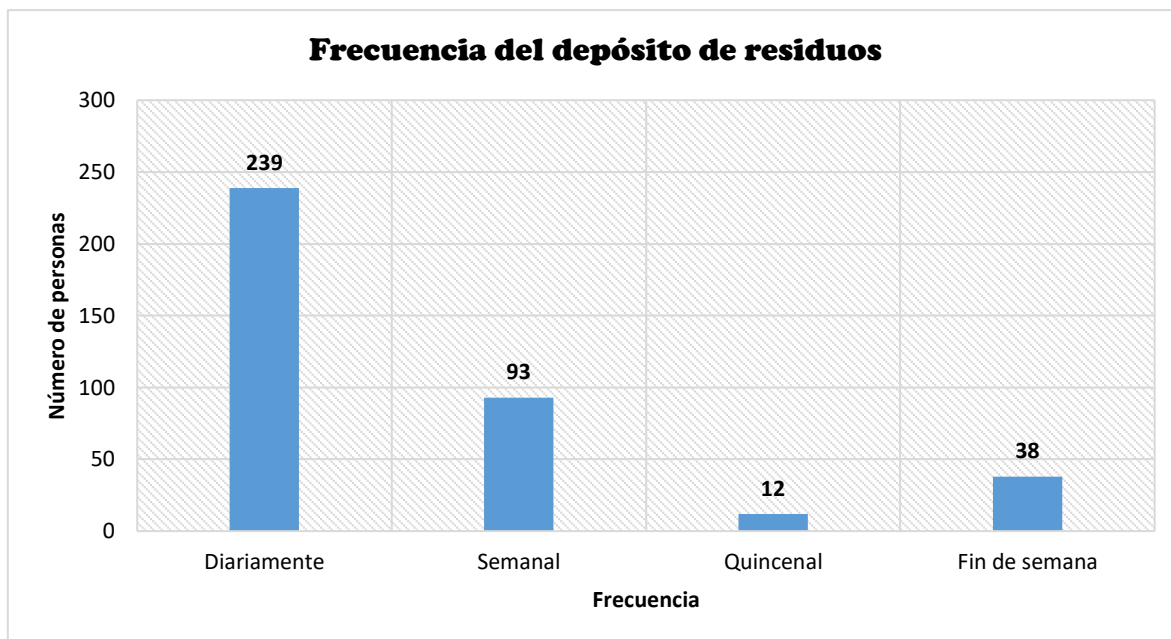


Figura 3 Frecuencia del depósito de residuos

Según la Figura 3 de las 382 personas, 239 de ellas salen a diario a depositar los residuos al contenedor y las personas que no disponen de ellos lo hacen cuando pasa el vehículo recolector por sus viviendas, seguido son 93 personas que lo realizan cada semana, posteriormente 38 personas lo realizan cada fin de semana y 12 de ellas los hacen cada quince días.

¿Usted, a qué horario sale a depositar los residuos sólidos al contenedor?

Tabla 4 Horario del depósito de residuos

Hora	Número de personas	Porcentaje de participación (%)
6:00 – 8:00	150	39
9:00 - 11:00	161	42
16:00 – 18:00	34	9
19:00 a más	37	10
TOTAL	382	100

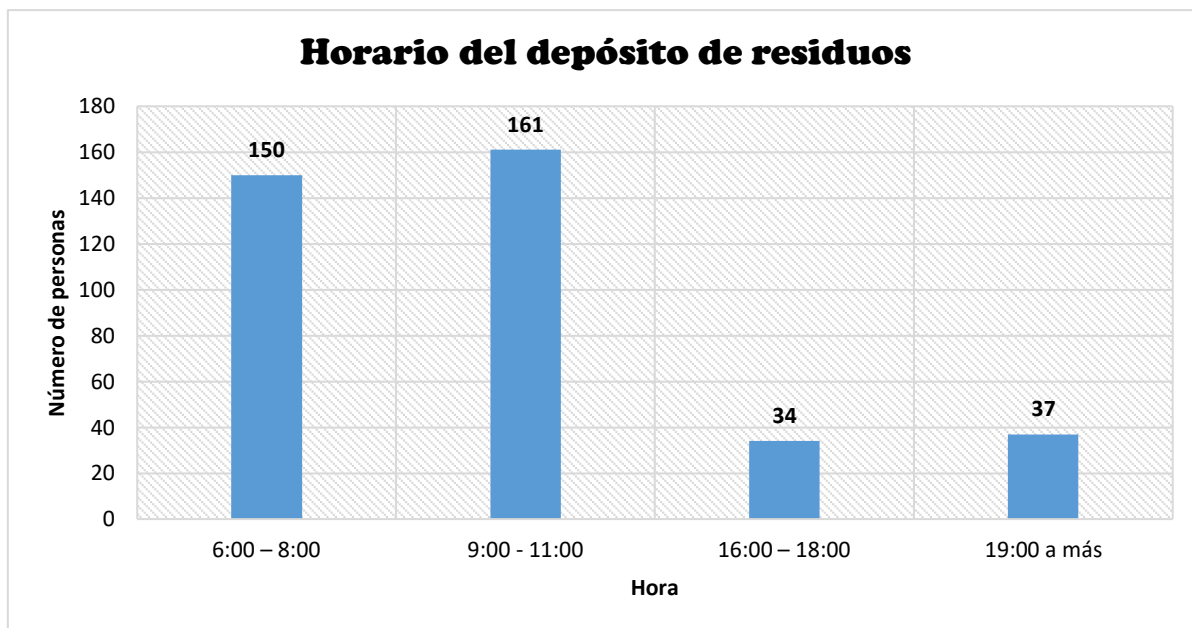







Figura 4 Horario del depósito de residuos

Según la Figura 4 de las 382 personas, la mayor parte depositan los residuos sólidos en el contenedor en horario de 9:00 – 11:00 de la mañana con un porcentaje de participación del 42% como se muestra en la Tabla 4, también lo realizan en horario de 6:00 – 8:00 de la mañana con una participación del 39% considerando que el vehículo recolector recorre más en la mañana, el 10% lo realiza en horas de la noche y solo el 9% lo realiza en horas de la tarde.

¿Usted, al momento de depositar los residuos sólidos, más o menos que cantidad encuentra de ocupación encuentra en el contenedor?

Tabla 5 Cantidad de residuos que encuentran los usuarios en el contenedor

Cantidad		Número de personas	Porcentaje de participación (%)
Vacío (0 %)		6	2
Casi vacío (25 %)		37	10
Medio (50 %)		85	22
Casi lleno (75 %)		120	31

Lleno o más (+100 %)		134	35
TOTAL		382	100

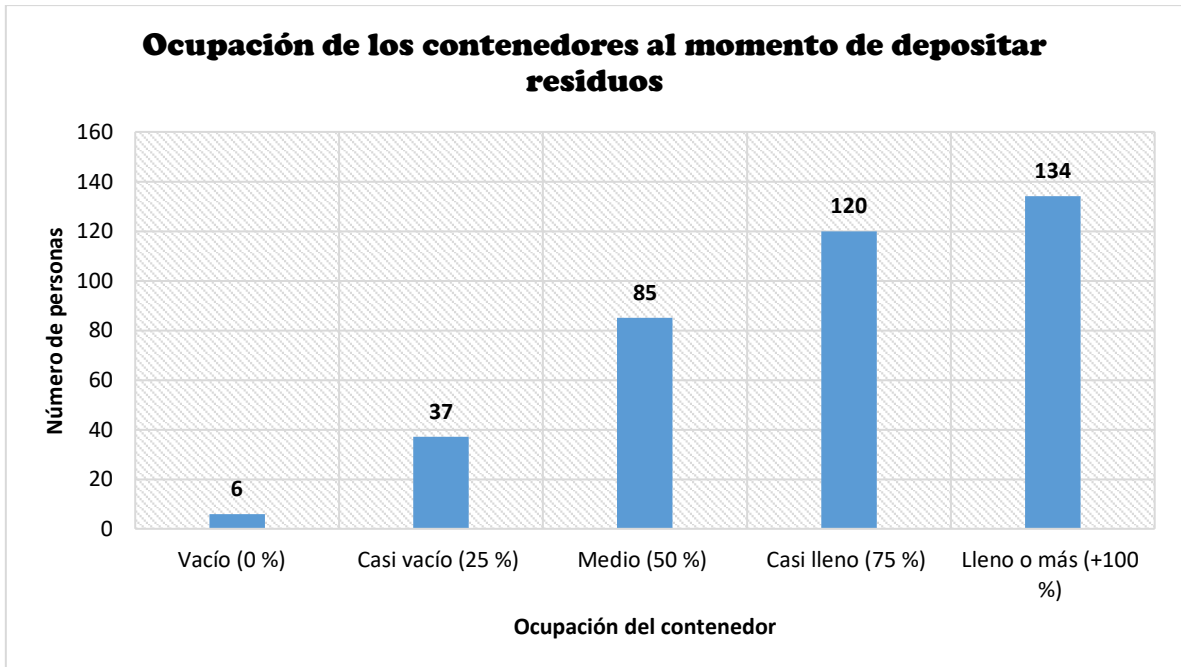


Figura 5 Ocupación de los contenedores al momento de depositar residuos

Según la Figura 5 de las 382 personas, 134 de ellas encuentran al contenedor lleno o saturado con un porcentaje de participación del 35% como se observa en la Tabla 5, 120 personas lo encuentran casi lleno al contenedor con un porcentaje del 31%, debido a que la mayor parte de personas depositan los residuos diariamente, 85 de ellas lo encuentran en una cantidad media representando el 22%, 37 personas lo encuentran casi vacío con el 10% y 6 personas lo encuentran vacío solo con el 2% de participación, Es decir que existe muy poca probabilidad de encontrar un contenedor sin ningún desperdicio.

4.1.2. Dimensionamiento del problema con criterios VRP

Para el cumplimiento del segundo objetivo que es dimensionamiento del problema con base en los criterios VRP (Vehicle Routing Problem) se ha tomado en cuenta a los siguientes:

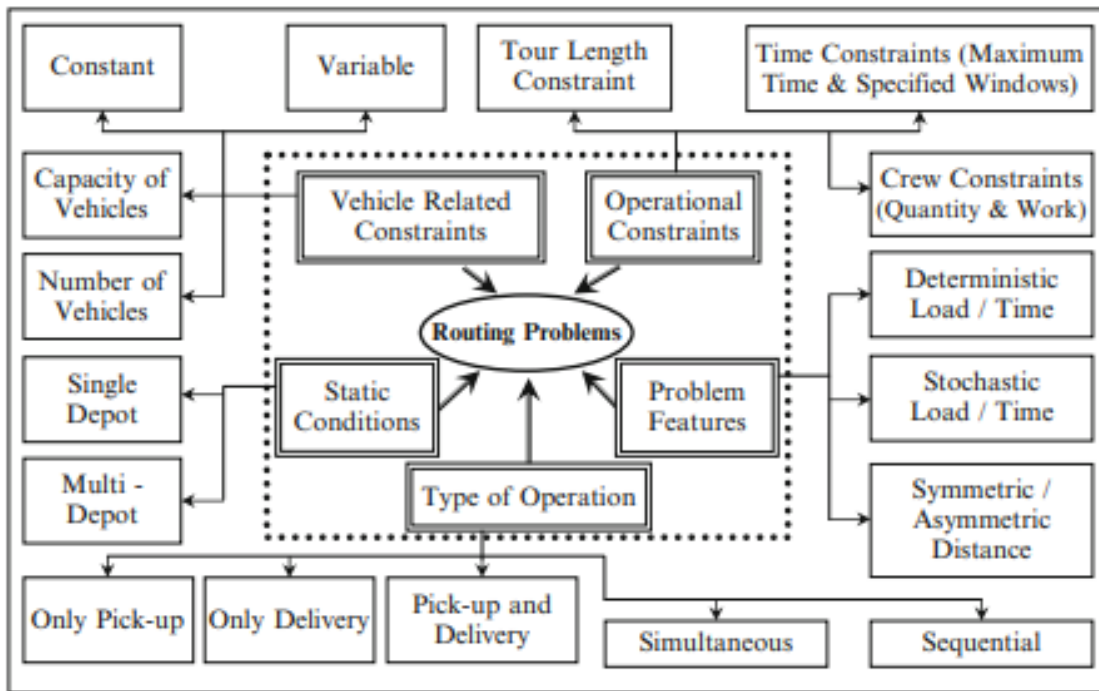


Figura 6 Cuadro de criterios VRP

Fuente: Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014).

En la Figura 6 se muestran los criterios para resolver un VRP en el servicio de recolección de residuos que constan de: el primero se refiere a las restricciones relacionadas con los vehículos, a cómo identificar la capacidad y el número de vehículos que conforman parte de este servicio. El segundo criterio se relaciona a las condiciones estáticas, dentro de éste se debe identificar el tipo de depósito con el que cuenta el servicio, puede ser un solo depósito o varios depósitos, es decir se refiere al lugar desde donde parten los vehículos recolectores. El tercer criterio se relaciona con el tipo de operación, en el que se debe analizar si se encarga de sólo recogida, solo entrega o recogida y entrega, en este caso la operación realizada es de recogida y entrega. El cuarto criterio consiste en identificar las características del problema, si es determinístico, estocástico y simétrico o asimétrico. Y finalmente el último criterio consiste en identificar las restricciones operativas del sistema, como restricciones de distancia, tiempo y tripulación.

Los criterios VRP en el servicio de recolección de residuos sólidos son los siguientes:

Tabla 6 Criterios VRP en el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores

Restricciones relacionadas con los vehículos:		VRP para el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores	Restricciones operativas:		
Capacidad de los vehículos: 9, 9.5 y 10 toneladas.	Número de vehículos: El GAD de Tulcán cuenta con 3 Vehículos Recolectores.		Restricción de la duración del recorrido: El recorrido para realizar el servicio de recolección inicia a las 6 de la mañana y termina 2 de la tarde.	Restricciones de tiempo: Al realizar el recorrido no existe un horario específico que muestre la hora que se va a recoger cada contenedor.	Restricciones de la tripulación: En cada vehículo recolector existe 1 conductor y 2 encargados en realizar la operación de recogida de residuos.
Condiciones estáticas:		Tipo de operación:	Características del problema:		
Depósito único: El GAD de Tulcán cuenta con un centro de distribución del que parten los vehículos recolectores a realizar el recorrido.			Estocástico: Es un modelo estocástico debido a que no conocen la cantidad exacta de desechos que se generan diarios, además tampoco conocen la distancia exacta que recorren durante el inicio y fin de la ruta.		
		Recogida y entrega: El servicio de recolección se lo realiza empezando desde la recogida de los residuos en los contenedores hasta el depósito final en el relleno sanitario.			

Además de los criterios VRP, se debe analizar los requisitos adecuados para la generación de rutas:

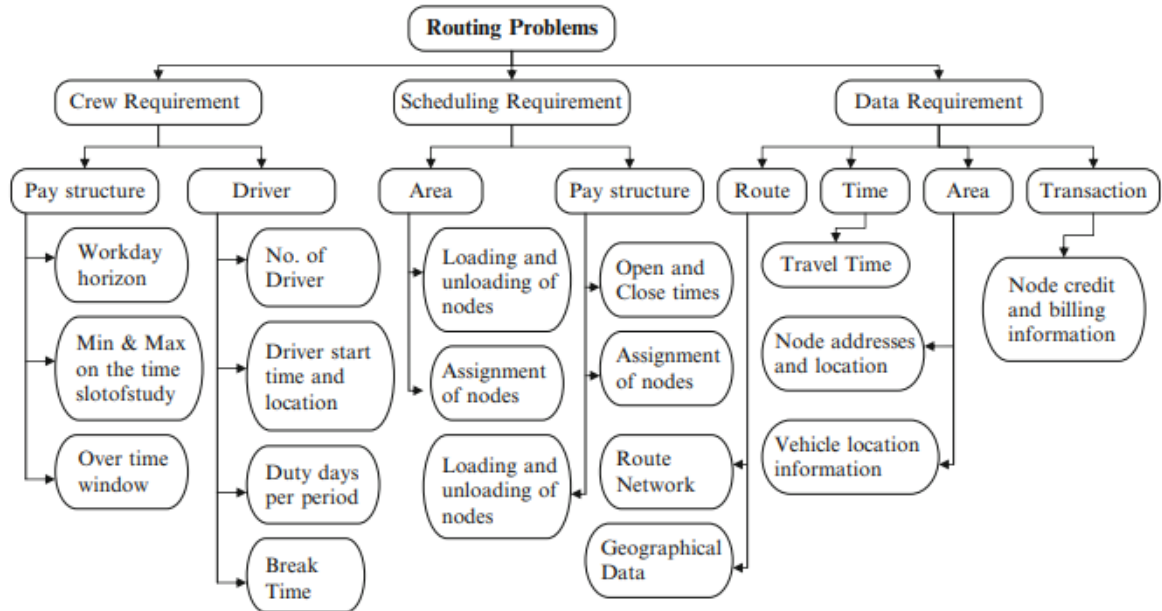


Figura 7 Requisitos para generación de rutas

Fuente: Anbuudayasankar, Ganesh, y Mohapatra (2014).

Para poder generar las nuevas rutas que optimicen y garanticen una mejor prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán, se encuestó a los trabajadores del GAD Municipal, con el objetivo de conocer cómo es actualmente el manejo del servicio de recolección que prestan a los ciudadanos, con ello se registró la información de los vehículos, de los conductores y los contenedores. Además, cómo son las rutas actualmente, para poder analizar parámetros de distancias, tiempos y costos.

En la Tabla 7, se detallan los requisitos que tiene el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores, con respecto al problema de enrutamiento vehicular para proceder al diseño de las nuevas rutas.

Tabla 7 Requisitos para generación de rutas en el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores

Requisitos para la generación de rutas en el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores en la ciudad de Tulcán							
Requisitos de tripulación		Requisitos de programación		Requisitos de datos			
Estructura de pago	Chofer	Área	Estructura de pago	Ruta	Tiempo	Área	Transacción
<p>Jornada laboral: Inicia 6 de la mañana y termina 2 de la tarde.</p> <p>Duración del recorrido: Se realiza la recolección a un tiempo máximo de 5 a 6 horas.</p>	<p>Chofer: Existen 3 encargados de conducir.</p>	<p>Carga y descarga: La carga inicia al momento de realizar la recolección de residuos por cada contenedor y la descarga finaliza cuando se despacha los residuos en el relleno sanitario.</p>	<p>El pago que se realiza a los conductores es de 590 dólares y el pago a los operadores que son encargados de recoger los residuos es de 525 dólares.</p>	<p>Ruta: Actualmente existen 5 sectores a los cuales se diseñarán las rutas óptimas.</p>	<p>Tiempo de la ruta: Se determinará una vez obtenida la ruta en el programa ArcGIS.</p>	<p>Ubicación de nodos: Coordenadas de cada contenedor.</p>	<p>Direcciones de nodos: La ubicación de cada contenedor se encuentra en el programa ArcGIS con su respectiva latitud y longitud.</p>
	<p>Hora y lugar de inicio: El conductor inicia a las 6 de la mañana en el lugar de salida ubicado en la Av. Brasil y Maldonado hasta dirigirse al sector designado a realizar la recolección.</p>	<p>Asignación de nodos: Cada vehículo recolector tiene su sector específico de recolección, el vehículo 1 se encarga de la zona 3 y 4, el</p>				<p>Ubicación del vehículo: Su punto de salida inicia en la Av. Brasil y Maldonado, para luego recorrer en la zona asignada.</p>	
	<p>Días de trabajo: Lunes a domingo</p>						
	<p>Tiempo de descanso:</p>						

Finalización del recorrido. vehículo 2 de la zona 1 y 5, y el vehículo 3 de la zona 2.

Una vez determinados los requisitos para generar el diseño de las nuevas rutas óptimas que garanticen un mejor manejo de recolección de residuos sólidos por contenedores, se procedió a ingresar los datos en el programa ArcGIS, las ubicaciones de los contenedores, la ubicación del punto de salida de los vehículos recolectores y la ubicación del relleno sanitario en donde son depositados los residuos.

Las rutas se diseñaron de acuerdo a la disposición de contenedores que existen en la ciudad de Tulcán, cabe recalcar que cuando se realizó una encuesta al Municipio ya se conocía que dos zonas de la ciudad no disponen de contenedores, para lo cual se propuso ubicar contenedores ficticios para que el servicio de recolección de residuos sólidos abarque a toda la ciudad mediante el método de recolección por contenedores.

4.1.2.1. Ubicación de contenedores reales

El Municipio de Tulcán ha ubicado 495 contenedores en tres zonas de la ciudad de Tulcán, para obtener información de las ubicaciones de cada uno de ellos, se realizó una visita al sitio y mediante la observación y el uso de la aplicación móvil (Latitude – Longitude) se logró obtener las coordenadas.

4.1.2.2. Ubicación de contenedores ficticios

Para la ubicación de contenedores ficticios específicamente en la zona norte y sur, se realizó mediante un promedio de residuos que podrían generarse en cada barrio de las dos zonas, también se consideró la facilidad y comodidad de los usuarios para que tengan acceso al depósito de residuos.

Además, con el uso de la aplicación (Latitude – Longitude) se logró obtener información de las coordenadas de cada contenedor ficticio.

Según el dato brindado por el Municipio de Tulcán la zona norte y la zona sur no disponen de contenedores, con ello se identificó los nombres de los barrios en las dos zonas, luego de ello se realizó un conteo de viviendas en cada barrio para determinar la cantidad promedio de residuos que se generarían en cada uno de ellos. Para esto primero se consideró un promedio de cuántos kilogramos de residuos generaría una persona, que según el municipio de Tulcán

fue de 0,65 kg, y para obtener el promedio de residuos que serían generados en una vivienda que según el municipio son 5 personas que habitan una vivienda, obteniendo un promedio de residuos por vivienda de 3,25 kilogramos.

$$\text{Promedio de residuos por vivienda (kg)} = \text{Promedio residuos por persona (kg)} * 5 \text{ personas}$$

Tabla 8 Promedio kg por vivienda

Promedio residuos por persona (Kg)	Promedio residuos por vivienda (Kg)
0,65 kg	3,25 kg

Para obtener el promedio de kilogramos de residuos que se generarían en cada barrio se usó la siguiente fórmula

$$\text{Prom. de residuos en (kg)por barrio} = \text{Prom. residuos por vivienda (Kg)} * \text{Nº de viviendas}$$

Una vez obtenido el promedio de residuos en kilogramos por barrio, bajo el criterio de la facilidad y comodidad de los usuarios se ubicaron los contenedores para que así puedan ir a depositar sus residuos de manera rápida y sin ningún problema.

En la tabla 9 se describen los barrios en cada zona, el número de viviendas, el promedio en kilogramos de residuos generados en cada barrio, y el número de contenedores ubicados con su respectiva latitud y longitud.

Tabla 9 Determinación y ubicación de contenedores ficticios en la zona norte y sur de Tulcán.

BARRIOS SIN CONTENEDORES	Nº VIVIENDAS POR BARRIO	PROM. EN KG DE RESIDUOS POR BARRIO	Nº DE CONTENEDORES	CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (KG)	LATITUD	LONGITUD
Los Álamos	96	312	2	156,00	0,82396	-77,70456
				156,00	0,825	-77,70514
Los Laureles	114	370,5	2	185,25	0,82589	-77,70306
				185,25	0,82579	-77,70386
Clemente Guerrón	98	318,5	4	79,63	0,82632	-77,69778
				79,63	0,82592	-77,69764
				79,63	0,82623	-77,69687

BARRIOS SIN CONTENEDORES	Nº VIVIENDAS POR BARRIO	PROM. EN KG DE RESIDUOS POR BARRIO	Nº DE CONTENEDORES	CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (KG)	LATITUD	LONGITUD
				79,63	0,82782	-77,69825
La Esperanza	97	315,25	2	157,63	0,8285	-77,69754
				157,63	0,83011	-77,699
Cdla. Pulman Carchi	45	146,25	3	48,75	0,82692	-77,69438
				48,75	0,82551	-77,69431
				48,75	0,82758	-77,69506
Ejido Norte	102	331,5	1	331,50	0,823107	-77,684317
Fátima	80	260	2	130,00	0,82519	-77,68963
				130,00	0,82462	-77,68794
Mira Flores	100	325	2	162,50	0,82582	-77,69061
				162,50	0,82603	-77,69133
Los Capulíes	28	91	1	91,00	0,8268	-77,69283
Los Tulipanes	110	357,5	2	178,75	0,82726	-77,70106
				178,75	0,82845	-77,70168
Unión y progreso	118	383,5	2	191,75	0,82748	-77,70025
				191,75	0,82813	-77,70027
	102	331,5	4	82,88	0,82773	-77,70368
La Rioja				82,88	0,82846	-77,70264
				82,88	0,82896	-77,70342
				82,88	0,82827	-77,7042
	140	455	5	91,00	0,82849	-77,70507
				91,00	0,82871	-77,70579
Carchi				91,00	0,82982	-77,70581
				91,00	0,82826	-77,70654
				91,00	0,82815	-77,70687
	118	383,5	6	63,92	0,82698	-77,70368
				63,92	0,82621	-77,0587
10 de Mayo				63,92	0,8264	-77,7048
				63,92	0,82659	-77,70449
				63,92	0,82725	-77,70527
				63,92	0,8272	-77,70598
	106	344,5	4	86,13	0,83036	-77,70541
Los Ceibos				86,13	0,83203	-77,70512
				86,13	0,8321	-77,70457
				86,13	0,83163	-77,7036
Los Municipales	70	227,5	2	113,75	0,83206	-77,70316
				113,75	0,83215	-77,70429
Los Sauces	84	273	1	273,00	0,82904	-77,70461
	86	279,5	5	55,90	0,82648	77,70787
				55,90	0,82675	-77,70878
San Luis				55,90	0,82729	-77,70866
				55,90	0,8284	-77,70838
				55,90	0,82713	-77,7077

BARRIOS SIN CONTENEDORES	Nº VIVIENDAS POR BARRIO	PROM. EN KG DE RESIDUOS POR BARRIO	Nº DE CONTENEDORES	CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (KG)	LATITUD	LONGITUD
San Carlos	163	529,75	9	58,86	0,82573	-77,953
				58,86	0,82497	-77,70963
				58,86	0,8246	-77,70846
				58,86	0,82526	-77,70868
				58,86	0,82583	-77,71052
				58,86	0,82632	-77,712
				58,86	0,82711	-77,71169
				58,86	0,82688	-77,71072
				58,86	0,82677	-77,7098
San Francisco	128	416	9	46,22	0,82882	-77,71142
				46,22	0,8298	-77,71253
				46,22	0,82971	-77,71337
				46,22	0,8286	-77,71314
				46,22	0,82759	-77,71161
				46,22	0,82915	-77,71196
				46,22	0,83088	-77,71151
				46,22	0,83199	-77,71112
				46,22	0,83137	-77,71252
Padre Carlos	164	533	6	66,63	0,83066	-77,71483
				66,63	0,83167	-77,71488
				66,63	0,83203	-77,71494
				66,63	0,83282	-77,71532
				66,63	0,83196	-77,71566
				66,63	0,83104	-77,71581
Sector Hospital			2	66,63	0,83061	-77,71052
				66,63	0,83184	-77,70964
Padre Ponce	114	370,5	3	123,50	0,83283	-77,7113
				123,50	0,83462	-77,71023
				123,50	0,83557	-77,71035
5 de Febrero	118	383,5	3	127,83	0,83735	-77,70875
				127,83	0,83695	-77,70828
				127,83	0,83759	-77,70768
Los Comuneros	134	435,5	3	145,17	0,83826	-77,70844
				145,17	0,83906	-77,70872
				145,17	0,84054	-77,70888
Cuatro Esquinas	82	266,5	2	133,25	0,8365	-77,70631
				133,25	0,82546	-77,70797
Los Pastos	57	185,25	1	185,25	0,83627	-77,70382
El Seminario	48	156	2	78,00	0,79748	-77,73493
				78,00	0,79746	-77,73678
Vivienda Popular	197	640,25	7	80,03	0,799538	-77,73825
				80,03	0,7977	-77,74014
				80,03	0,79806	-77,74106

BARRIOS SIN CONTENEDORES	Nº VIVIENDAS POR BARRIO	PROM. EN KG DE RESIDUOS POR BARRIO	Nº DE CONTENEDORES	CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (KG)	LATITUD	LONGITUD
				80,03	0,7995	-77,74019
				80,03	0,79935	-77,74118
				80,03	0,80014	-77,74137
				80,03	0,79867	-77,742
	95	308,75	4	77,19	0,79738	-77,74113
				77,19	0,79782	-77,74195
Cdla. Divino Niño				77,19	0,79676	-77,74102
				77,19	0,79656	-77,73982
	120	390	6	55,71	0,79656	-77,73982
				55,71	0,79625	-77,73668
Jesús del Gran Poder				55,71	0,79531	-77,73799
				55,71	0,79680	-77,73881
				55,71	0,79721	-77,73765
				55,71	0,79569	-77,73919
	105	341,25	2	170,63	0,78796	-77,74373
La Pradera				170,63	0,78601	-77,7441
	64	208	3	69,33	0,79001	-77,7435
El Portal				69,33	0,79045	-77,74465
				69,33	0,79206	-77,74402
	50	162,5	2	81,25	0,79285	-77,74144
La Victoria				81,25	0,79212	-77,74222
	66	214,5	1	214,50	0,79255	-77,7429
7 de Julio				147	0,78454	-77,7439
		477,75	4	95,55	0,78441	-77,74543
Nuevo Amanecer				95,55	0,78344	-77,74613
				95,55	0,7832	-77,74575
	45	146,25	2	73,13	0,78046	-77,74349
Las Juntas				73,13	0,7801	-77,74353
	28	91	2	45,50	0,77604	-77,74178
Obelisco				45,50	0,7762	-77,74076
	139	451,75	3	150,58	0,78183	-77,74251
Cdla. Atahualpa				150,58	0,78301	-77,74216
				150,58	0,78348	-77,74348
	135	438,75	4	109,69	0,7854	-77,74383
Patronato				109,69	0,78602	-77,74352
				109,69	0,78603	-77,74275
				109,69	0,78619	-77,74212
	25	81,25	3	27,08	0,78745	-77,74397
Av. Veintimilla				27,08	0,79059	-77,74282
				27,08	0,79261	-77,74123
Nuevo Amanecer 2	56	182	1	182,00	0,78884	-77,74365
Barrio Cuartel	194	630,5	8	78,81	0,79244	-77,74037
				78,81	0,79316	-77,7391

BARRIOS SIN CONTENEDORES	Nº VIVIENDAS POR BARRIO	PROM. EN KG DE RESIDUOS POR BARRIO	Nº DE CONTENEDORES	CAPACIDAD DEL CONTENEDOR (KG)	LATITUD	LONGITUD
				78,81	0,79351	-77,73833
				78,81	0,79387	-77,73645
				78,81	0,79287	-77,73765
				78,81	0,79264	-77,73839
				78,81	0,79341	-77,74053
				78,81	0,79438	-77,73906
	189	614,25	7	68,25	0,79409	-77,73755
				68,25	0,7948	-77,73634
				68,25	0,79574	-77,73526
Cdla. 19 de Noviembre				68,25	0,74649	-77,73444
				68,25	0,79536	-77,73353
				68,25	0,79553	-77,73713
				68,25	0,79703	-77,7351
Jardines del este	75	243,75	1	243,75	0,78383	-77,74001
	65	211,25	3	70,42	0,78812	-77,73985
Panamericana – Antinarcóticos				70,42	0,78952	-77,7385
				70,42	0,79033	-77,73609
TOTAL CONTENEDORES FICTICIOS			154	14615,25		

Se determinó que 154 contenedores ficticios serán ubicados en las dos zonas, de modo que las rutas simuladas sean diseñadas de acuerdo a la disposición de contenedores en todas las zonas y así brindar un servicio de recolección de residuos de manera equitativa a todos los habitantes de la ciudad de Tulcán.

4.1.2.3. Información de la ubicación de contenedores en el programa ArcGIS

Se cargó la información en el programa ArcGIS, de la ubicación de cada contenedor real y ficticio, con su respectiva latitud y longitud, la capacidad, un factor para determinar la capacidad real, una etiqueta identificativa para cada contenedor y el tiempo de demora en recoger, jalarlo y engancharlo al vehículo recolector.

Para poder determinar la capacidad real que podría tener un contenedor de residuos en kilogramos, se tomó en cuenta que un contenedor tiene la capacidad de soportar hasta 450 kilogramos. La ocupación real se estableció aplicando un factor de cantidad de desechos considerando los lugares donde se generan pocos o muchos residuos. El factor de 0.09, 0.15 y

0.12 se consideró para los lugares que no siempre tienen llenos los contenedores, el factor de 1 se consideró para los contenedores que están ubicados cerca de instituciones, áreas comerciales o mercados donde se generan grandes cantidades de desechos.

Para el cálculo del tiempo promedio de demora en recoger, jalar y enganchar el contenedor al vehículo recolector, se realizó la observación a 20 contenedores que fueron recogidos por los operadores.

Tabla 10 Tiempo de enganche en contenedores al azar

Tiempo en que los contenedores eran enganchados al vehículo recolector				Tiempo promedio de enganche del contenedor
1	1 min 33 seg	11	1 min 37 seg	
2	1 min 29 seg	12	1 min 34 seg	
3	1 min 36 seg	13	1 min 36seg	
4	1 min 38 seg	14	1 min 28 seg	
5	1 min 26 seg	15	1 min 37 seg	
6	1 min 35 seg	16	1 min 32 seg	1 min 33 seg
7	1 min 33 seg	17	1 min 26 seg	
8	1 min 29 seg	18	1 min 31 seg	
9	1 min 33 seg	19	1 min 37 seg	
10	1 min 29 seg	20	1 min 33 seg	
TOTAL			30 min 52 seg	

Se obtuvo que el tiempo de demora es de un minuto con treinta y tres segundos (1,55 minutos). Este tiempo servirá para determinar cuánto se demorará cada vehículo recolector en recoger cada contenedor durante el recorrido de cada zona de la ciudad.

Tabla 11 Tiempo de enganche del contenedor en minutos

Minutos	Segundos	Tiempo real en min
----------------	-----------------	---------------------------

1 min	60 seg	1,55
X	1 min33 seg → 93 seg	

4.1.2.3.1. Información de la ubicación de contenedores reales.

OBJECTID *	Shape *	LATITUD	LONGITUD	CAPACIDAD	fact	capac real	NOMBRE CONT R	TIEMPO MIN
2	Point	0,811918	-77,716785	450	0,15	67,5	CONT_R_02	1,55
3	Point	0,812795	-77,715331	450	0,15	67,5	CONT_R_03	1,55
4	Point	0,814971	-77,719031	450	0,15	67,5	CONT_R_04	1,55
5	Point	0,799891	-77,727011	450	0,09	40,5	CONT_R_05	1,55
6	Point	0,820607	-77,709204	450	0,15	67,5	CONT_R_06	1,55
7	Point	0,803286	-77,719158	450	0,12	45	CONT_R_07	1,55
8	Point	0,821021	-77,712221	450	0,15	67,5	CONT_R_08	1,55
9	Point	0,808104	-77,730859	450	0,12	45	CONT_R_09	1,55
10	Point	0,800711	-77,730719	450	0,09	40,5	CONT_R_10	1,55
11	Point	0,795983	-77,733212	450	0,09	40,5	CONT_R_11	1,55
12	Point	0,821737	-77,709816	450	0,15	67,5	CONT_R_12	1,55
13	Point	0,805572	-77,718666	450	0,12	45	CONT_R_13	1,55
14	Point	0,799322	-77,726579	450	0,09	40,5	CONT_R_14	1,55
15	Point	0,796797	-77,732126	450	0,09	40,5	CONT_R_15	1,55
16	Point	0,821251	-77,705686	450	0,15	67,5	CONT_R_16	1,55
17	Point	0,811917	-77,717601	450	0,15	67,5	CONT_R_17	1,55
18	Point	0,80839	-77,720984	450	0,12	45	CONT_R_18	1,55
19	Point	0,809017	-77,72962	450	0,12	45	CONT_R_19	1,55
20	Point	0,803234	-77,728988	450	0,12	45	CONT_R_20	1,55
21	Point	0,797191	-77,72463	450	0,12	45	CONT_R_21	1,55
22	Point	0,819306	-77,709733	450	0,15	67,5	CONT_R_22	1,55
23	Point	0,819589	-77,705577	450	0,15	67,5	CONT_R_23	1,55
24	Point	0,814747	-77,715799	450	1	450	CONT_R_24	1,55
25	Point	0,803286	-77,732004	450	0,09	40,5	CONT_R_25	1,55
26	Point	0,812762	-77,711524	450	0,15	67,5	CONT_R_26	1,55
27	Point	0,80762	-77,724565	450	0,12	45	CONT_R_27	1,55
28	Point	0,799338	-77,730673	450	0,09	40,5	CONT_R_28	1,55
29	Point	0,797932	-77,725295	450	0,12	45	CONT_R_29	1,55

Figura 8 Información de la ubicación de contenedores reales en el programa ArcGIS

4.1.2.3.2. Información de la ubicación de contenedores ficticios

OBJECTID *	Shape *	LATITUD	LONGITUD	CAPACIDAD	fact	capc real	NOMBRE CONT F	TIEMPO MIN
1	Point	0,82396	-77,70456	156	0,8	124,8	CONT_F_01	1,55
2	Point	0,825	-77,70514	156	0,8	124,8	CONT_F_02	1,55
3	Point	0,82589	-77,70306	185	0,8	148	CONT_F_03	1,55
4	Point	0,82579	-77,70386	185	0,8	148	CONT_F_04	1,55
5	Point	0,82632	-77,69778	80	0,8	64	CONT_F_05	1,55
6	Point	0,82592	-77,69764	80	0,8	64	CONT_F_06	1,55
7	Point	0,82623	-77,69687	80	0,8	64	CONT_F_07	1,55
8	Point	0,82782	-77,69825	80	0,8	64	CONT_F_08	1,55
9	Point	0,8285	-77,69754	158	0,8	126,4	CONT_F_09	1,55
10	Point	0,83011	-77,699	158	0,8	126,4	CONT_F_10	1,55
11	Point	0,82692	-77,69438	49	0,8	39,2	CONT_F_11	1,55
12	Point	0,82551	-77,69431	49	0,8	39,2	CONT_F_12	1,55
13	Point	0,82758	-77,69506	49	0,8	39,2	CONT_F_13	1,55
14	Point	0,823107	-77,684317	332	0,8	265,6	CONT_F_14	1,55
15	Point	0,82519	-77,68963	130	0,8	104	CONT_F_15	1,55
16	Point	0,82462	-77,68794	130	0,8	104	CONT_F_16	1,55
17	Point	0,82582	-77,69061	162	0,8	129,6	CONT_F_17	1,55
18	Point	0,82603	-77,69133	162	0,8	129,6	CONT_F_18	1,55
19	Point	0,8268	-77,69283	91	0,8	72,8	CONT_F_19	1,55
20	Point	0,82726	-77,70106	179	0,8	143,2	CONT_F_20	1,55
21	Point	0,82845	-77,70168	179	0,8	143,2	CONT_F_21	1,55
22	Point	0,82748	-77,70025	192	0,8	153,6	CONT_F_22	1,55
23	Point	0,82813	-77,70027	192	0,8	153,6	CONT_F_23	1,55
24	Point	0,82773	-77,70368	83	0,8	66,4	CONT_F_24	1,55
25	Point	0,82846	-77,70264	83	0,8	66,4	CONT_F_25	1,55
26	Point	0,82896	-77,70342	83	0,8	66,4	CONT_F_26	1,55
27	Point	0,82827	-77,7042	83	0,8	66,4	CONT_F_27	1,55
28	Point	0,82849	-77,70507	91	0,8	72,8	CONT_F_28	1,55

Figura 9 Información de la ubicación de contenedores ficticios en el programa ArcGIS

La tabla 9 muestra la capacidad promedio de los contenedores ficticios en kilogramos que se generarían en cada barrio. Se dividió por número de contenedores, luego se aplicó un factor de 0.8 considerando que no todos los contenedores estarán siempre llenos, así, se obtuvo la ocupación real esperada que tendría cada contenedor ficticio.

4.1.2.5. Información de los vehículos recolectores

El GAD Municipal de Tulcán cuenta con 3 Vehículos recolectores:

Tabla 12 Información vehículo 1

Vehículo 1	
Placa:	CMA – 134
Marca:	Volkswagen
Capacidad:	Ton: 10
	Kg: 10000

Tabla 13 Información vehículo 2

Vehículo 2	
Placa:	CMA-17250
Marca:	Hino 500
Capacidad:	Ton: 9.5
	Kg: 9500

Tabla 14 Información vehículo 3

Vehículo 3	
Placa:	CMA-1024
Marca:	Hino 500
Capacidad:	Ton: 9
	Kg: 9000

La asignación de zonas en las que deberían realizar la recolección de residuos los vehículos recolectores, se determinó de acuerdo a la capacidad que tiene cada vehículo. El vehículo 1 cubrirá la zona centro y centro sur, el vehículo 2 cubrirá la zona norte y sur, y el vehículo 3 cubrirá la zona centro norte.

4.1.2.6. Costos para determinar el costo por kilómetro recorrido en viaje.

Para el análisis de costos diarios de las rutas se tomó en cuenta los costos fijos, costos de mantenimiento y costos extras, con los que cuenta el servicio de recolección de residuos sólidos de la siguiente manera:

Tabla 15 Datos generales con respecto a costos

DATOS GENERALES	
Tipo de vehículo:	HINO 500 GH
Flota vehicular	3
Sueldo 1 chofer y 2 operadores	1640

4.1.2.6.1. Costos fijos

Para determinar el costo fijo se consideró a los sueldos, horas extras, equipos de protección y otros gastos que son generados en un solo vehículo recolector, mediante información obtenida por el Municipio de Tulcán se logró conocer aquellos valores con respecto a estos costos, obteniendo un costo fijo de 19,58 dólares.

Tabla 16 Costos Fijos

COSTOS FIJOS				
NOMBRE	COSTO ANUAL \$	MES \$	COSTO DIARIO \$	COSTO POR VEHÍCULO \$
Sueldos y prestaciones sociales	19680,00	1640,00	54,67	18,22
Horas extras	960,00	80,00	2,67	0,89
Equipo de protección	426,00	35,50	1,18	0,39
Otros gastos	90,00	7,50	0,25	0,08
TOTAL COSTOS FIJOS				19,58

4.1.2.6.2. Costos de mantenimiento

Para determinar el costo de mantenimiento de un solo vehículo recolector se consideró a la operación y mantenimiento, lubricantes y llantas del vehículo, el costo de cada uno de ellos y cuántos kilómetros de duración soporta cada uno, con ello determinando un costo de mantenimiento por kilómetro de 0,04 centavos.

Tabla 17 Costos de mantenimiento

COSTOS DE MANTENIMIENTO						
NOMBRE	COSTO POR VEHÍCULO	KM DE DURACIÓN	DE FLOTA VEHICULAR	CANTIDAD POR VEHÍCULO	COSTO POR KM \$	
Operación y mantenimiento	175	80000	3	1	0,00219	

Lubricantes	250	30000	3	1	0,00833
Llantas	450	70000	12	6	0,03857
TOTAL COSTOS DE MANTENIMIENTO					0,04909

4.1.2.6.3. Costos extras

Para determinar el costo extra o consumo de combustible, según Carga Pesada (2013) un camión Hino 500 con un galón de Diesel recorre 11 kilómetros. Y según El Comercio (2021) el precio del galón del Diesel es de 1,90 dólares.

Tabla 18 Costos extras (Costo de consumo de combustible)

COSTOS EXTRAS			
NOMBRE	COSTO POR GALÓN \$	KILOMETROS RECORRIDOS POR GALÓN	COSTO POR KM
Diesel	1,90	11	0,17
TOTAL COSTO EXTRA			0,17

El costo total por kilómetro recorrido en la ruta es de 0,21 centavos, entre el costo de mantenimiento y el costo extra. Y el costo fijo es de 19,58 dólares por ruta diaria.

4.1.3. Diseño de las rutas de recolección en la ciudad de Tulcán.

Para el cumplimiento del tercer objetivo que es el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos por contenedores, se lo realizó tomando en cuenta las zonas en las que se divide la ciudad de Tulcán.

4.1.3.1. Zonas de recolección.

La ciudad de Tulcán según Casco y Punina (2019) tiene una superficie de 13 km² con una población de 102395 personas. Se encuentra dividida en cinco zonas a las que se presta el servicio de recolección de residuos sólidos.

ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE TULCÁN

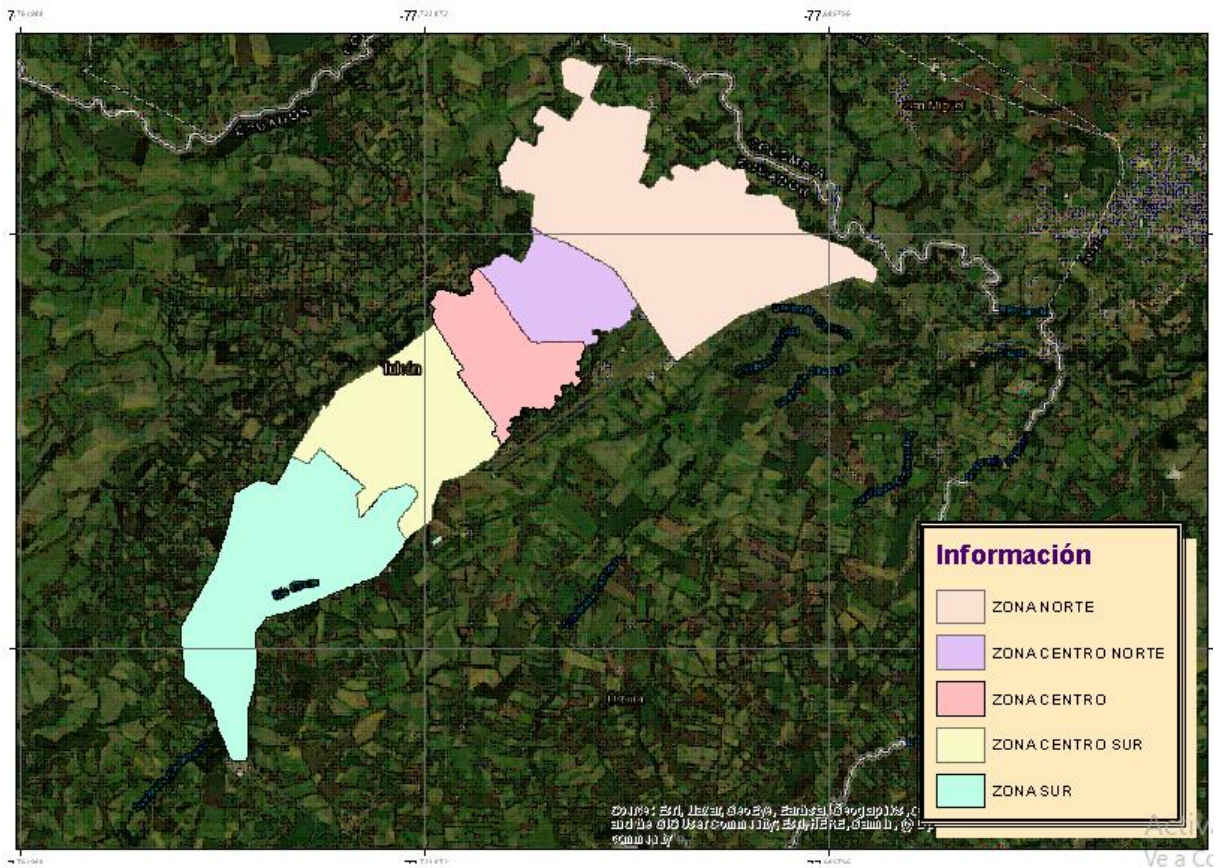


Figura 10 Zonificación de la ciudad de Tulcán

Las zonas de recolección se han dividido como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19 Dirección de las zonas de Tulcán

ZONAS	NOMBRE DE LAS ZONAS	UBICACIÓN DE LAS ZONAS
Zona 1	Zona Norte	Av. Argentina – Rumichaca
Zona 2	Zona Centro – Norte	Av. Argentina – Av. Panamá
Zona 3	Zona Centro	Av. Panamá – Av. Nueve de Octubre
Zona 4	Zona Centro – Sur	Av. Nueve de Octubre – Av. Universitaria
Zona 5	Zona Sur	Av. Universitaria – Obelisco

Actualmente la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos se la realiza por las zonas en las que está dividida la ciudad, de acuerdo a la disposición de contenedores que se encuentran ubicados en cada una de ellas. Cabe recalcar que dos zonas no cuentan con la disposición de contenedores por lo que, para estas, se propuso la ubicación de contenedores ficticios.

UBICACIONES DE CONTENEDORES REALES Y FICTICIOS

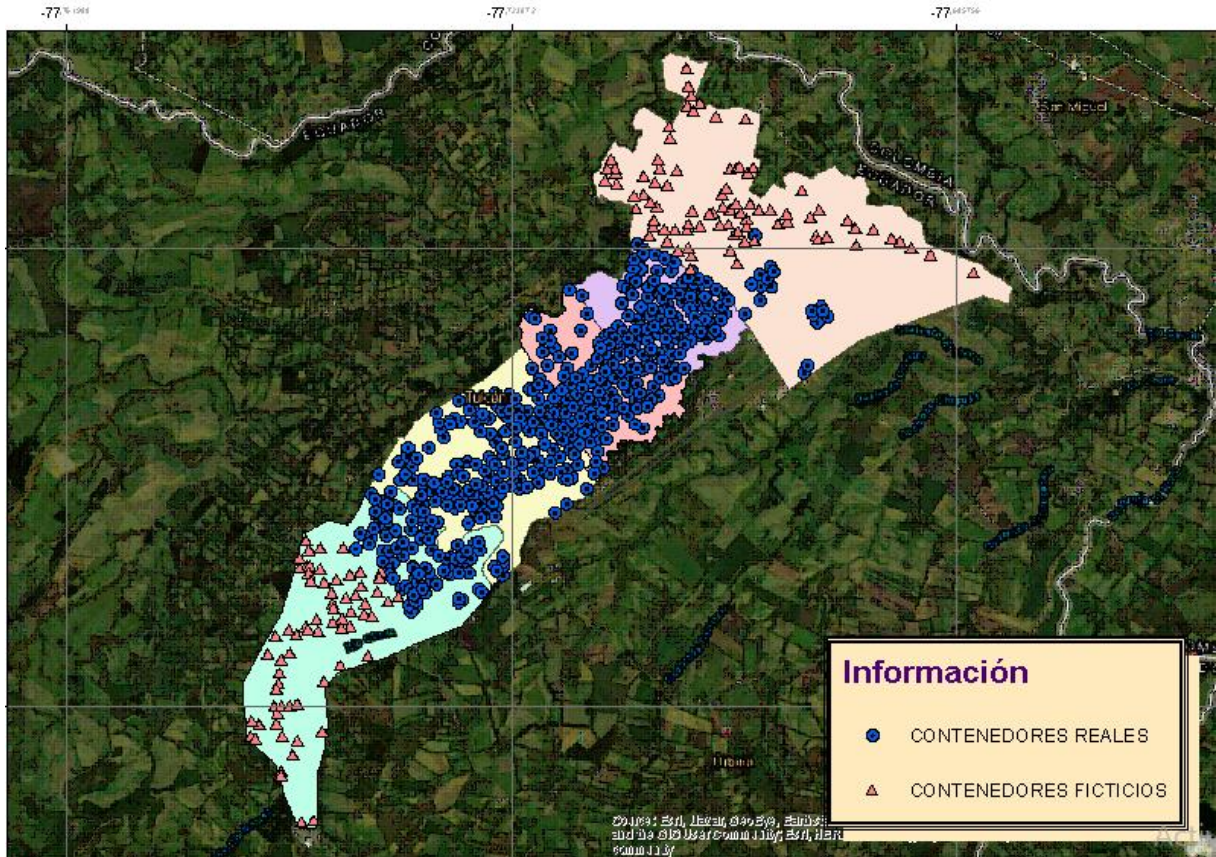


Figura 11 Ubicaciones de contenedores reales y ficticios

Para poder realizar el diseño de las rutas en cada una de las zonas, se determinaron 649 contenedores, de los cuales 495 contenedores son reales y están ubicados en tres zonas, específicamente en la zona centro norte, centro y centro sur, y 154 contenedores ficticios ubicados en la zona norte y sur.

4.1.3.2. Información de nodos

En la figura 12 se encuentra la ubicación de todos los contenedores reales y ficticios, el punto de salida de los vehículos recolectores y finalmente la ubicación del relleno sanitario, en donde son depositados los residuos recolectados en las rutas.

INFORMACIÓN DE LOS NODOS

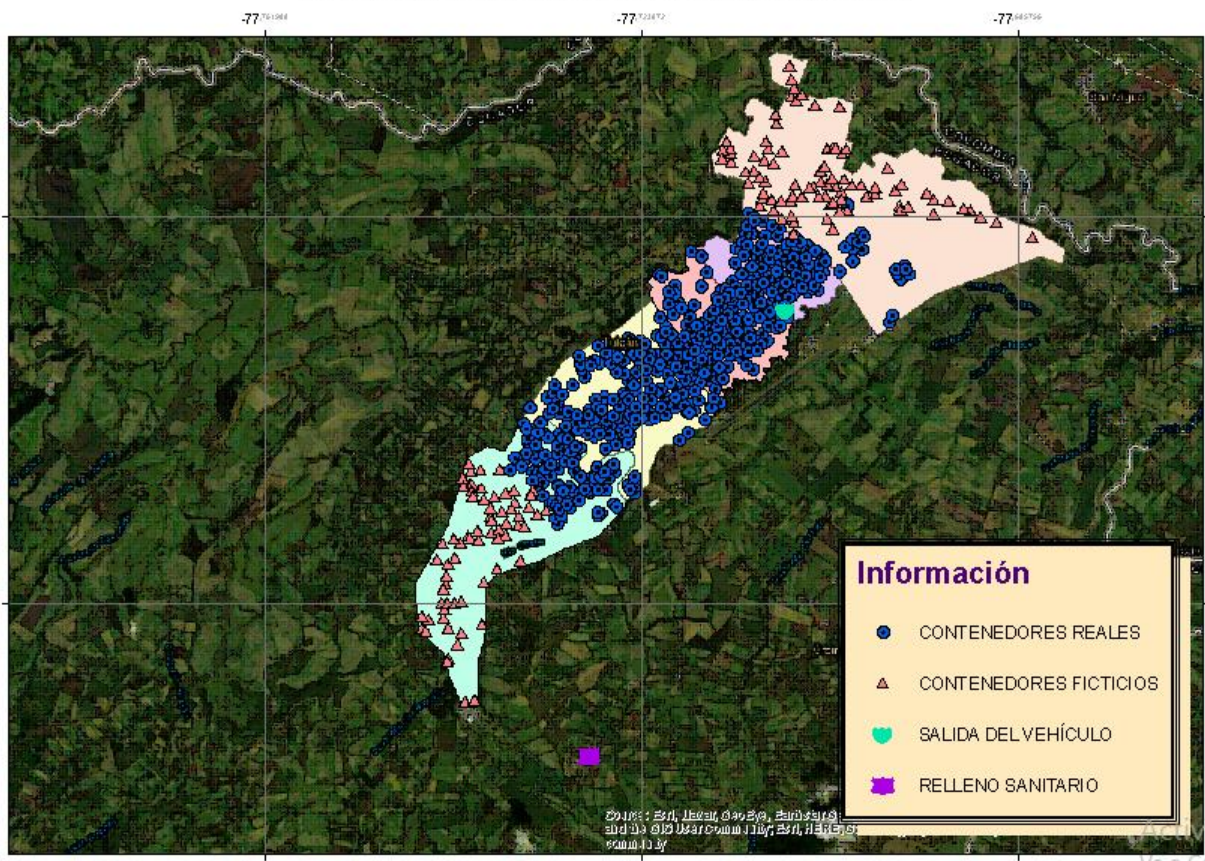


Figura 12 Información de las ubicaciones de los nodos

Tabla 20 Información de nodos

Ubicaciones	Cantidad
Contenedores reales	495
Contenedores ficticios	154
Puntos de salida del vehículo recolector	1
Rellenos sanitario o vertederos	1

4.1.3.3. Rutas actuales en cada zona de la ciudad de Tulcán.

Actualmente el GAD Municipal no tiene establecidas rutas específicas para la recolección de residuos sólidos por contenedores, es decir maneja rutas anteriores basadas en recolección por el método de acera.

Para determinar el costo total en cada ruta se tomó en cuenta el costo de mantenimiento y el costo extra, determinados por los kilómetros recorridos, y el costo fijo de cada ruta. Se lo realizó según la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por recorrido} = (\text{Costo mantenimiento} + \text{Costo extra}) * \text{Distancia (km)} + \text{Costos fijos}$$

4.1.3.3.1. Ruta actual Zona Norte: (Rumichaca – Av. Argentina)

Esta ruta inicia en la Av. Argentina y termina en Rumichaca, tiene una jornada laboral de lunes a domingo, con un horario que inicia a las 6 de la mañana. El vehículo asignado a esta zona deberá cubrir con la recolección de residuos sólidos de todos los contenedores ubicados en ella, para luego proceder a depositarlos al relleno sanitario.

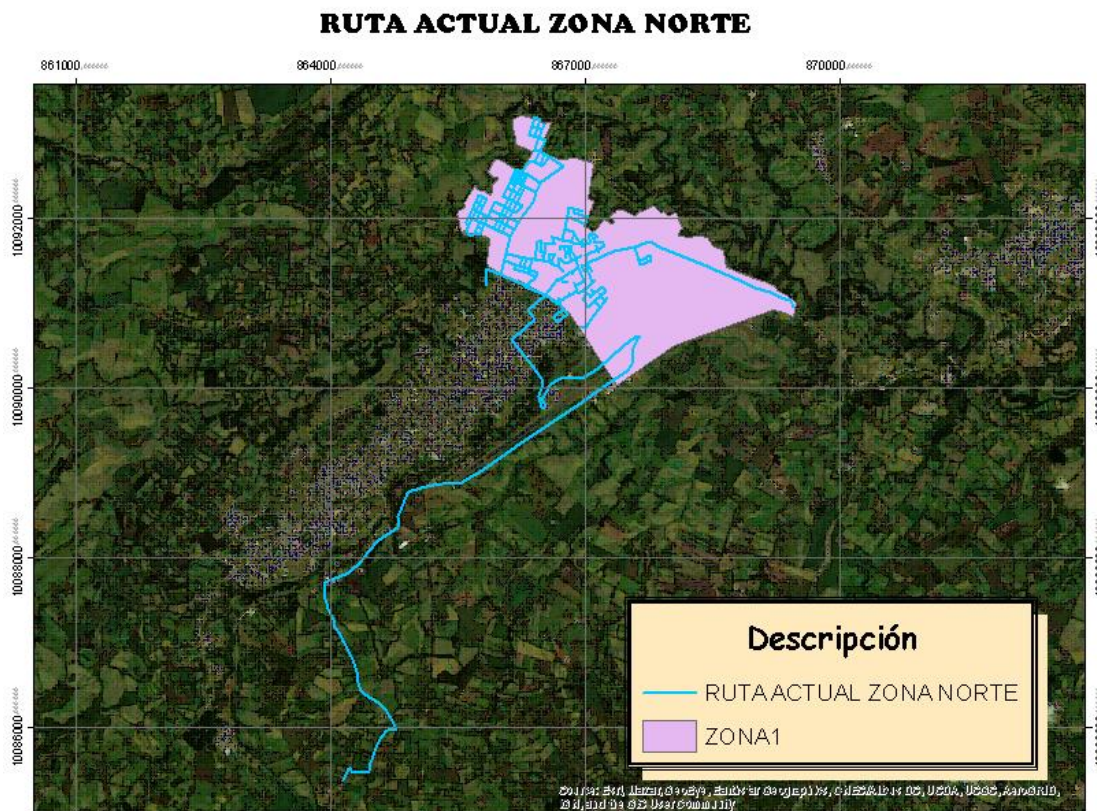


Figura 13 Ruta actual zona norte

La distancia que se recorre actualmente en la trayectoria de la zona norte es de 44,86 km. Cubre un área de 4,98 km², en un tiempo de 3:27:44 desde el momento que inicia el recorrido hasta

finalizar en el depósito de los residuos sólidos en el relleno sanitario. También se tomó en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo durante el recorrido, quien manifestó que se demora 5:00:00, debido a las partes donde la recolección se realiza por el método de acera, y cuando las personas salen a dejar los residuos justo en el momento que el vehículo recolector está pasando por las viviendas. Por otra parte, el costo en esta ruta es de 29,00 dólares.

Tabla 21 Información de la ruta actual zona norte

RUTA ACTUAL ZONA NORTE	
Jornada:	Lunes a domingo
Horario:	6:00 am - 14:00 pm
Distancia:	44,86 km
Área:	4,98 km ²
Tiempo del recorrido:	3:27:44 ArcGIS 5:00:00 Conductor
Costo por recorrido:	\$ 29,00

4.1.3.3.2. Ruta actual Zona Centro Norte: (Av. Argentina – Av. Panamá)

El recorrido de esta ruta inicia en la Av. Argentina y termina en la Av. Panamá, tienen una jornada laboral de lunes a domingo, teniendo en cuenta que existe la disposición de tres vehículos encargados de la recolección. Esta zona inicia una vez finalizada la recolección de residuos en la zona norte, luego se procede con la recolección en la zona centro norte y finalmente se trasladan los residuos al relleno sanitario.

RUTA ACTUAL ZONA CENTRO NORTE

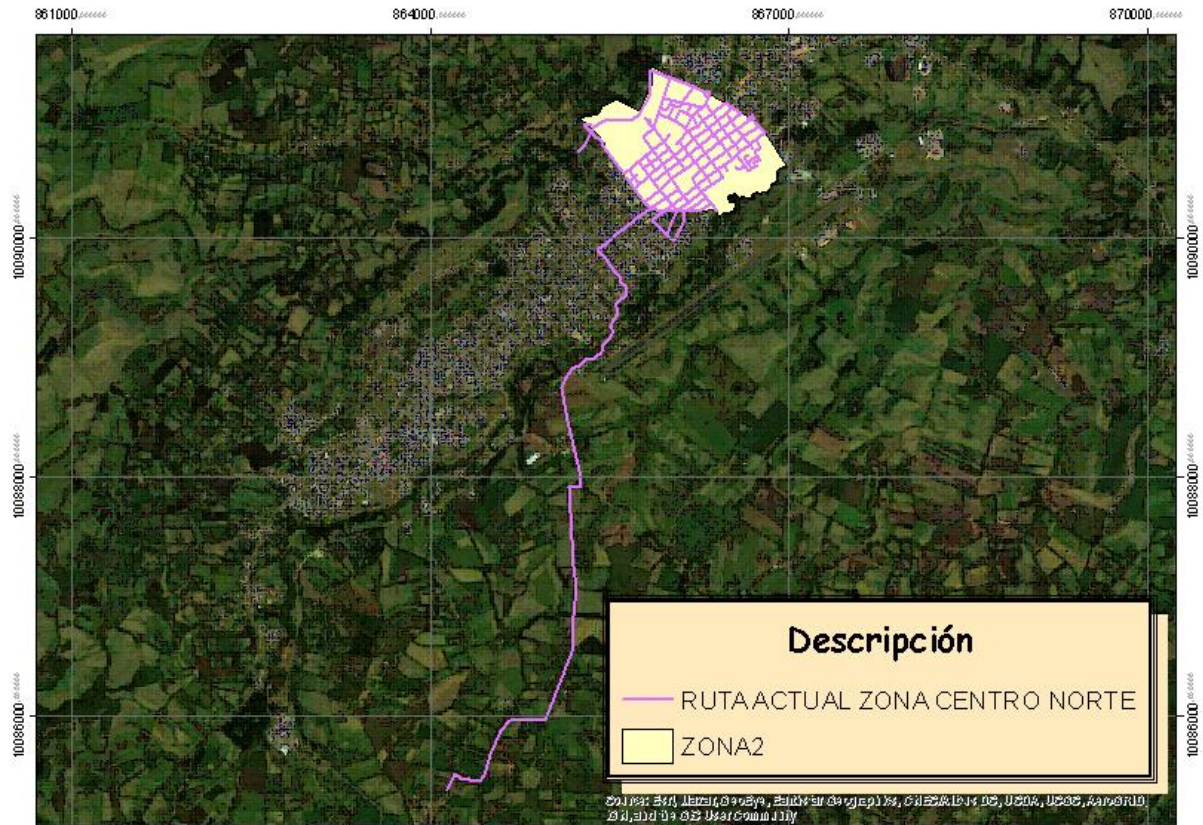


Figura 14 Ruta actual zona centro norte

La distancia que se recorre en la ruta de la zona centro norte es de 35,99 km. Cubre un área de 1,21 km², con un tiempo de circulación de 4:47:52 desde el momento que inicia el recorrido hasta finalizar con el depósito de los residuos sólidos al relleno sanitario. También se consideró el criterio del conductor con respecto al tiempo de demora en el recorrido de esta ruta que es de 4:30:00. Por otra parte, el costo de esta ruta es de 27,14 dólares.

Tabla 22 Información de la ruta actual zona centro norte

RUTA ACTUAL ZONA CENTRO NORTE	
Jornada:	Lunes a domingo
Horario:	Finalización zona norte
Distancia:	35,99 km
Área:	1,21 km ²
Tiempo del recorrido:	4:47:52 ArcGIS 4:30:00 Conductor

Costo por recorrido:	\$ 27,14
----------------------	----------

4.1.3.3.3. Ruta actual Zona Centro (Av. Panamá – Av. Nueve de Octubre)

El recorrido de la ruta inicia en la Av. Panamá hasta finalizar por la Av. Nueve de Octubre, con una jornada laboral de lunes a domingo, en horario de 6 de la mañana hasta terminar con la recolección de residuos por esta zona, para luego ir a depositarlos al relleno sanitario.

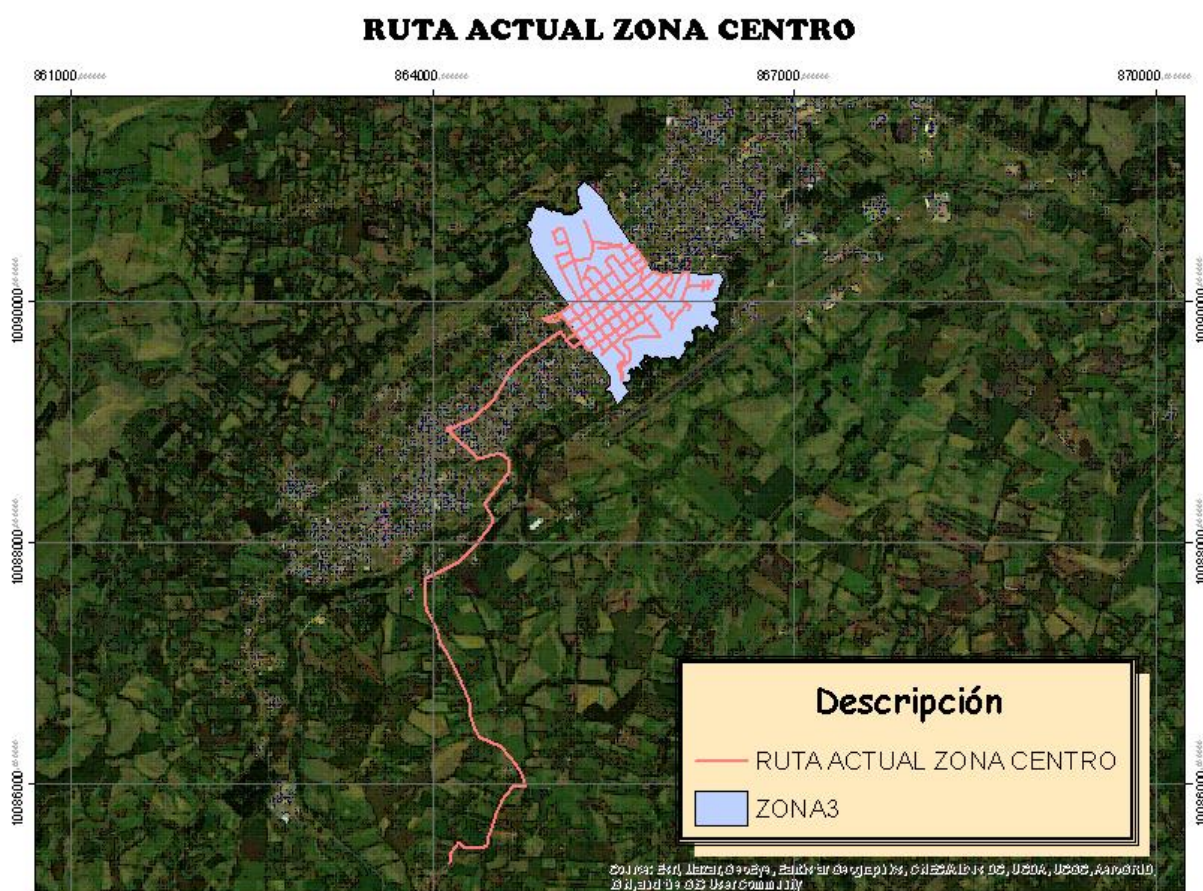


Figura 15 Ruta actual zona centro

La distancia que se recorre en la zona centro es de 28,91 km. Cubre un área de 1,34 km², con un tiempo transcurrido de 3:44:52 desde el momento que inicia el recorrido hasta finalizar en el depósito de residuos en el relleno sanitario. También se tomó en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo de demora durante el recorrido que fue 4:00:00. Por otra parte, el costo de esta ruta es de 25,65 dólares.

Tabla 23 Información de la ruta actual zona centro

RUTA ACTUAL ZONA CENTRO	
Jornada:	Lunes a domingo
Horario:	6:00 am – 14:00 pm
Distancia:	28,91 km
Área:	1,34 km ²
Tiempo del recorrido:	3:44:52 ArcGIS 4:00:00 Conductor
Costo por recorrido:	\$ 25,65

4.1.3.3.4. Ruta actual Zona Centro Sur (Av. Nueve de Octubre – Av. Universitaria)

La ruta centro sur inicia en la Av. Nueve de Octubre hasta finalizar por la Av. Universitaria, con una jornada laboral de lunes a domingo. Una vez se ha finalizado con la recolección de residuos en la zona centro, se procede a iniciar con la recolección en la zona centro sur.

4.1.3.3.5. Ruta actual Zona Sur (Av. Universitaria – Obelisco)

La ruta sur inicia desde la Av. Universitaria hasta finalizar en el sector del Obelisco, con una jornada laboral de lunes a domingo, en horario de 6 de la mañana hasta finalizar con la recolección de todos los residuos generados en esta zona, se observa que unos caminos sobresalen a la zona, la razón es porque al vehículo recolector le resulta conveniente ir a recoger los residuos a este barrio ya que su ruta va por la Av. Julio Robles y le queda fácil cruzar. Es decir, evita recorrer a este barrio en la ruta de la zona centro sur por lo que tiene que recorrer más distancia.

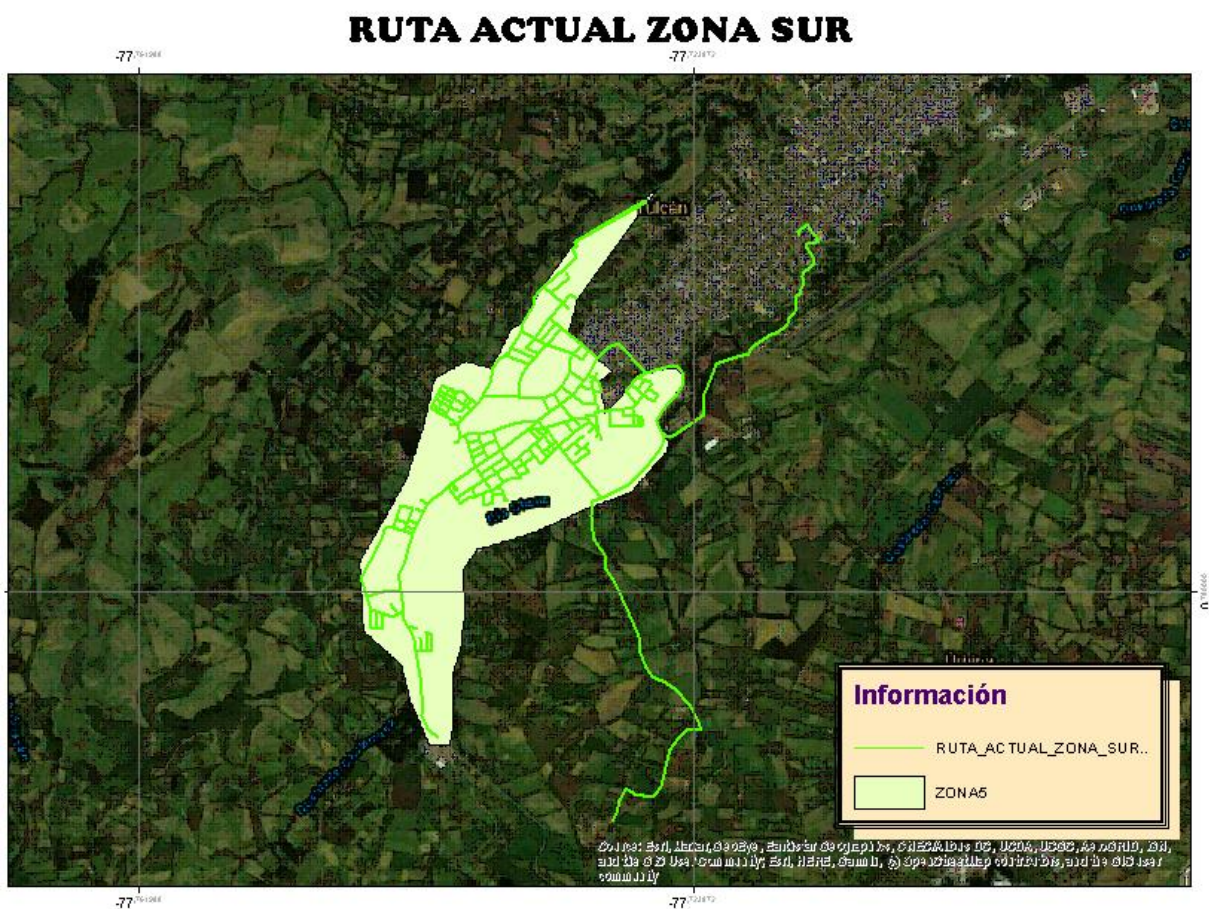


Figura 17 Ruta actual de la zona sur

La distancia recorrida en la zona sur es de 39,23 km. Cubre un área de 3,31 km², con un tiempo de 5:42:56, desde el momento que inicia la recolección hasta ir a depositar los residuos sólidos en el relleno sanitario. También se consideró el criterio del conductor en cuanto al tiempo de recorrido en esta ruta que fue de 6:10:00. Por otra parte, el costo en esta ruta es de 27,81 dólares.

Tabla 25 Información de la ruta actual zona sur

RUTA ACTUAL ZONA SUR	
Jornada:	Lunes a domingo
Horario:	6:00 am – 14:00 pm
Distancia:	39,23 km
Área:	3,31 km ²
Tiempo del recorrido:	5:42:56 ArcGIS 6:10:00 Conductor
Costo por recorrido:	\$ 27,81

4.1.3.4. Rutas simuladas en cada zona de la ciudad de Tulcán.

El servicio de recolección de residuos sólidos se lo realiza por el método de contenedores a tres zonas de la ciudad de Tulcán, específicamente a la zona centro norte, centro y centro sur. En las zonas norte y sur se realiza la recolección por el método de acera, por lo que se propuso ubicar contenedores ficticios en las dos zonas, logrando así brindar la mejor prestación del servicio de recolección de residuos sólidos a los habitantes de la ciudad de Tulcán.

El servicio de recolección de residuos sólidos se realiza por zonas, por lo que, para determinar la ruta óptima en cada una de ellas, se ha asignado un vehículo recolector de acuerdo a las capacidades que tiene cada uno, de 9, 9.5 y 10 toneladas. Cada vehículo cubrirá con la demanda de desechos que son depositados en los contenedores.

Para la simulación de rutas se ha tomado en cuenta al punto de salida de los vehículos recolectores ubicado en la Av. Brasil y Maldonado, hasta finalizar en el relleno sanitario en el que son descargados los residuos, ubicado por el Sur de Tulcán en el sector de la Palizada.

Mediante el uso de la herramienta ArcGIS, se ha logrado obtener las nuevas rutas en cada zona, con base en modelos de Vehicle Routing Problem (VRP), el cual ha determinado las mejores rutas en cuanto a tiempo, costo y distancia con respecto al servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores en la ciudad de Tulcán.

En la figura 18 se muestra la simulación de las rutas óptimas en cada zona, con base VRP y el uso de ArcGIS, con respecto al servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores.

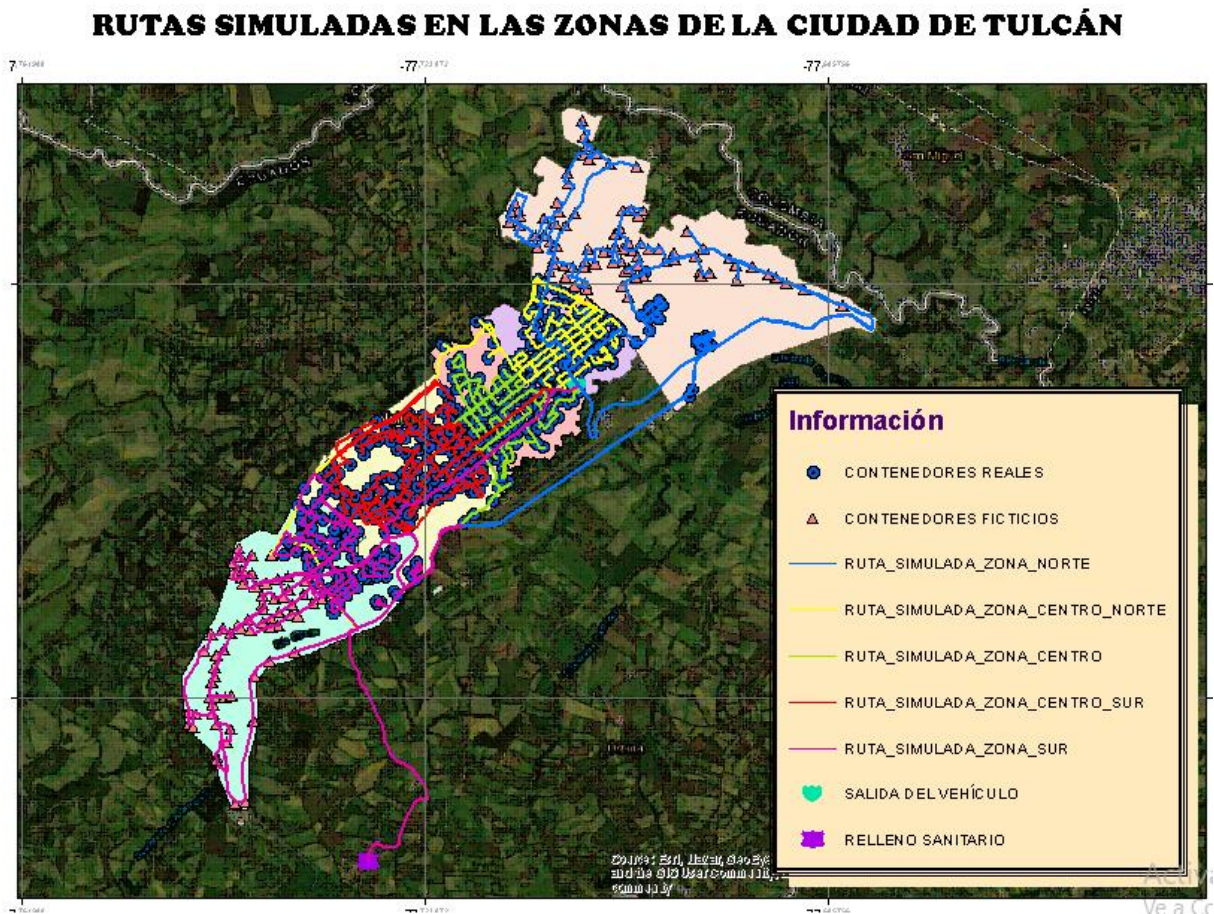


Figura 18 Rutas simuladas para la recolección de residuos sólidos

4.1.3.4.1. Ruta simulada Zona Norte (Rumichaca – Av. Argentina)

Para la generación de la ruta en la zona norte, se asignó al vehículo recolector de 9.5 toneladas, para que pueda abastecer a la cantidad promedio de residuos sólidos que tendría cada contenedor ficticio y real.

RUTA ÓPTIMA EN ZONA NORTE

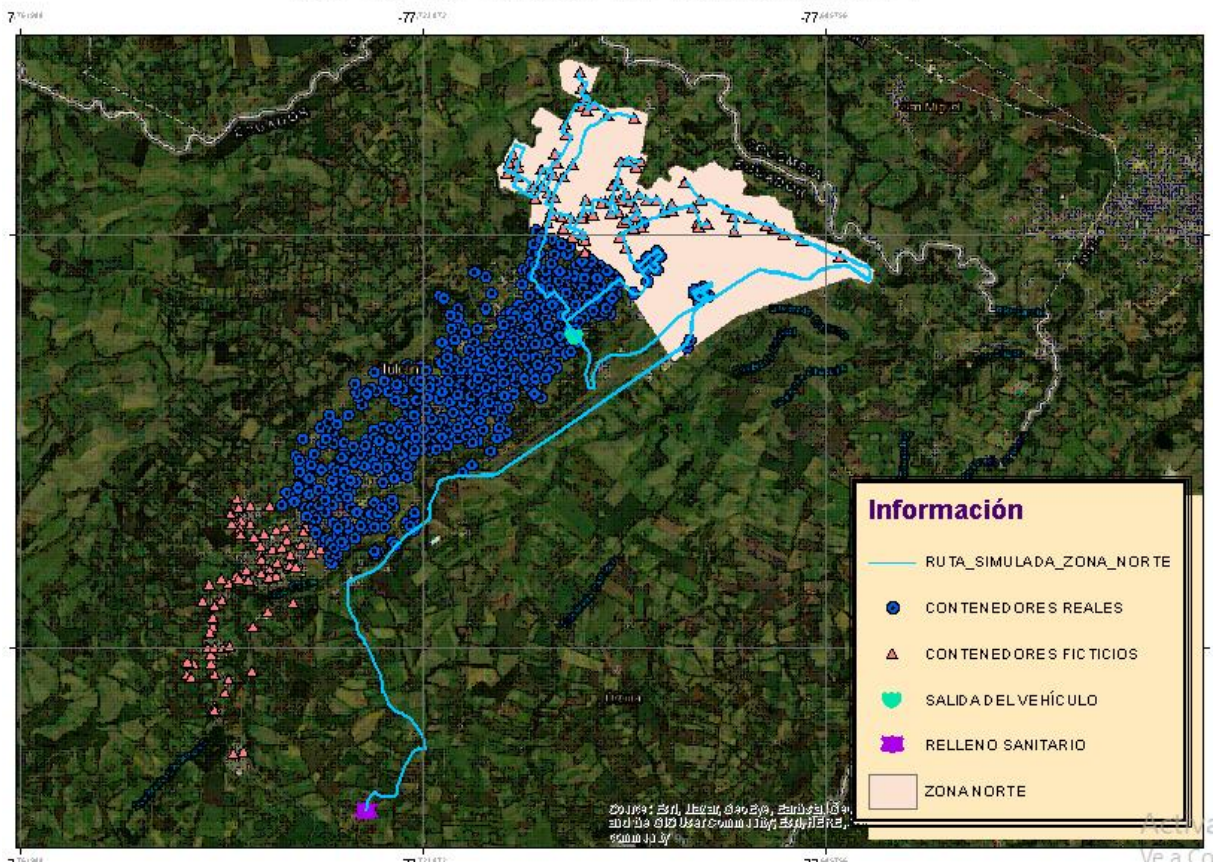


Figura 19 Ruta simulada zona norte

Los resultados se muestran en la Tabla 26:

Tabla 26 Información ruta simulada zona norte

RUTA SIMULADA ZONA NORTE	
Distancia km:	46,94 km
Tiempo	4:39:58
Costo por recorrido	\$ 28,03

En la Tabla 27 se observa que la nueva ruta simulada tiene mayor costo, tiempo y distancia con respecto a la actual, debido a que se recogen contenedores ficticios que son ubicados por facilidad y comodidad de los usuarios, que no existen en las rutas reales; de esta manera se genera más distancia. La ruta simulada a diferencia de la actual satisface la necesidad de brindar la recolección de residuos sólidos en toda la zona a través de contenedores.

Tabla 27 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona norte

	Ruta Actual	Ruta Simulada	Optimización
Distancia			
km:	44,86 km	46,94 km	--
Tiempo:	(Programa ArcGIS)		
	Conductor		
	3:27:44	4:39:58	--
	5:00:00		0:20:02
Costo:	\$ 29,00	\$ 29,44	--

Teniendo en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo, se observa que la ruta nueva genera una optimización de 20 minutos con dos segundos, con respecto a la ruta simulada.

Con la asignación del vehículo recolector de acuerdo a la capacidad, en la simulación de esta ruta se recogerán 103 contenedores entre contenedores reales y contenedores ficticios en la zona norte.

Tabla 28 N° de contenedores recogidos zona norte

	N° de contenedores
Contenedores reales:	19
Contenedores ficticios:	84
Total:	103

CONTENEDORES POR RECOGER ZONA NORTE

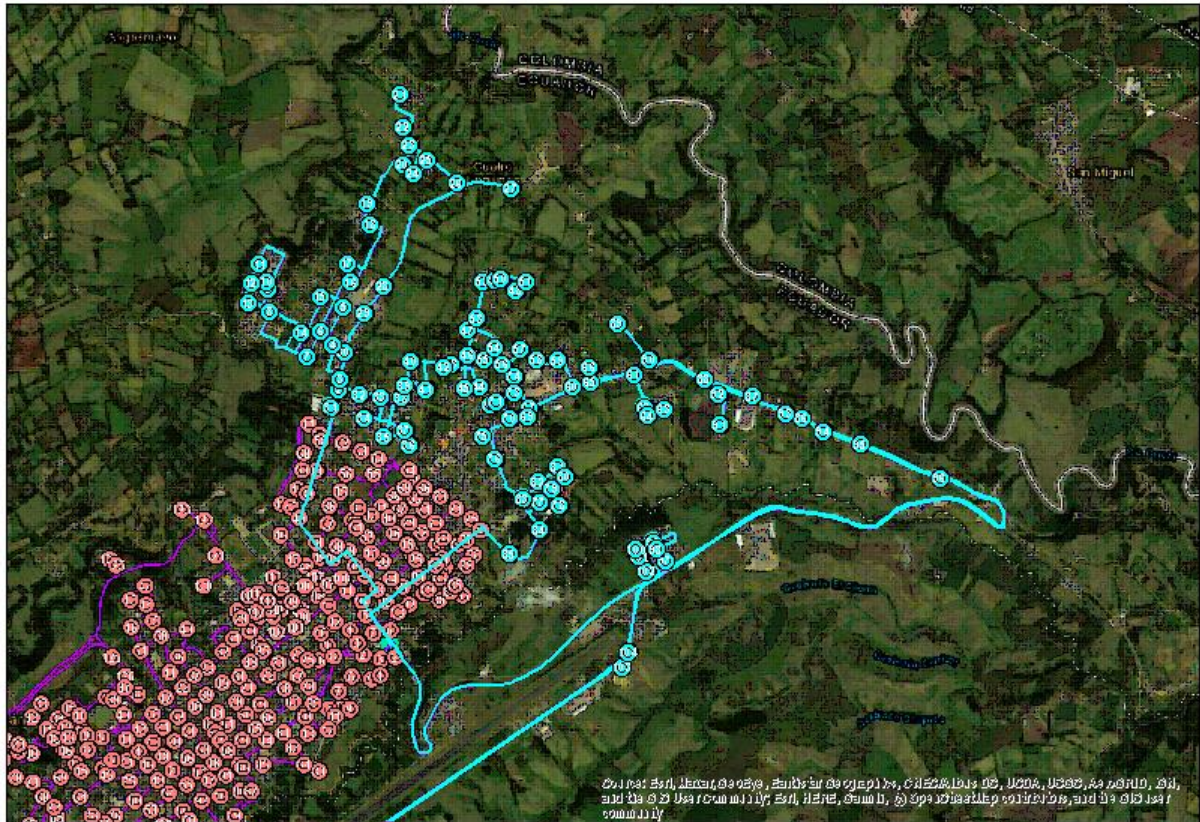


Figura 20 Contenedores por recoger en la zona norte

Los resultados de la ruta simulada indican el orden de recolección de los contenedores que se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29 Orden de contenedores por recoger en la zona norte

Orden de contenedores por recoger en la zona norte							
1	CONT_F_54	27	CONT_F_73	53	CONT_F_44	79	CONT_R_451
2	CONT_F_61	28	CONT_F_72	54	CONT_F_28	80	CONT_R_162
3	CONT_F_62	29	CONT_F_57	55	CONT_F_27	81	CONT_R_400
4	CONT_F_63	30	CONT_F_53	56	CONT_F_26	82	CONT_R_353
5	CONT_F_58	31	CONT_F_55	57	CONT_F_25	83	CONT_R_417
6	CONT_F_60	32	CONT_F_56	58	CONT_F_21	84	CONT_R_445
7	CONT_F_66	33	CONT_F_52	59	CONT_F_20	85	CONT_F_17
8	CONT_F_67	34	CONT_F_49	60	CONT_F_08	86	CONT_F_19
9	CONT_F_68	35	CONT_F_50	61	CONT_F_05	87	CONT_F_13

Orden de contenedores por recoger en la zona norte

10	CONT_F_69	36	CONT_F_51	62	CONT_F_07	88	CONT_F_10
11	CONT_F_70	37	CONT_F_45	63	CONT_F_06	89	CONT_F_09
12	CONT_F_71	38	CONT_F_46	64	CONT_F_22	90	CONT_F_12
13	CONT_F_59	39	CONT_F_47	65	CONT_F_23	91	CONT_F_11
14	CONT_F_65	40	CONT_F_48	66	CONT_R_267	92	CONT_F_18
15	CONT_F_64	41	CONT_F_32	67	CONT_R_171	93	CONT_F_15
16	CONT_F_74	42	CONT_F_31	68	CONT_F_03	94	CONT_F_16
17	CONT_F_75	43	CONT_F_36	69	CONT_F_04	95	CONT_F_14
18	CONT_F_76	44	CONT_F_37	70	CONT_F_35	96	CONT_R_194
19	CONT_F_77	45	CONT_F_29	71	CONT_F_34	97	CONT_R_432
20	CONT_F_82	46	CONT_F_30	72	CONT_F_33	98	CONT_R_272
21	CONT_F_81	47	CONT_F_41	73	CONT_F_24	99	CONT_R_424
22	CONT_F_80	48	CONT_F_40	74	CONT_F_02	100	CONT_R_285
23	CONT_F_78	49	CONT_F_43	75	CONT_F_01	101	CONT_R_187
24	CONT_F_79	50	CONT_F_42	76	CONT_R_292	102	CONT_R_277
25	CONT_F_83	51	CONT_F_39	77	CONT_R_221	103	CONT_R_425
26	CONT_F_85	52	CONT_F_38	78	CONT_R_412		

4.1.3.4.2. Ruta simulada Zona Centro Norte (Av. Argentina – Av. Panamá)

Para la generación de la ruta óptima en la zona centro norte, se asignó el vehículo recolector con capacidad de 9 toneladas, para que logre abastecer la cantidad de residuos sólidos que sean generados en esta zona.

RUTA ÓPTIMA EN ZONA CENTRO NORTE

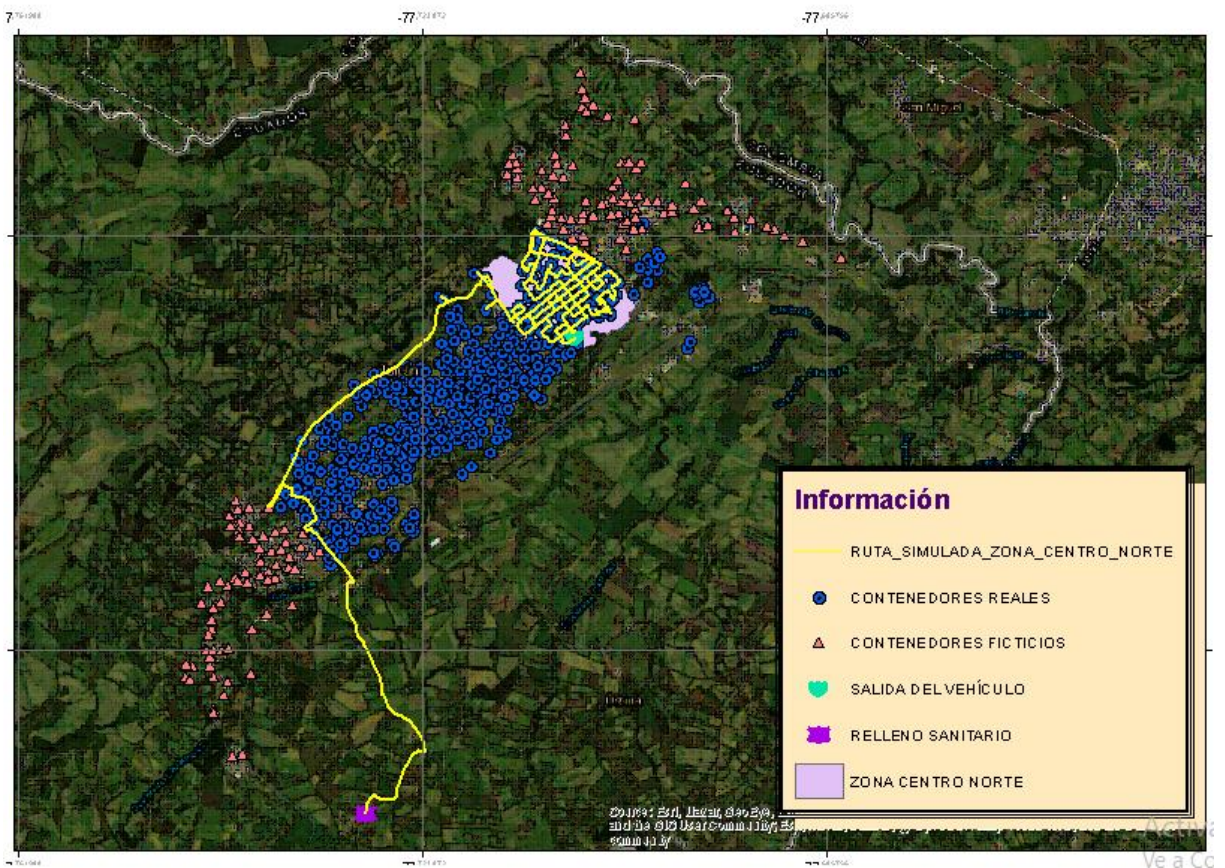


Figura 21 Ruta simulada zona centro norte

Los resultados se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30 Información de la ruta simulada zona centro norte

RUTA SIMULADA ZONA CENTRO NORTE	
Distancia km:	26,32 km
Tiempo	03:55:55
Costo por día	\$ 25,11

En la Tabla 31 se observa que la nueva ruta simulada tiene una optimización en cuanto a distancia, tiempo y costo, mejorando el servicio de recolección de residuos sólidos en esta ruta.

Tabla 31 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro norte

		Ruta Actual	Ruta Simulada	Optimización
Distancia				
km:		35,99 km	26,32 km	9,67 km
Tiempo:	(Programa ArcGIS)	4:47:52		0:51:57
	Conductor	4:30:00	03:55:55	0:34:05
Costo:		\$ 27,14	\$ 25,11	\$ 2,03

Tomando en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo de demora en esta ruta, también existe una optimización de treinta y cuatro minutos con cinco segundos, es decir que la ruta simulada resulta eficiente para esta zona.

En la simulación de esta ruta, se recogerán 124 contenedores, de los cuales uno es ficticio.

Tabla 32 N° de contenedores recogidos zona centro norte

	N° de contenedores
Contenedores reales:	123
Contenedores ficticios:	1
Total:	124

CONTENEDORES POR RECOGER ZONA CENTRO NORTE

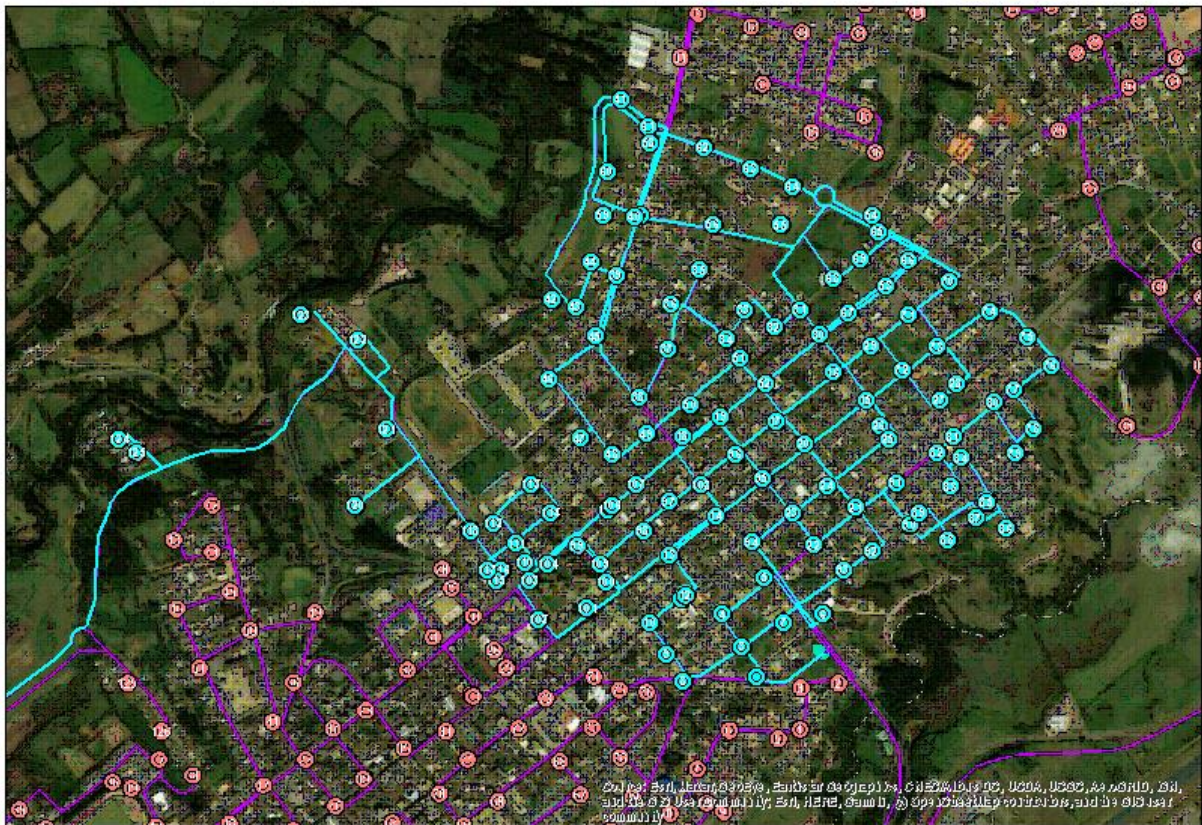


Figura 22 Contenedores por recoger en la zona centro norte

De acuerdo a la ubicación de contenedores en la ruta simulada, el orden en que se recogerán los contenedores es el indicado en la Tabla 33.

Tabla 33 Orden de contenedores por recoger en la zona centro norte

Orden de contenedores por recoger en la zona centro norte							
1	CONT_R_110	32	CONT_R_438	63	CONT_R_209	94	CONT_R_107
2	CONT_R_395	33	CONT_R_54	64	CONT_R_53	95	CONT_R_332
3	CONT_R_191	34	CONT_R_341	65	CONT_R_335	96	CONT_R_461
4	CONT_R_190	35	CONT_R_62	66	CONT_R_78	97	CONT_R_263
5	CONT_R_420	36	CONT_R_08	67	CONT_R_102	98	CONT_R_422
6	CONT_R_322	37	CONT_R_418	68	CONT_R_379	99	CONT_R_402
7	CONT_R_327	38	CONT_R_295	69	CONT_R_39	100	CONT_R_406
8	CONT_R_280	39	CONT_R_180	70	CONT_R_167	101	CONT_R_165
9	CONT_R_323	40	CONT_R_210	71	CONT_R_47	102	CONT_R_242

Orden de contenedores por recoger en la zona centro norte

10	CONT_R_477	41	CONT_R_153	72	CONT_R_357	103	CONT_R_77
11	CONT_R_478	42	CONT_R_169	73	CONT_R_172	104	CONT_R_281
12	CONT_R_375	43	CONT_R_256	74	CONT_R_16	105	CONT_R_419
13	CONT_R_135	44	CONT_R_437	75	CONT_R_396	106	CONT_R_274
14	CONT_R_359	45	CONT_R_439	76	CONT_R_276	107	CONT_R_468
15	CONT_R_06	46	CONT_R_309	77	CONT_R_23	108	CONT_R_137
16	CONT_R_343	47	CONT_R_207	78	CONT_R_392	109	CONT_R_319
17	CONT_R_298	48	CONT_R_76	79	CONT_R_84	110	CONT_R_362
18	CONT_R_235	49	CONT_R_391	80	CONT_R_211	111	CONT_R_237
19	CONT_R_22	50	CONT_R_318	81	CONT_R_381	112	CONT_R_86
20	CONT_R_195	51	CONT_R_273	82	CONT_R_185	113	CONT_R_96
21	CONT_R_48	52	CONT_R_294	83	CONT_R_70	114	CONT_R_69
22	CONT_R_333	53	CONT_F_84	84	CONT_R_308	115	CONT_R_68
23	CONT_R_421	54	CONT_R_124	85	CONT_R_136	116	CONT_R_430
24	CONT_R_378	55	CONT_R_196	86	CONT_R_275	117	CONT_R_175
25	CONT_R_260	56	CONT_R_179	87	CONT_R_30	118	CONT_R_174
26	CONT_R_160	57	CONT_R_431	88	CONT_R_447	119	CONT_R_278
27	CONT_R_339	58	CONT_R_182	89	CONT_R_213	120	CONT_R_302
28	CONT_R_299	59	CONT_R_360	90	CONT_R_385	121	CONT_R_344
29	CONT_R_200	60	CONT_R_376	91	CONT_R_312	122	CONT_R_109
30	CONT_R_12	61	CONT_R_193	92	CONT_R_398	123	CONT_R_361
31	CONT_R_370	62	CONT_R_429	93	CONT_R_469	124	CONT_R_399

4.1.3.4.3. Ruta simulada Zona Centro (Av. Panamá – Av. Nueve de Octubre)

Para la generación de la ruta óptima en la zona centro, se asignó al vehículo con capacidad de 10 toneladas, ya que es el sector donde más residuos sólidos se generan, de esta manera el vehículo asignado podrá cubrir con la recolección de residuos.

RUTA ÓPTIMA EN ZONA CENTRO

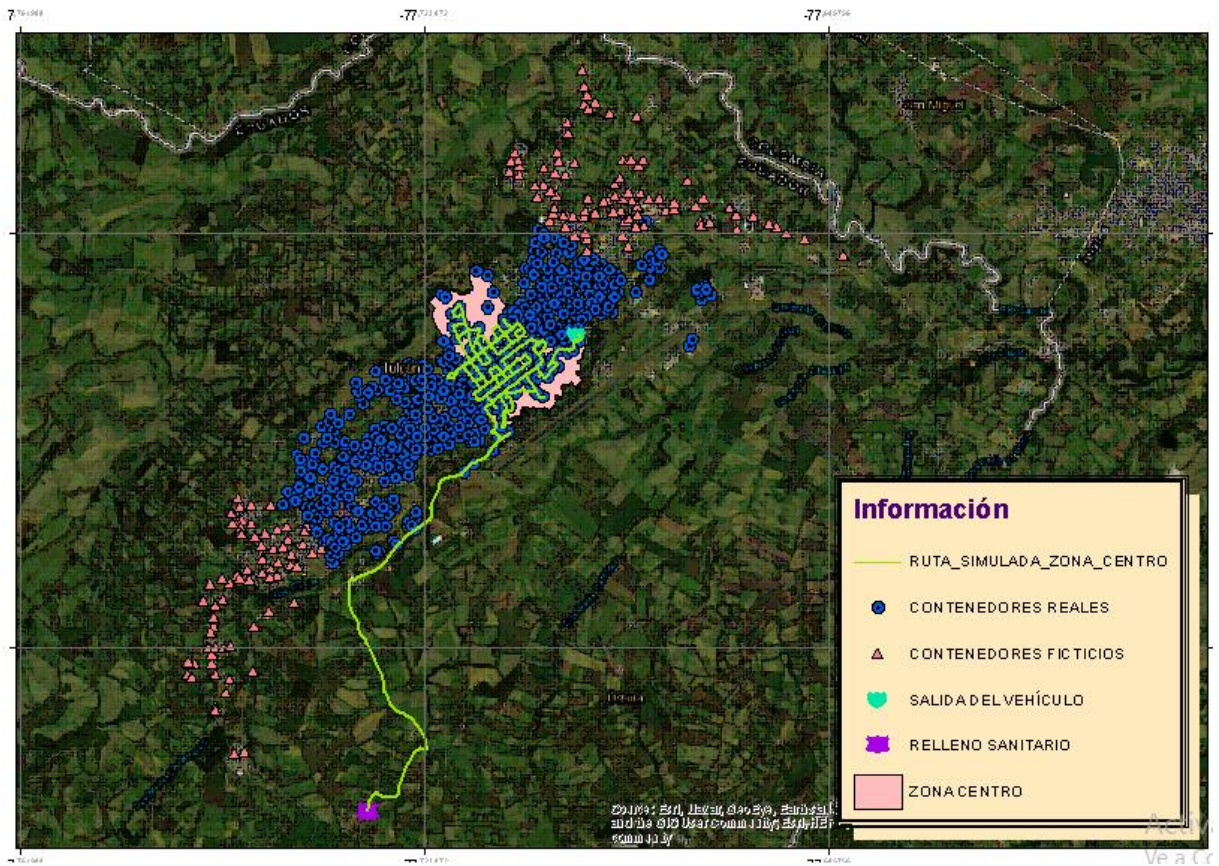


Figura 23 Ruta simulada zona centro

Los resultados se muestran en la Tabla 34:

Tabla 34 Información de la ruta simulada zona centro

RUTA SIMULADA ZONA CENTRO	
Distancia km:	21,84 km
Tiempo	03:14:48
Costo por día	\$ 24,17

En la Tabla 35 se observa que la nueva ruta simulada tiene una mejora en cuanto a distancia, tiempo y costo, es decir la prestación del servicio de recolección en esta zona resulta óptima en comparación con la ruta actual.

Tabla 35 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro

		Ruta Actual	Ruta Simulada	Optimización
Distancia		28,91 km	21,84 km	7,07 km
km:				
Tiempo:	(Programa ArcGIS)	3:44:52	03:14:48	0:30:04
	Conductor	4:00:00		0:45:12
Costo:		\$ 25,65	\$ 24,17	\$ 1,48

Tomando en cuenta el criterio del conductor en cuanto al tiempo de demora en esta ruta, también existe una optimización en esta zona, es decir que la ruta simulada tiene mayor beneficio que la ruta actual.

En la simulación de esta ruta se recogerán 96 contenedores, todos reales.

Tabla 36 N° de contenedores recogidos zona centro

	N° de contenedores
Contenedores reales:	96
Contenedores ficticios:	0
Total:	96

CONTENEDORES POR RECOGER ZONA CENTRO



Figura 24 Contenedores por recoger en la zona centro

De acuerdo a la ubicación de contenedores en la ruta simulada, el orden en que se recogerán se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37 Orden de contenedores por recoger en la zona centro

Orden de contenedores por recoger en la zona centro							
1	CONT_R_227	25	CONT_R_31	49	CONT_R_441	73	CONT_R_88
2	CONT_R_130	26	CONT_R_24	50	CONT_R_411	74	CONT_R_449
3	CONT_R_348	27	CONT_R_240	51	CONT_R_95	75	CONT_R_117
4	CONT_R_255	28	CONT_R_435	52	CONT_R_426	76	CONT_R_79
5	CONT_R_142	29	CONT_R_118	53	CONT_R_493	77	CONT_R_199
6	CONT_R_80	30	CONT_R_205	54	CONT_R_393	78	CONT_R_347
7	CONT_R_340	31	CONT_R_143	55	CONT_R_364	79	CONT_R_258
8	CONT_R_33	32	CONT_R_368	56	CONT_R_336	80	CONT_R_236
9	CONT_R_26	33	CONT_R_342	57	CONT_R_224	81	CONT_R_87

Orden de contenedores por recoger en la zona centro							
10	CONT_R_466	34	CONT_R_329	58	CONT_R_349	82	CONT_R_125
11	CONT_R_485	35	CONT_R_04	59	CONT_R_409	83	CONT_R_241
12	CONT_R_270	36	CONT_R_297	60	CONT_R_02	84	CONT_R_203
13	CONT_R_74	37	CONT_R_163	61	CONT_R_73	85	CONT_R_313
14	CONT_R_257	38	CONT_R_386	62	CONT_R_17	86	CONT_R_222
15	CONT_R_71	39	CONT_R_115	63	CONT_R_482	87	CONT_R_244
16	CONT_R_397	40	CONT_R_239	64	CONT_R_238	88	CONT_R_72
17	CONT_R_151	41	CONT_R_253	65	CONT_R_230	89	CONT_R_188
18	CONT_R_133	42	CONT_R_434	66	CONT_R_134	90	CONT_R_249
19	CONT_R_481	43	CONT_R_290	67	CONT_R_247	91	CONT_R_198
20	CONT_R_51	44	CONT_R_91	68	CONT_R_03	92	CONT_R_164
21	CONT_R_248	45	CONT_R_403	69	CONT_R_487	93	CONT_R_75
22	CONT_R_131	46	CONT_R_410	70	CONT_R_303	94	CONT_R_140
23	CONT_R_265	47	CONT_R_289	71	CONT_R_147	95	CONT_R_07
24	CONT_R_326	48	CONT_R_212	72	CONT_R_315	96	CONT_R_374

4.1.3.4.4. Ruta simulada Zona Centro Sur (Av. Nueve de Octubre – Av. Universitaria)

Para la generación de la ruta óptima en la zona centro, se asignó al vehículo con capacidad de 10 toneladas, es decir una vez finalizada la recolección en la zona centro, el vehículo podrá iniciar con la recolección de residuos en la zona centro sur.

RUTA ÓPTIMA EN ZONA CENTRO SUR

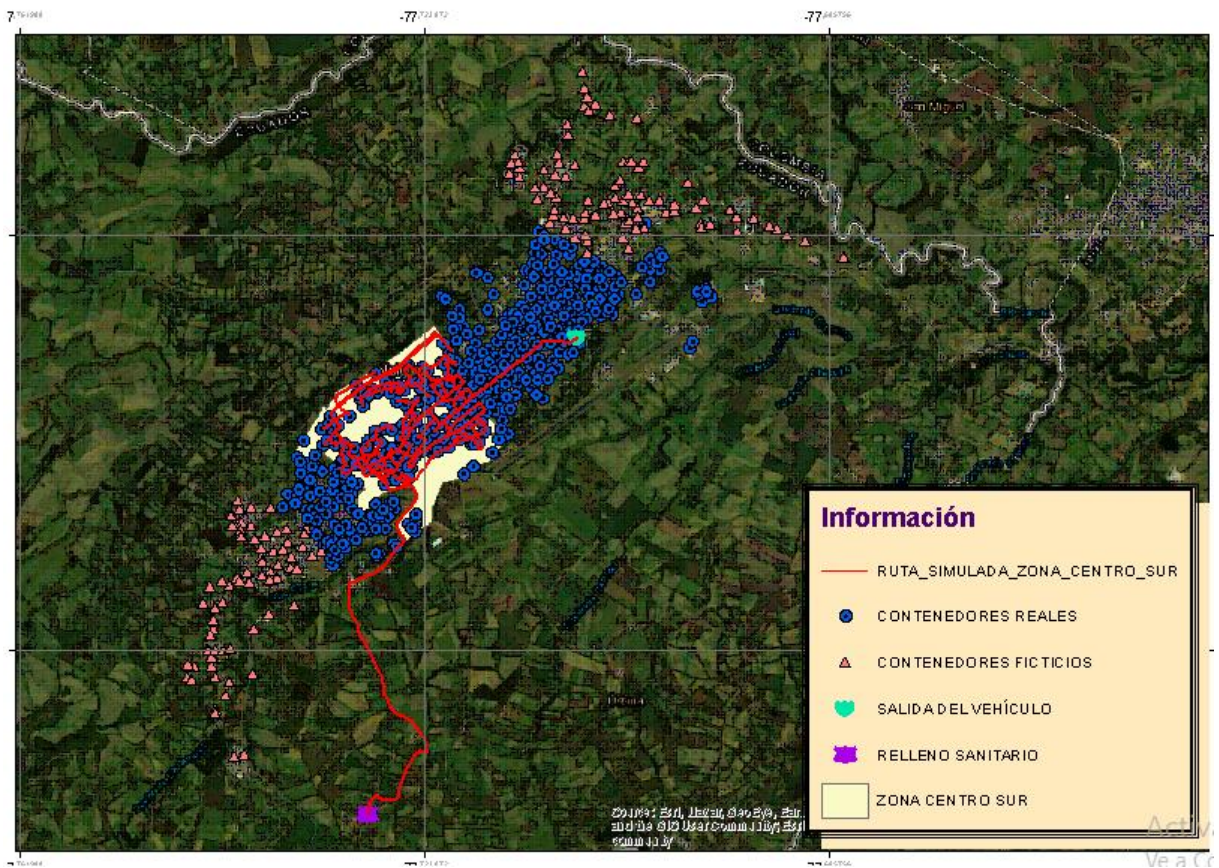


Figura 25 Ruta simulada zona centro sur

Los resultados se muestran en la Tabla 38:

Tabla 38 Información de la ruta simulada zona centro sur

RUTA SIMULADA ZONA CENTRO SUR	
Distancia km:	38,24 km
Tiempo	05:19:31
Costo por día	\$ 27,61

En la Tabla 39 se muestra que la ruta simulada en esta zona tiene una optimización en cuanto a tiempo, costo y distancia, mejorando también el servicio de recolección de residuos en esta zona.

Tabla 39 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona centro sur

		Ruta Actual	Ruta Simulada	Optimización
Distancia		45,11 km	38,24 km	6,87 km
km:				
Tiempo:	(Programa ArcGIS)	5:32:45		0:13:14
	Conductor	5:30:00	05:19:31	0:10:29
Costo:		\$ 29,05	\$ 27,61	\$ 1,44

Teniendo en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo de demora en esta ruta, también existe una optimización, es decir, el manejo de la ruta simulada en esta zona resulta eficiente.

En la simulación de esta ruta, se recogerán 160 contenedores, todos reales.

Tabla 40 N° de contenedores recogidos zona centro sur

	N° de contenedores
Contenedores reales:	160
Contenedores ficticios:	0
Total:	160

CONTENEDORES POR RECOGER ZONA CENTRO SUR

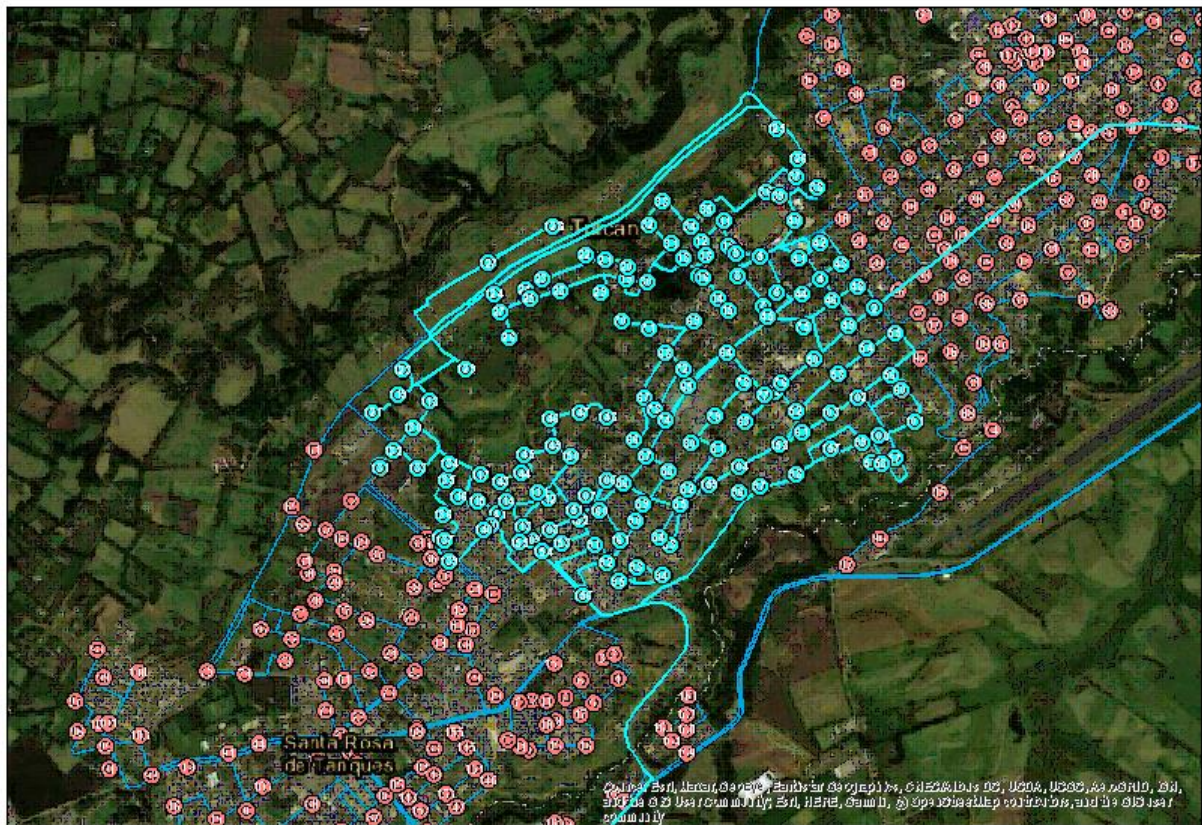


Figura 26 Contenedores por recoger en la zona centro sur

De acuerdo a la ubicación de contenedores en la ruta simulada, el orden en que se recogerán se indica en la Tabla 41.

Tabla 41 Orden de contenedores por recoger en la zona centro sur

Orden de contenedores por recoger en la zona centro sur							
1	CONT_R_293	41	CONT_R_37	81	CONT_R_472	121	CONT_R_65
2	CONT_R_144	42	CONT_R_170	82	CONT_R_93	122	CONT_R_229
3	CONT_R_345	43	CONT_R_63	83	CONT_R_460	123	CONT_R_358
4	CONT_R_90	44	CONT_R_363	84	CONT_R_61	124	CONT_R_371
5	CONT_R_372	45	CONT_R_488	85	CONT_R_387	125	CONT_R_365
6	CONT_R_146	46	CONT_R_36	86	CONT_R_01	126	CONT_R_377
7	CONT_R_369	47	CONT_R_148	87	CONT_R_367	127	CONT_R_254
8	CONT_R_149	48	CONT_R_271	88	CONT_R_330	128	CONT_R_09
9	CONT_R_105	49	CONT_R_380	89	CONT_R_250	129	CONT_R_251

Orden de contenedores por recoger en la zona centro sur

10	CONT_R_436	50	CONT_R_18	90	CONT_R_338	130	CONT_R_413
11	CONT_R_304	51	CONT_R_178	91	CONT_R_145	131	CONT_R_444
12	CONT_R_428	52	CONT_R_44	92	CONT_R_103	132	CONT_R_279
13	CONT_R_173	53	CONT_R_161	93	CONT_R_126	133	CONT_R_448
14	CONT_R_407	54	CONT_R_123	94	CONT_R_456	134	CONT_R_208
15	CONT_R_356	55	CONT_R_85	95	CONT_R_300	135	CONT_R_433
16	CONT_R_355	56	CONT_R_13	96	CONT_R_301	136	CONT_R_305
17	CONT_R_416	57	CONT_R_401	97	CONT_R_307	137	CONT_R_176
18	CONT_R_382	58	CONT_R_197	98	CONT_R_282	138	CONT_R_388
19	CONT_R_440	59	CONT_R_337	99	CONT_R_64	139	CONT_R_450
20	CONT_R_351	60	CONT_R_261	100	CONT_R_306	140	CONT_R_82
21	CONT_R_404	61	CONT_R_183	101	CONT_R_168	141	CONT_R_453
22	CONT_R_296	62	CONT_R_452	102	CONT_R_268	142	CONT_R_35
23	CONT_R_311	63	CONT_R_325	103	CONT_R_234	143	CONT_R_459
24	CONT_R_394	64	CONT_R_27	104	CONT_R_350	144	CONT_R_49
25	CONT_R_19	65	CONT_R_56	105	CONT_R_443	145	CONT_R_262
26	CONT_R_67	66	CONT_R_225	106	CONT_R_408	146	CONT_R_215
27	CONT_R_206	67	CONT_R_101	107	CONT_R_232	147	CONT_R_216
28	CONT_R_366	68	CONT_R_58	108	CONT_R_20	148	CONT_R_331
29	CONT_R_373	69	CONT_R_120	109	CONT_R_181	149	CONT_R_455
30	CONT_R_269	70	CONT_R_113	110	CONT_R_106	150	CONT_R_150
31	CONT_R_334	71	CONT_R_475	111	CONT_R_98	151	CONT_R_89
32	CONT_R_314	72	CONT_R_286	112	CONT_R_94	152	CONT_R_346
33	CONT_R_100	73	CONT_R_405	113	CONT_R_454	153	CONT_R_246
34	CONT_R_184	74	CONT_R_245	114	CONT_R_354	154	CONT_R_283
35	CONT_R_264	75	CONT_R_192	115	CONT_R_121	155	CONT_R_471
36	CONT_R_427	76	CONT_R_201	116	CONT_R_463	156	CONT_R_252
37	CONT_R_423	77	CONT_R_202	117	CONT_R_489	157	CONT_R_324
38	CONT_R_317	78	CONT_R_462	118	CONT_R_219	158	CONT_R_310
39	CONT_R_316	79	CONT_R_480	119	CONT_R_218	159	CONT_R_259
40	CONT_R_483	80	CONT_R_458	120	CONT_R_66	160	CONT_R_111

4.1.3.4.5. Ruta simulada Zona Sur (Av. Universitaria - Obelisco)

Para la generación de la ruta óptima en la zona sur, se ha designado el vehículo con capacidad de 9,5 toneladas. Una vez finalizado el recorrido en la zona norte deberá ir a depositar los residuos al relleno sanitario al sur de la ciudad, además por facilidad y cercanía a la zona sur, se asignó este vehículo para que realice la recolección de residuos en esta zona.

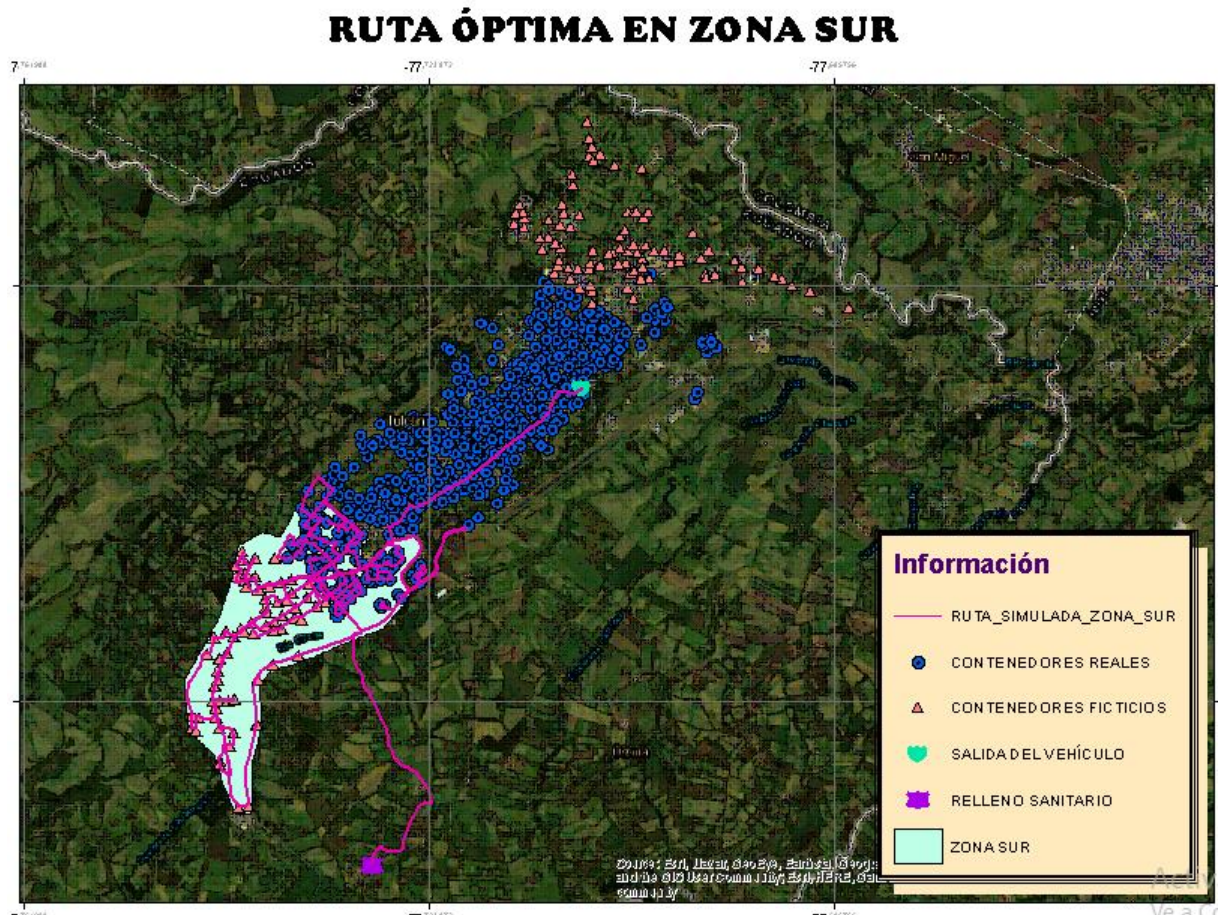


Figura 27 Ruta simulada zona sur

Los resultados se muestran en la Tabla 42:

Tabla 42 Información de la ruta simulada zona sur

RUTA SIMULADA ZONA SUR	
Distancia km:	43,35 km
Tiempo	06:00:49

Costo por día	\$ 28,68
---------------	----------

En la Tabla 43 se observa que la ruta simulada en la zona sur, tiene mayor tiempo, costo y distancia que la ruta actual, el motivo es porque se recogen contenedores ficticios que fueron ubicados por facilidad y comodidad de los usuarios, puesto que en la ruta actual el vehículo recolector no pasa por ciertas viviendas recogiendo los residuos.

Tabla 43 Comparación de la ruta actual y la ruta simulada en la zona sur

		Ruta Actual	Ruta Simulada	Optimización
Distancia		39,23 km	43,35 km	--
km:				
Tiempo:	(Programa ArcGIS)	5:42:56		--
	Conductor	6:10:00	06:00:49	0:09:11
Costo:		\$ 27,81	\$ 28,68	--

Teniendo en cuenta el criterio del conductor con respecto al tiempo de circulación en esta ruta, se genera más tiempo, porque no existen contenedores, se realiza la recolección por el método de acera y suelen demorarse por lo general cuando las personas salen a dejar los residuos justo al momento que el vehículo recolector pasa por las viviendas. Pero si este fuese el tiempo real de demora existiría una optimización de nueve minutos con once segundos, es decir que la ruta simulada resultaría óptima en esta zona.

En la simulación de esta ruta, se recogerán 166 contenedores, entre contenedores reales y ficticios.

Tabla 44 N° de contenedores recogidos zona sur

	N° de contenedores
Contenedores reales:	100
Contenedores ficticios:	66
Total:	166

CONTENEDORES POR RECOGER ZONA SUR

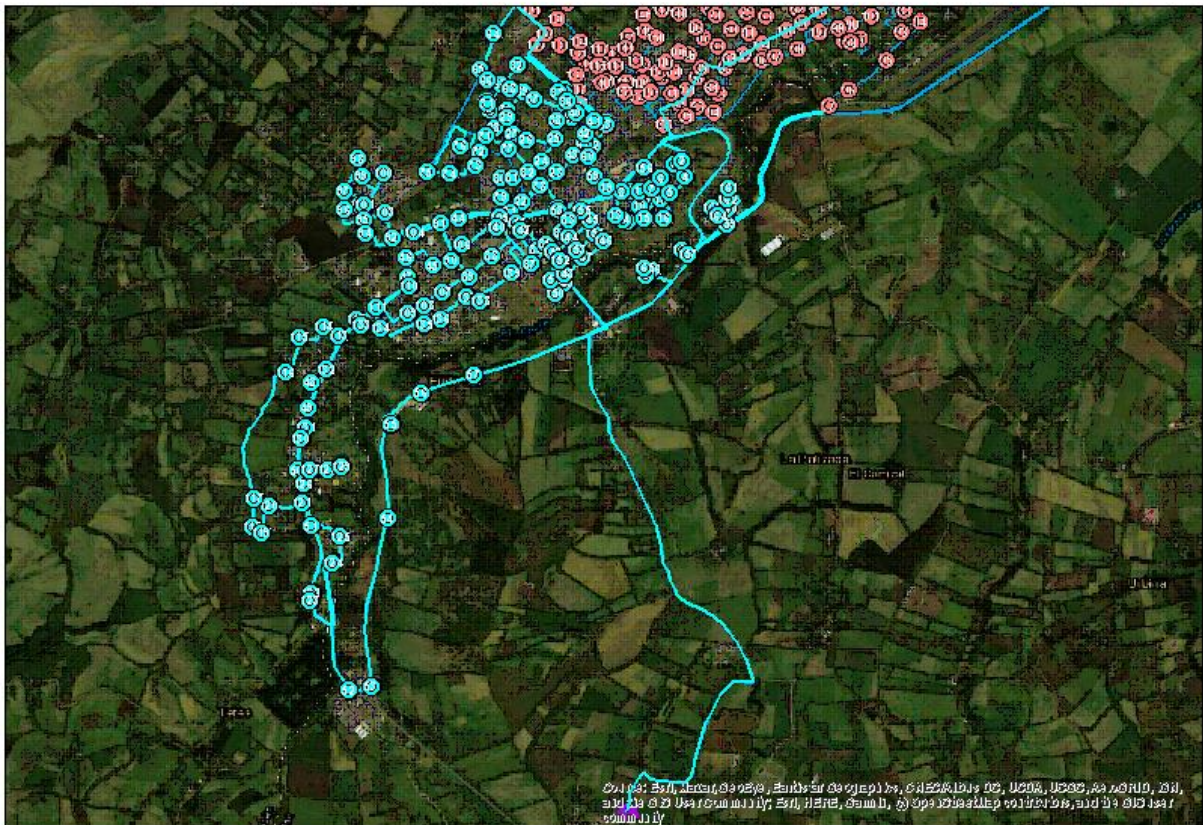


Figura 28 Contenedores por recoger en la zona sur

De acuerdo a la ubicación de contenedores en la ruta simulada, el orden en el que se recogerán se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45 Orden de contenedores por recoger en la zona sur

Orden de contenedores por recoger en la zona sur							
1	CONT_R_122	43	CONT_F_87	85	CONT_R_11	127	CONT_F_129
2	CONT_R_05	44	CONT_F_102	86	CONT_F_146	128	CONT_F_130
3	CONT_R_14	45	CONT_F_106	87	CONT_F_145	129	CONT_F_131
4	CONT_R_129	46	CONT_F_103	88	CONT_F_144	130	CONT_F_107
5	CONT_R_484	47	CONT_F_109	89	CONT_F_149	131	CONT_F_132
6	CONT_R_470	48	CONT_F_134	90	CONT_F_105	132	CONT_F_133
7	CONT_R_138	49	CONT_F_108	91	CONT_F_100	133	CONT_F_135
8	CONT_R_34	50	CONT_F_126	92	CONT_F_99	134	CONT_F_140
9	CONT_R_154	51	CONT_F_122	93	CONT_F_98	135	CONT_F_139

Orden de contenedores por recoger en la zona sur

10	CONT_R_291	52	CONT_F_123	94	CONT_F_96	136	CONT_F_138
11	CONT_R_43	53	CONT_F_151	95	CONT_F_97	137	CONT_F_148
12	CONT_R_383	54	CONT_F_152	96	CONT_F_95	138	CONT_F_147
13	CONT_R_41	55	CONT_F_153	97	CONT_F_94	139	CONT_F_150
14	CONT_R_467	56	CONT_F_154	98	CONT_F_93	140	CONT_R_189
15	CONT_R_157	57	CONT_R_46	99	CONT_F_92	141	CONT_R_492
16	CONT_R_104	58	CONT_R_28	100	CONT_F_91	142	CONT_R_155
17	CONT_R_57	59	CONT_R_442	101	CONT_F_90	143	CONT_R_156
18	CONT_R_473	60	CONT_R_226	102	CONT_F_89	144	CONT_R_233
19	CONT_R_45	61	CONT_R_10	103	CONT_F_104	145	CONT_R_287
20	CONT_R_139	62	CONT_R_457	104	CONT_F_86	146	CONT_R_99
21	CONT_R_42	63	CONT_R_446	105	CONT_F_101	147	CONT_R_352
22	CONT_R_60	64	CONT_R_59	106	CONT_F_143	148	CONT_R_127
23	CONT_R_464	65	CONT_R_284	107	CONT_F_137	149	CONT_R_204
24	CONT_R_112	66	CONT_R_128	108	CONT_F_136	150	CONT_R_328
25	CONT_R_243	67	CONT_R_288	109	CONT_F_142	151	CONT_R_384
26	CONT_R_40	68	CONT_R_83	110	CONT_F_141	152	CONT_R_479
27	CONT_R_415	69	CONT_R_81	111	CONT_F_112	153	CONT_R_152
28	CONT_R_491	70	CONT_R_476	112	CONT_F_113	154	CONT_R_486
29	CONT_R_32	71	CONT_R_217	113	CONT_F_114	155	CONT_R_223
30	CONT_R_166	72	CONT_R_465	114	CONT_F_111	156	CONT_R_114
31	CONT_R_414	73	CONT_R_474	115	CONT_F_110	157	CONT_R_108
32	CONT_R_266	74	CONT_F_88	116	CONT_F_117	158	CONT_R_21
33	CONT_R_25	75	CONT_R_55	117	CONT_F_118	159	CONT_R_92
34	CONT_R_132	76	CONT_R_52	118	CONT_F_119	160	CONT_R_495
35	CONT_R_320	77	CONT_R_177	119	CONT_F_116	161	CONT_R_116
36	CONT_R_141	78	CONT_R_390	120	CONT_F_115	162	CONT_R_29
37	CONT_R_228	79	CONT_R_186	121	CONT_F_120	163	CONT_R_214
38	CONT_R_158	80	CONT_R_220	122	CONT_F_121	164	CONT_R_119
39	CONT_R_159	81	CONT_R_389	123	CONT_F_124	165	CONT_R_38
40	CONT_R_490	82	CONT_R_494	124	CONT_F_125	166	CONT_R_97
41	CONT_R_231	83	CONT_R_15	125	CONT_F_127		

Orden de contenedores por recoger en la zona sur

42 CONT_R_321 **84** CONT_R_50 **126** CONT_F_128

Para realizar una comparación entre las rutas actuales y las rutas simuladas se realizó la suma de distancias, tiempo y costos se aplicó las siguientes fórmulas:

Distancias:

$$Distancia\ total = Dist.\ z.\ norte + Dist.\ z.\ centro\ norte + Dist.\ z.\ centro + Dist.\ z.\ centro\ sur + Dist.\ z.\ sur$$

Tiempo:

$$Tiempo\ total = Tp.\ z.\ norte + Tp.\ z.\ centro\ norte + Tp.\ z.\ centro + Tp.\ z.\ centro\ sur + Tp.\ z.\ sur$$

Costo:

$$Costo\ por\ km\ total = C.\ z.\ norte + C.\ z.\ centro\ norte + C.\ z.\ centro + C.\ z.\ centro\ sur + C.\ z.\ sur$$

En la Tabla 46 se da a conocer el horario en el que inicia y finaliza el recorrido de cada zona, teniendo en cuenta que existen tres vehículos recolectores encargados de realizar la recolección de residuos, cabe recalcar que el vehículo 1 cubrirá la zona centro y centro sur, el vehículo 2 la zona norte y sur, y el vehículo 3 la zona centro norte.

La zona norte, centro norte y centro iniciarán a las seis de la mañana por la disposición de los tres vehículos recolectores, la zona centro sur y la zona sur iniciarán una vez finalizada la zona norte y centro, porque el vehículo 1 y 2 cubren el servicio en estas zonas,

Tabla 46 Hora de inicio y fin en el recorrido de las zonas

Zona	Horario de inicio (hh:min:seg)	Hora de finalización (hh:min:seg)	Vehículo
Zona norte	6:00:00	10:39:58	Vehículo 2
Zona centro norte	6:00:00	9:55:55	Vehículo 3
Zona centro	6:00:00	9:14:48	Vehículo 1
Zona centro sur	9:14:48	14:34:19	Vehículo 1
Zona sur	10:39:58	16:40:47	Vehículo 2

El horario que se estableció mediante la simulación de rutas, fue de acuerdo al horario de trabajo en el que siempre lo realizan, iniciando a las seis de la mañana y terminando a las dos de la tarde, pero no siempre terminan a esa hora, el horario que se extiende es considerado como horas extras. Como se observa en la Tabla 46 el horario se extiende porque el vehículo 1 y 2 realizan un recorrido más, por esta razón se sobre pasa al horario establecido por el Municipio.

En la Tabla 46 se observa el recorrido en la zona centro sur y la zona sur terminan después de las dos de la tarde, por esta razón se ha dividido la zona centro sur en tres partes como se observa en la Figura 29, para que el vehículo 3 una vez terminado el recorrido en la zona centro norte antes de las diez de la mañana, ayude a realizar la recolección de residuos en esta zona para de esta manera optimizar tiempo y a la vez este vehículo realice más trabajo igual que los otros.

DIVISIÓN DE LA ZONA CENTRO SUR

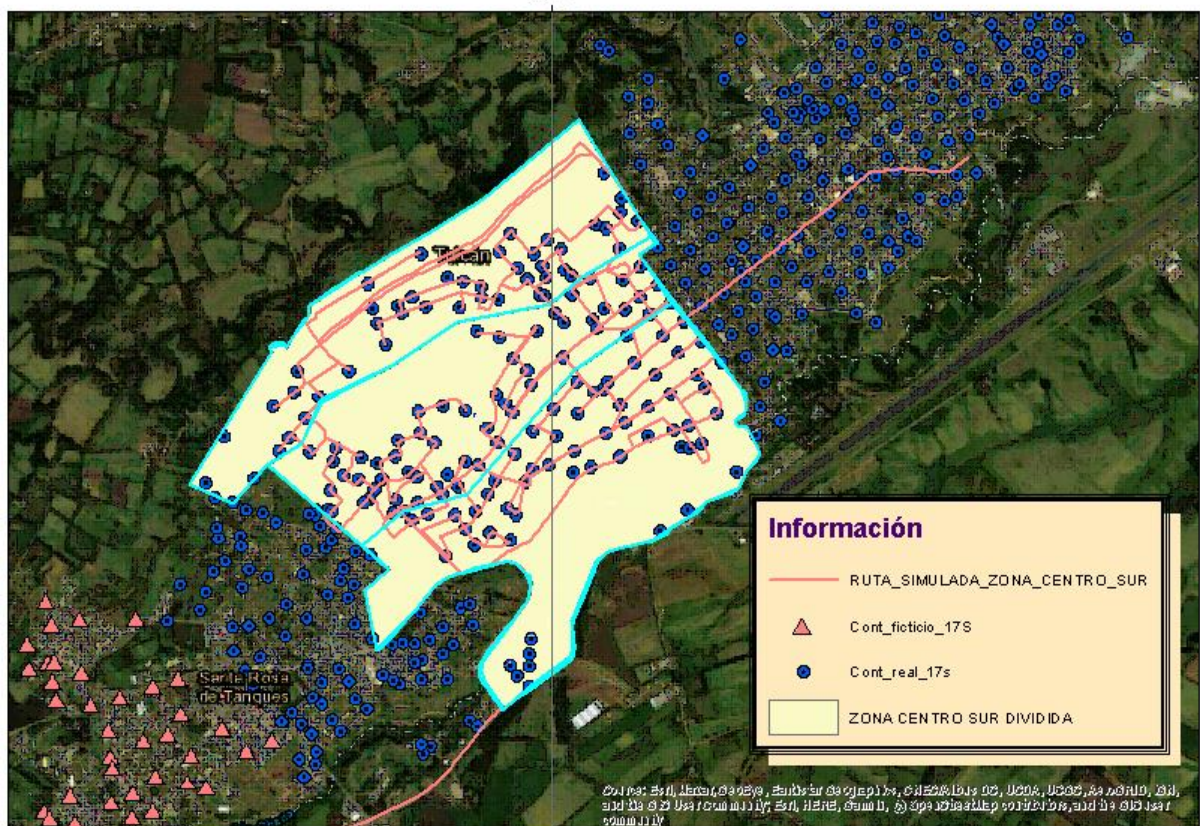


Figura 29 División de la zona centro sur

También la zona sur se ha dividido en tres partes como se observa en la Figura 30, de modo que el vehículo 3 también pueda ayudar a realizar la recolección de residuos en esta zona, con el

objetivo de disminuir el tiempo de demora en dicho recorrido y así se logre optimizar el tiempo de jornada en las dos zonas.

DIVISIÓN DE LA ZONA SUR

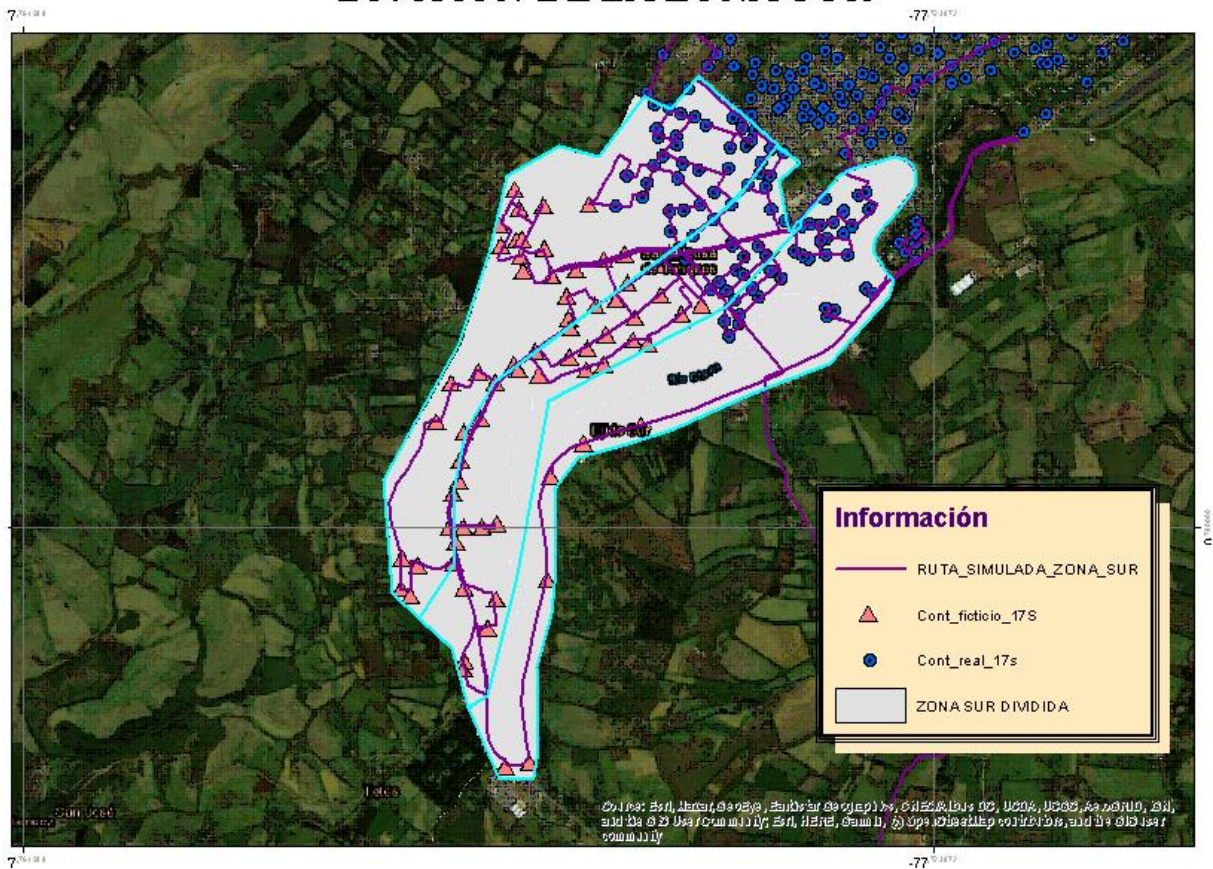


Figura 30 División de la zona sur

También se consideró si la recolección se la podría realizar en jornada nocturna, siendo así se optimizará tiempo y distancia, porque no existirá congestión vehicular por las calles de la ciudad y se generaría menos recorrido para los vehículos recolectores, por ende, se realizará de manera rápida y eficiente, además al siguiente día las calles y veredas pasarán limpias. Pero también es necesario considerar que para los habitantes es molesto que en horas de la noche un vehículo recolector realice el levantamiento de contenedores por los ruidos que se provocan al momento del enganche de los contenedores, ya que las personas prefieren descansar y no ser interrumpidas por ruidos molestos. Por esta razón la recolección de residuos se la simuló en jornada diurna porque las personas salen a sus trabajos y entonces no tienen molestias de que cuando pase el vehículo recolector escuchen los ruidos inoportunos.

La cantidad de residuos sólidos diarios que existirán según la simulación realizada, como se observa en la Figura 31 y 32 la suma de los kilogramos de residuos es de 44924.70 kg entre contenedores reales y ficticios, es decir que se generarán 44.92 toneladas.

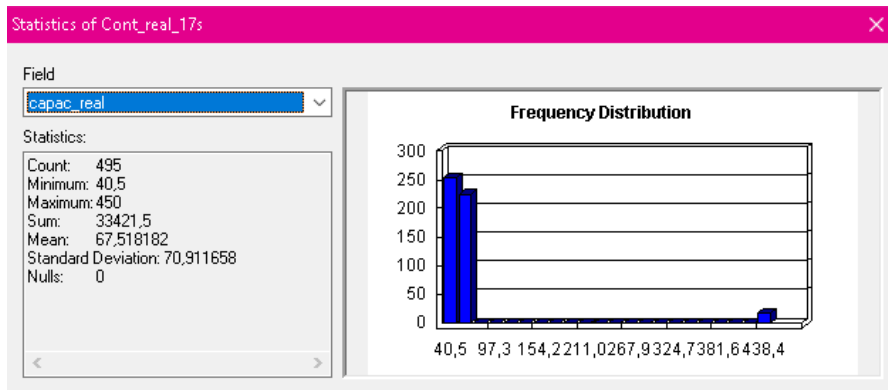


Figura 31 Suma de la capacidad real en kg de contenedores reales

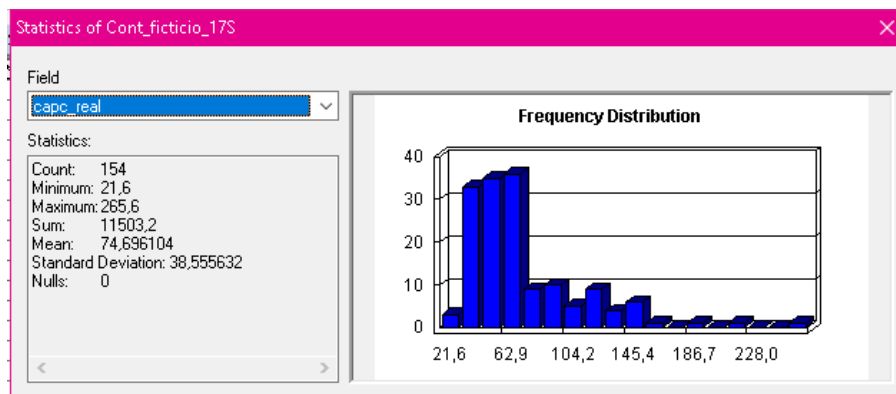


Figura 32 Suma de la capacidad real en kg de contenedores ficticios

Todos los residuos que son depositados en los contenedores son trasladados y almacenados en el relleno sanitario, con el objetivo de que la ciudad permanezca siempre limpia. Además, no existe una clasificación específica de acuerdo al tipo de residuo en el relleno sanitario, es decir todos los residuos tienen el mismo tratamiento.

Por otra parte, en la ciudad de Tulcán se implementó un nuevo proyecto para el reciclaje de plásticos, cartón y papel, que tiene como principal objetivo generar un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos reciclables basado en la corresponsabilidad ciudadana y la prestación de un servicio diferenciado de recolección y comercialización de estos materiales,

para así disminuir la contaminación atmosférica, ahorrar los recursos naturales y también que menos residuos lleguen al relleno sanitario.



Figura 33 Funcionamiento de la recolección diferenciada en Tulcán

Fuente: Municipio de Tulcán (2022)

Para este proyecto que se implementó recientemente, el Municipio de Tulcán ya ha considerado un horario de frecuencia en el que se visitara cada zona de la ciudad como se observa en la Figura 33, es decir que ya existe un día y una hora específica de cuando se realizará la recolección de residuos para reciclaje, por esta razón no es posible que se pueda cambiar a un horario diferente del que trabajan en el municipio de Tulcán.

Los contenedores actualmente son ocupados entre el 80% y 100%, es decir que casi siempre los contenedores tienen residuos. Mediante la simulación se ha tomado en cuenta los kilogramos de residuos que se generarían por zona obteniendo así lo siguiente:

$$\frac{\text{Cantidad de residuos (kg)}}{\text{N}^\circ \text{ de contenedores}} * 100 = \% \text{ de ocup del contenedor}$$

Tabla 47 Porcentaje de ocupación de contenedores por zona

Zona	Cantidad de residuos (Kg)	No. de contenedores	Porcentaje de ocupación
Zona Norte	6978,20	103	67,75 %
Zona Centro Norte	9733,90	124	78,50 %
Zona Centro	8145,10	96	84,84 %
Zona Centro Sur	10170,40	160	63,57 %
Zona Sur	9897,10	166	59,62 %

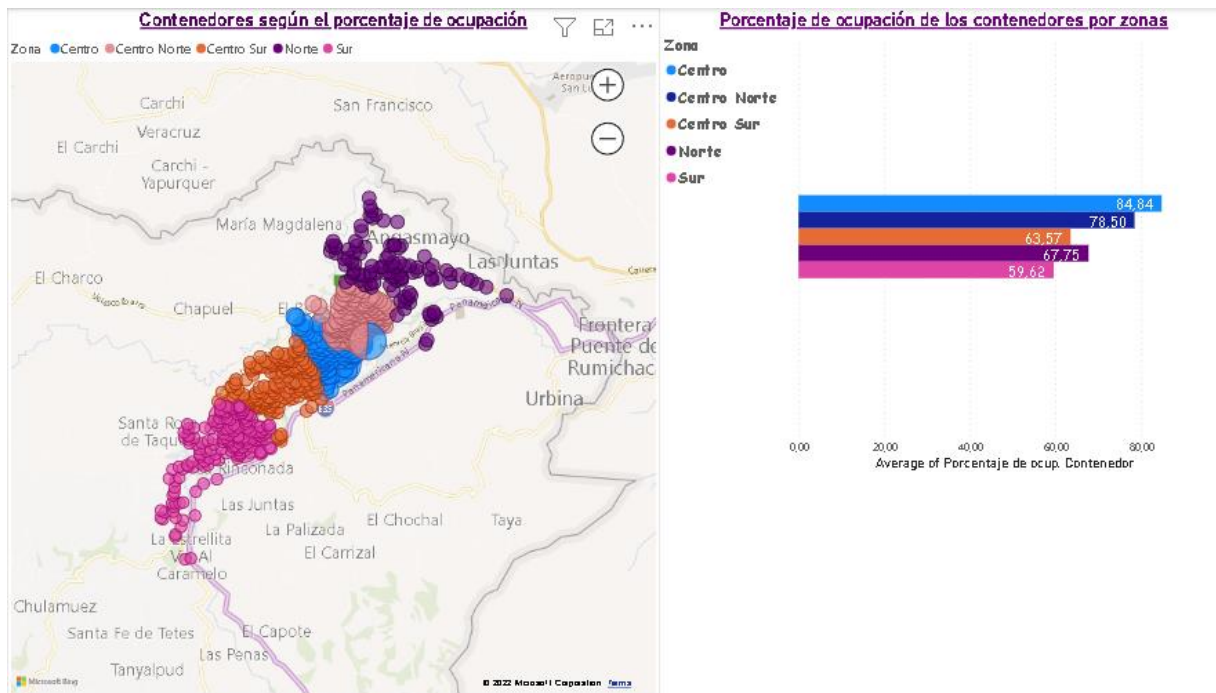


Figura 34 Porcentaje de ocupación de los contenedores por zona (Power BI)

Según la simulación y lo que se observa en la Figura 34 (Mapa de ocupación de contenedores en Power BI) la mayor parte de contenedores ocuparán más del cincuenta por ciento. Los contenedores con la mayor cantidad de desechos en promedio son los de la zona centro debido a que existe más actividad económica ya que se encuentran mercados, instituciones, centros comerciales, parques, entre otros que son los que más generan residuos, por ende, los contenedores casi siempre se encuentran con un porcentaje de ocupación alto.

4.2. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como propósito determinar nuevas rutas para brindar una mejor prestación en el servicio de recolección de residuos sólidos. Actualmente en la ciudad de Tulcán las rutas que se manejan para el servicio de recolección de residuos sólidos no son diseñadas de acuerdo a la ubicación de los contenedores, ni se basan en criterios técnicos de diseño de un problema de ruteo de vehículos. Por esta razón, se realizó el diseño de rutas tomando en cuenta todos los parámetros de dimensionamiento del problema VRP, incluyendo las dos zonas que no tienen contenedores, en donde se ubicaron contenedores ficticios de acuerdo a la facilidad,

comodidad y demanda de residuos, de modo que se logre brindar un servicio de recolección de residuos a toda la ciudadanía de manera óptima y eficiente.

Mediante los resultados obtenidos se realizó una comparación de las rutas actuales y las rutas simuladas, en la Tabla 48 se muestran los indicadores de distancia, tiempo y costo total en relación a las rutas, el tiempo de permanencia y porcentaje de ocupación de residuos en el contenedor, en la recolección de residuos sólidos.

Tabla 48 Total en distancia, tiempo y costo en rutas actuales y rutas simuladas

		Rutas Actuales	Rutas Simuladas	Porcentaje de mejora %
Distancia (km):		194,10 km	176,69 km	8,97 %
Tiempo (hh:min:seg):	(Programa ArcGIS)	23:16:09	23:11:00	0,37 %
	Conductor	25:10:00	23:11:00	7,88 %
Costo por kilómetro (\$):		\$ 138,65	\$ 135,01	2,63 %
Tiempo de permanencia de residuos en el contenedor (h)		20 horas	17 – 18 horas	10%
Porcentaje de ocupación del contenedor (%)	Zona Norte	-	67,75 %	
	Zona Centro	85 %	78,50 %	7,65%
	Norte			
	Zona Centro	100 %	84,84 %	15,16%
	Zona Centro Sur	80 %	63,57 %	25,21%
	Zona Sur	-	59,62 %	

La Tabla 48 indica que la propuesta de las rutas simuladas resulta conveniente ya que se genera optimización tanto en distancia, tiempo y costo, en relación a los parámetros de las rutas actuales. El porcentaje de mejora en distancia es de 8,97%, en tiempo con respecto al programa ArcGIS es de 0,37%, de acuerdo al criterio del conductor es de 7,88% y en cuanto al costo existe un ahorro del 2,63% el cual, parecería no ser significativo, pero es debido a que los costos fijos de cada ruta son muy superiores en relación a los costos generados por km recorrido

(consumo de combustible y mantenimiento). También existe una optimización efectiva del 10% con respecto al tiempo de permanencia de los residuos en los contenedores y hasta un 25% del porcentaje de ocupación de los contenedores, es decir que los residuos serán recogidos a menor tiempo y los contenedores ya no estarán saturados de residuos.

Según los resultados, a pesar de que se ubicaron contenedores ficticios se logró optimizar las rutas del servicio de recolección con respecto a las rutas actuales, por lo que al implementar las rutas simuladas se logrará brindar un servicio de recolección de residuos a la ciudadanía de manera eficiente.

Con el fin de mejorar el manejo de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán, se tomó en cuenta la investigación de Casco y Punina (2019), con el tema “El sistema de recogida de desechos y residuos sólidos de la ciudad de Tulcán y la gestión logística”, en la que se logró optimizar longitudes y tiempos en nuevas rutas que se diseñaron con el fin de brindar el servicio de recolección en un 100% a los habitantes. En cuanto a la presente investigación se ha tomado en cuenta la disposición de contenedores para el diseño de rutas, logrando así proponer la ubicación de contenedores ficticios en las dos zonas que no disponen de ellos, al igual que Casco y Punina (2019) también al implementar las rutas simuladas se brindará un servicio de recolección equitativo a todos los habitantes así logrando brindar un servicio de recolección a todos los habitantes de la ciudad. Además, también se ha logrado optimizar las rutas en distancia siendo de 223,93 km y las rutas simuladas en esta investigación de 176,69 km.

En la investigación realizada en el cantón Cuenca por Cusco y Picón (2015) se tuvo como objetivo encontrar mejores rutas para la flota del transporte y a la vez brindar un mejor servicio a la ciudadanía, minimizando el coste de operación, el tiempo de transporte y la distancia recorrida en la recolección de residuos sólidos. En la propuesta realizada se dedujo que el problema es que la ciudad debería ser dividida en zonas para la eficiente recolección de residuos, por lo que se ha tomado como referencia este antecedente en la presente investigación donde se ha realizado la simulación de rutas de acuerdo a las cinco zonas en las que está dividida la ciudad para el diseño de las rutas. Cómo se realizó en la investigación de Minga y Zhiminaycela (2019), que usaron la herramienta informática SIG con la extensión de Network Analyst para el diseño de las rutas de igual manera logrando optimizar en tiempo a 195 min y distancia en 16,9km, a diferencia de esta investigación en tiempo y distancia que es mayor porque son más rutas, pero de igual manera si se logra optimizar con respecto a las rutas actuales.

En relación a la idea a defender, el diseño de rutas de acuerdo a criterios VRP y el uso del programa ArcGIS, han permitido obtener una optimización en tiempo, costo y distancia en las rutas diseñadas para la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores, de modo que se logrará brindar un servicio equitativo y eficiente a toda la ciudadanía de Tulcán.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se concluye que el servicio de recolección de residuos sólidos que actualmente presta el GAD Municipal de Tulcán a los habitantes no es eficiente. Una causa es porque el vehículo recolector no realiza la recolección de residuos en el mismo horario todos los días de la semana y algunos usuarios no tienen donde poner los residuos especialmente en los contenedores saturados. Otra causa es que no se dispone de contenedores para el depósito de los residuos, por lo que los usuarios prefieren dejar sus residuos en las aceras y en ocasiones estos desechos son regados o esparcidos, por esta razón se genera un mal aspecto al momento de visitar la ciudad.

Las rutas que se manejan actualmente en cada zona de la ciudad, realizan la recolección por el método de acera, sin tomar en cuenta las capacidades que tiene cada vehículo para que pueda satisfacer con la demanda de residuos en cada zona. También no conocen el tiempo, costo y la distancia que se podría demorar el recorrido de la ruta solo por la ubicación de contenedores.

El uso de la herramienta informática ArcGIS sirve de gran ayuda para el diseño de rutas de acuerdo a la ubicación de los contenedores que disponen las zonas de la ciudad, ya que permite mejorar parámetros de tiempo, costo y distancia en cada ruta.

Se concluye que al implementar las rutas simuladas brindan un mejor manejo en la recolección de residuos sólidos, ya que se reduce tiempo, costo y distancia en todo el servicio. Además, de que la ubicación de contenedores ficticios, permite satisfacer y brindar el servicio a más personas, reduciendo los tiempos de servicio y la ocupación máxima de los contenedores y eliminando los desechos en las aceras y calles.

La inclusión de nuevos contenedores, y las nuevas rutas harán que se utilice de manera más eficiente la capacidad de los contenedores, evitando su saturación, además de que se reducirá el tiempo de permanencia de los residuos en los mismos debido a la planificación técnica de la ruta con base en criterios VRP.

5.2. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar la ubicación de contenedores tanto en la zona norte y sur de la ciudad, para que las personas tengan la facilidad y comodidad de ir a depositar sus residuos, y de esta manera brindar un servicio de recolección eficiente a toda la ciudadanía.

Se recomienda actualizar las rutas de la zona centro norte, centro y centro sur, por la disposición de contenedores, para que así el vehículo recolector no desperdicie tiempo y gastos en combustible, mantenimiento y neumáticos.

Se recomienda tener conocimiento sobre el costo de recorrido en cada ruta de las cinco zonas a las que se brinda el servicio de recolección de residuos sólidos.

Es importante la aplicación de modelos técnicos en el diseño y planificación de las rutas de recolección basados en criterios de VRP, además del uso de herramientas informáticas para este efecto como ArcGis, VRP Solver, LogVrp, OpendoorLogistics, Maptitude, QGis, etc.

Es necesario que se realice la recolección de residuos antes de que los contenedores sean llenos, para así evitar que existan desastres de residuos en las calles.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, M. (2017). *Diseño de territorios para la recolección de residuos sólidos en áreas municipales* (tesis de maestría). Universidad Autónoma De Nuevo León, San Nicolás de los Garza.
- Anbuudayasankar, S., Ganesh, K., y Mohapatra, S. (Ed.). (2014). *Models for Practical Routing Problems in Logistics*. London, New York: Editorial Springer.
- Araiza, J., y Zambrano, M. (2015). Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG. *Redalyc*, 19(2), 118-128.
- ASECA. (2018). *Recolector de Basura*. Recuperado de <https://aseca.com/recolector-de-basura/>
- Bernal, C. (Ed.). (2010). *Metodología de la Investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Pearson Educación.
- Carga Pesada. (2013). *Camiones HINO*. Recuperado de <http://revistacargapesada.com/camiones-hino-con-diversas-aplicaciones-para-el-mercado/>
- Casco, W., y Punina, P. (2019). *El sistema de recogida de desechos y residuos sólidos de la ciudad de Tulcán y la gestión logística* (tesis de ingeniería). Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán.
- Cusco, J., y Picón, K. (2015). *Optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG* (tesis de ingeniería). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Defensoría del Pueblo. (2016). *Los Servicios Públicos Domiciliarios*. Recuperado de <https://servicios.dpe.gob.ec/unidad-1-los-servicios-publicos-domiciliarios-y-sus-mecanismos-de-medicion/capitulo-1-marco-normativo/los-servicios-publicos-domiciliarios/>
- El Comercio. (2021). *Nuevos precios de combustibles entran en vigencia a las 00:00 del 23 de octubre*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/precios-gasolina-extra-diesel-ecuador.html#:~:text=El%20precio%20del%20di%C3%A9sel%20se,23%20de%20octubre%20del%202021.>
- EMSERP. (2019). *Vehículo Recolector*. Recuperado de <http://www.emserp.gov.co/glosario/vehiculo-recolector>

- Enriquebio. (2006). *Rutas de Recolección (Métodos)*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>
- González, R. (2020). *Contenedores de Basura*. Recuperado de <https://www.ecologiahoy.com/contenedores-de-basura>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020). *Proyecciones de la población*. Recuperado de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-sus-proyecciones-poblacionales-cantonales>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2019). *Gestión de Residuos Sólidos*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2019/Residuos_solidos_2019/Boletin_Tecnico_Residuos_2019%20v05_2.pdf
- Instituto Superior del Medio Ambiente. (2014). *ArcGIS para el Análisis de Redes*. Recuperado de <https://www.ismedioambiente.com/arccgis-para-el-analisis-de-redes/>
- Jaqup, A. (2008). *VRP (Vehicle Routing Problem)*. Recuperado de <https://andresjaqup.wordpress.com/vrp-vehicle-routing-problem/>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Recuperado de <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- López, M. (2013). *Métodos de Recolección: Acera, Parada Fija, Intradomiciliaria y Contenedores*. Recuperado de <https://prezi.com/d3t4cippli23/metodos-de-recoleccionacera-parada-fija-intradomiciliaria/>
- Mejía, P., y Patarón, I. (2014). *Propuesta de un plan integral para el manejo de los residuos sólidos del cantón Tisaleo* (tesis de ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Minga, M., y Zhiminaycela, Y. (2019). *Optimización de las rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos del centro cantonal Sígsig* (tesis de ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Ministerio de Educación. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Recuperado de <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>
- Ministerio de Finanzas del Ecuador . (2012). *Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización*. Recuperado de https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/CODIGO_ORGANIZACION_TERRITORIAL.pdf
- Municipio de Tulcán. (2022). *Cómo funciona la recolección diferenciada*. Tulcán.

- Niño, V. (Ed.). (2011). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Ediciones de la u.
- Observatorio de Salud y Medio Ambiente . (2020). *Rutas de Recolección*. Recuperado de <https://www.osman.es/diccionario/definicion.php?id=13961>
- Recytrans. (2013). *Contenedores de Residuos*. Recuperado de <https://www.recytrans.com/blog/contenedores-de-residuos/>
- Ruíz, A. (2005). *Guía Técnica para la Formulación de Planes de Minimización de Residuos Sólidos y Recolección Segregada en el Nivel Municipal*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/formulacion.pdf>
- SimpliRoute. (2018). *Cómo SimpliRoute resuelve el problema de Ruteo de Vehículos*. Recuperado de <https://www.simpliroute.com/blog/como-simpliroute-resuelve-el-problema-de-ruteo-de-vehiculos>
- Unisolutionsnews. (2016). *Qué es el VRP y cuáles son sus variantes*. Recuperado de <https://unisolutionsnews.wordpress.com/2016/08/22/que-es-el-vrp-y-cuales-son-sus-variantes/>

V. ANEXOS

Anexo 1: Rutas actuales en la recolección de residuos

Ruta actual Zona Norte

RUTA N° 1 DE RECOLECCIÓN TULCÁN



LEYENDA

— Ruta01

Ruta actual Zona Centro Norte

RUTA N° 2 DE RECOLECCIÓN TULCÁN

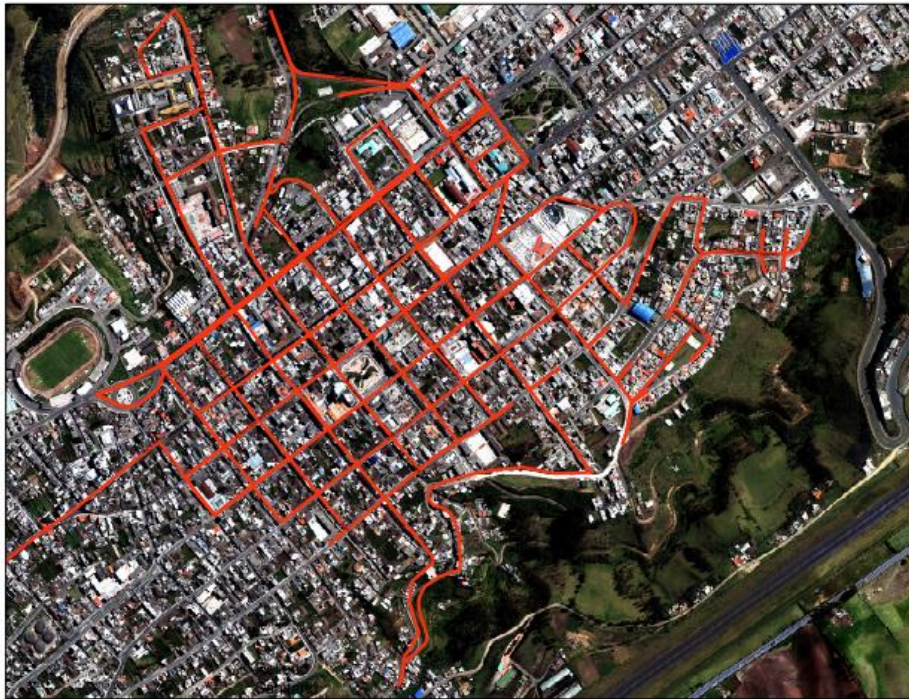


LEYENDA

— Ruta02

Ruta actual Zona Centro

RUTA N° 3 DE RECOLECCIÓN TULCÁN



LEYENDA

— Ruta03

Ruta actual Zona Centro Sur

RUTA N° 4 DE RECOLECCIÓN TULCÁN



LEYENDA

— Ruta04

Ruta actual Zona Sur


RUTA N° 4 DE RECOLECCIÓN TULCÁN




LEYENDA


— Ruta05

Anexo 2: Formato de encuesta dirigida a los habitantes de Tulcán en la plataforma Google Forms




UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI
FACULTAD: COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL
CARRERA: LOGÍSTICA Y TRANSPORTE





PROYECTO DE TESIS



Encuesta: Dirigida a los habitantes de la ciudad de Tulcán

Objetivo específico: Analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.

Indicaciones: Elegir la respuesta que considere pertinente y marque con una X.

Sin título

Descripción (opcional)

1. Usted, como considera el manejo de recolección de residuos sólidos que presta el GAD Municipal de Tulcán.

Poco satisfactorio

Satisfactorio

Muy satisfactorio

2. Usted, con qué frecuencia, deposita los residuos sólidos en el

Diariamente

Semanal

Quincenal

Fin de semana

3. Usted, en qué horario sale a depositar los residuos sólidos al

- 6:00 - 8:00
- 9:00 - 11:00
- 16:00 - 18:00
- 19:00 a más
- Opción 5

111

4. Usted, al momento de depositar los residuos sólidos, más o menos que cantidad encuentra de ocupación en el contenedor

- Vacío (0 %)



- Casi vacío (25 %)



- Medio (50 %)



- Casi lleno (75 %)



- Lleno o más (+100 %)



Anexo 3: Formato de encuesta dirigida a los trabajadores del Municipio



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI
 FACULTAD: COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL
 CARRERA: LOGÍSTICA Y TRANSPORTE



Questionario: Dirigido a trabajadores del GAD Municipal de Tulcán en el área de Gestión Ambiental.

Objetivo específico: Analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.

Vehículos					
Vehículo 1					
Personas que ocupan el vehículo:	N°	3		Marca del	Volskaguen
				Placa del	Sin placa
Capacidad del vehículo:	Toneladas:	10		Velocidad promedio km/h:	12
	Kilos:	1000			
Rutas			Costos		
Rutas recorridas:	N°	Número de vertederos:	N°	Consumo de combustible por kilómetro recorrido	0,18
	1		1	Costo mensual de mantenimiento preventivo del vehículo	250
				Salario operadores	1640
				COSTO TOTAL	2477,18

Información del Recorrido							
Día	Sector	Recorrido		Distancia recorrida:			
		Hora de inicio	Hora de fin				
Lunes	x	Norte	x	6:00	14:00	80 km	
		Centro-Norte					
		Centro					
		Centro - Sur					
		Sur					
Martes	x	Norte	x	6:00	14:00	80 km	
		Centro-Norte					
		Centro					
		Centro - Sur					
		Sur					
Miércoles	x	Norte	x	6:00	14:00	80 km	
		Centro-Norte					
		Centro					
		Centro - Sur					
		Sur					
Jueves	x	Norte	x	6:00	14:00	80 km	
		Centro-Norte					
		Centro					
		Centro - Sur					
		Sur					
Viernes	x	Norte	x	6:00	14:00	80 km	
		Centro-Norte					
		Centro					
		Centro - Sur					
		Sur					



Cuestionario: Dirigido a trabajadores del GAD Municipal de Tulcán en el área de Gestión Ambiental.

Objetivo específico: Analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.

Vehículos

Vehículo 2

Personas que ocupan el vehículo:	Nº	3	Marca del vehículo:	Hino	
			Placa del vehículo:	Sin placa	
Capacidad del vehículo:	Toneladas:	9.5	Velocidad promedio km/h:	12	
	Kilos:	9500			
Rutas			Costos		
Rutas recorridas:	Nº	Número de vertederos:	Nº	Consumo de combustible por kilómetro	0,14
	1			Costo mensual de mantenimiento preventivo	225
				Salario operadores	513
				COSTO TOTAL	1325,14

Información del Recorrido

Día	Sector	Recorrido		Distancia recorrida:	
		Hora de inicio	Hora de fin		
Lunes	Norte				
	Centro-Norte				
	Centro	*	6:00	13:50	75 km
	Centro - Sur				
	Sur				
Martes	Norte				
	Centro-Norte				
	Centro	*	6:00	13:50	75 km
	Centro - Sur				
	Sur				
Miércoles	Norte				
	Centro-Norte				
	Centro	*	6:00	13:50	75 km
	Centro - Sur				
	Sur				
Jueves	Norte				
	Centro-Norte				
	Centro	*	6:00	13:50	75 km
	Centro - Sur				
	Sur				
Viernes	Norte				
	Centro-Norte				
	Centro	*	6:00	13:50	75 km
	Centro - Sur				
	Sur				



Questionario: Dirigido a trabajadores del GAD Municipal de Tulcán en el área de Gestión Ambiental.

Objetivo específico: Analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos del GAD Municipal de Tulcán.

Vehículos

Vehículo 3

Personas que ocupan el vehículo:	N°	2	Marca del vehículo:	Hino	
			Placa del vehículo:	50126	
Capacidad del vehículo:	Toneladas:	9	Velocidad promedio km/h:	12	
	Kilos:	9000			
Rutas			Costos		
Rutas recorridas:	N°	Número de vertederos:	N°	Consumo de combustible por kilómetro	0,15
	1			Costo mensual de mantenimiento preventivo	225
				Salario operadores	1100
				COSTO TOTAL	1325,15

Información del Recorrido

Día	Sector	Recorrido		Distancia recorrida:	
		Hora de inicio	Hora de fin		
Lunes	x	Norte			
		Centro-Norte			
		Centro			
		Centro - Sur			
		Sur	x	14:00	22:00
Martes	x	Norte			
		Centro-Norte			
		Centro			
		Centro - Sur			
		Sur	x	14:00	22:00
Miércoles	x	Norte			
		Centro-Norte			
		Centro			
		Centro - Sur			
		Sur	x	14:00	22:00
Jueves	x	Norte			
		Centro-Norte			
		Centro			
		Centro - Sur			
		Sur	x	14:00	22:00
Viernes	x	Norte			
		Centro-Norte			
		Centro			
		Centro - Sur			
		Sur	x	14:00	22:00

Anexo 4: Matriz de las ubicaciones de contenedores reales

CONTENEDORES - Excel

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda ¿Qué

Calibri 11 A A

Pegar N K S Fuente A Alineación Combinar y centrar General \$ % 000 Número

G12

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	LATITUD	LONGITUD	CAPACIDAD CONT (KG)					
2	0,80563085	-77,72573082	450					
3	0,81191763	-77,7167845	450					
4	0,81279521	-77,71533074	450					
5	0,81497063	-77,71903092	450					
6	0,7998915	-77,72701078	450					
7	0,82060742	-77,70920433	450					
8	0,80328564	-77,71915779	450					
9	0,82102107	-77,71222106	450					
10	0,80810352	-77,73085855	450					
11	0,80071138	-77,73071897	450					
12	0,79598339	-77,73321155	450					
13	0,82173664	-77,70981556	450					
14	0,80557234	-77,71866555	450					
15	0,79932246	-77,72657949	450					
16	0,79679744	-77,73212583	450					
17	0,82125146	-77,70568556	450					
18	0,81191707	-77,71760145	450					
19	0,80839034	-77,7209836	450					
20	0,80901709	-77,72962028	450					
21	0,80323386	-77,72898802	450					
22	0,79719103	-77,72462999	450					
23	0,81920577	-77,70972213	450					

Ubicación contenedores Barrios sin contenedores Contenedores_ficticios Vertedero Salida ...

Anexo 5: Matriz de las ubicaciones de contenedores ficticios

CONTENEDORES - Excel

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda

Calibri 11 Fuente Alineación Ajustar texto Combinar y centrar Número

L113 0,797206885425314

	A	B	C	D	G	H	I	J
1								
2		Kg por habitante	0,65	kg por casa				
3								
4	BARRIOS	N° CASAS	KG POR BARRIO	N° DE CONTENEDORES	KG POR CONTENEDOR	LATITUD	LONGITUD	
5	NORTE							
6	Los Alamos	96	312	1	156	0,82396	-77,70456	
7				1	156	0,825	-77,70514	
8	Los Laureles	114	370,5	1	185,25	0,82589	-77,70306	
9				1	185,25	0,82579	-77,70386	
10				1	79,63	0,82632	-77,69778	
11	Clemente Guerrón	98	318,5	1	79,63	0,82592	-77,69764	
12				1	79,63	0,82623	-77,69687	
13				1	79,63	0,82782	-77,69825	
14	La Esperanza	97	315,25	1	157,63	0,8285	-77,69754	
15				1	157,63	0,83011	-77,699	
16	Cdla. Pulman Carchi	45	146,25	1	48,75	0,82692	-77,69438	
17				1	48,75	0,82551	-77,69431	
18				1	48,75	0,82758	-77,69506	
19	Ejido Norte	102	331,5	1	331,5	0,823107	-77,684317	
20	Fatima	80	260	1	130	0,82519	-77,68963	
21				1	120	0,82462	-77,68794	

Ubicación contenedores **Barrios sin contenedores** Contenedores_ficticios Vertedero Salida

Anexo 6: Autorización de la jefatura de Gestión de Residuos Sólidos del Municipio de Tulcán



Gobierno Autónomo Descentralizado
Municipal de Tulcán

Oficio N° 243-DGAR-JGRS-GADMT2020

Tulcán, 15 de diciembre 2020

MSc.

Javier Pozo

**DIRECTOR CARRERA DE LOGISTICA Y TRANSPORTE DE LA
UNIVERSIDAD POLITECNICA ESTATAL DEL CARCHI.**

Presente. –

La actual administración Municipal del Cantón Tulcán, tiene como uno de sus ejes estratégicos y prioritarios la Gestión Ambiental en nuestro territorio y más aún la Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

Teniendo en cuenta que es de vital importancia el correcto manejo de los residuos sólidos, la Dirección de Gestión Ambiental, es el área responsable de brindar el servicio de recolección, transporte y su disposición final, la cual tiene la responsabilidad de brindar el servicio de manera óptima, eficiente y de calidad.

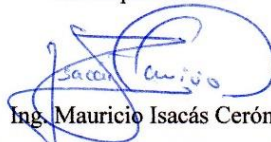
Actualmente en la ciudad de Tulcán se está manejando los residuos sólidos con un sistema mixto de recolección en la zona norte y sur con sistema de recolección a pie de vereda y un sistema contenerizado.

Con estos antecedentes me permito CERTIFICAR que la Jefatura de Gestión de Residuos del GADM Tulcán, brindara todas las facilidades para que la estudiante Yomaira Liceth García Quendi desarrolle su proyecto denominado **“Diseño de una ruta de recolección a los contenedores para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP”**

Particular que comunico, para los fines pertinentes.

Cordialmente,

“Tulcán para la Vida”



Ing. Mauricio Isacás Cerón

**JEFE DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
GAD MUNICIPAL DE TULCÁN**



Anexo 8: Validación de Abstract



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI
FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER**

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Yomaira Liceth García Quendí				
DATE: 17 de febrero de 2022				
TOPIC: "Diseño de una ruta de recolección para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos por contenedores del GAD Municipal de Tulcán con base en mecanismos de resolución de problemas VRP."				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Some progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Inadequate ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text <input type="checkbox"/>	The message has been communicated appropriately and identify the type of text <input type="checkbox"/>	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing <input type="checkbox"/>	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events <input type="checkbox"/>	Good flow of ideas and events <input type="checkbox"/>	Average flow of ideas and events <input type="checkbox"/>	Poor flow of ideas and events <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement <input type="checkbox"/>	Minor errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>	Some errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>	Lots of errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	TOTAL 9			
	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED			



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE
CENTER**

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

Autor: Yomaira Liceth García Quendí

Fecha de recepción del abstract: 17 de febrero de 2022

Fecha de entrega del informe: 17 de febrero de 2022

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según los rubrics de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9 por lo cual se validó dicho trabajo.

Atentamente



Hecho electrónicamente por:
EDISON BOANERGES
PENAFIEL ARCOS

Ing. Edison Peñafiel Arcos MSc
Coordinador del CIDEN