



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN BAJO LOS
CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA EMMAIPC-EP DEL
PUEBLO CAÑARI MEDIANTE SIG**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

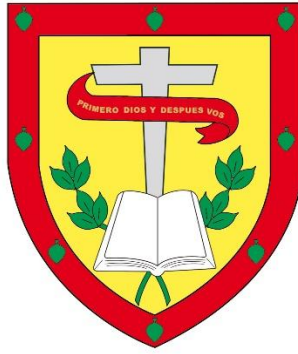
AUTOR: MOISES ZAMORA SIMBAINA

DIRECTOR: ING. PAÚL TEODORO URGILÉS BUESTÁN PH.D.

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN BAJO LOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA EMMAIPC-EP DEL PUEBLO CAÑARI MEDIANTE SIG.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: MOISES ZAMORA SIMBAINA

DIRECTOR: ING. PAÚL TEODORO URGILÉS BUESTÁN Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Moisés Zamora Simbaina portador de la cédula de ciudadanía N° 0302888219. Declaro ser el autor de la obra: "OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN BAJO LOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA EMMAIPC-EP DEL PUEBLO CAÑARI MEDIANTE SIG", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 26 de marzo de 2026

F:

Moisés Zamora Simbaina

0302888219

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Moisés Zamora Simbaina, bajo mi supervisión.



ING. PAÚL TEODORO URGILÉS BUESTÁN Ph.D.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por concederme salud y vida, por guiarme en mi camino para poder culminar esta carrera que tanto he anhelado.

Agradezco profundamente a mis padres, Gabriel Zamora y Rosa Simbaina, por su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria académica y por ser el pilar fundamental para alcanzar esta meta. A mis hermanos, Gabriel y Juan Zamora Simbaina, quienes me brindaron apoyo emocional y económico durante este proceso.

De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento a mi esposa Sisa Cango y a mi hijo, Jayden, quienes me ofrecieron apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, especialmente en los momentos más difíciles. Su confianza en mí fue un pilar fundamental para lograr este objetivo. Así mismo, agradezco a mi abuelita, Magdalena Espinoza, y mi prima Gladys Zamora por su constante apoyo emocional.

Extiendo también mi agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Paúl Urgilés Ph.D., por su orientación, acompañamiento constante y valiosas sugerencias a lo largo de este proceso, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis amigos Juan, Manuel y Rosa, así como a todos mis compañeros, quienes me brindaron apoyo moral, anímico y colaborativo durante este camino académico.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en el cantón Cañar en la parroquia urbana de Cañar, así como las parroquias rurales de Honorato Vásquez y Chorocopte, con el objetivo de optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos y de fortalecer la gestión y manejo integral de los residuos sólidos de la Empresa Pública Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañari (EMMAIPC-EP). La metodología empleada se fundamentó en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Utilizando el *software ArcGIS V.10.5* y su herramienta *Network Analyst*. Los resultados obtenidos evidencian que en la zona de estudio se genera aproximadamente 402.11 toneladas mensuales de residuos sólidos urbanos (EMMAIPC, 2023). En el escenario inicial, el sistema de recolección operaba con once micro rutas, recorriendo un total de 281.86 km y demandando cerca de 2,668 minutos (44.46 horas) de operación. Tras la optimización, el sistema se reestructuró a diez micro rutas, logrando una reducción de 5.75 km en la distancia recorrida, lo que evidenció una mejora notablemente en la eficiencia operativa y en el cumplimiento de criterios de sostenibilidad ambiental y económica.

Palabras clave: SIG, rutas optimas, residuos sólidos, Network Analyst, EMMAIPC-EP.

ABSTRACT

This research was conducted in the canton of Cañar, including the urban parish of Cañar as well as the rural parishes of Honorato Vásquez and Chorocopte, with the aim of optimizing urban solid waste collection routes and strengthening the integrated management of solid waste by the Municipal Public Company of Comprehensive Cleaning of the Cañari People (EMMAIPC-EP, by its acronym in Spanish). The methodology was based on the use of Geographic Information Systems (GIS), employing ArcGIS V.10.5 software and its Network Analyst tool. The results show that approximately 402.11 tons of urban solid waste are generated monthly in the study area (EMMAIPC, 2023). In the initial scenario, the collection system operated with eleven micro-routes, covering a total of 281.86 km and requiring approximately 2,668 minutes (44.46 hours) of operation. After optimization, the system was restructured into ten micro-routes, resulting in a reduction of 5.75 km in the distance traveled, which demonstrated a significant improvement in operational efficiency and compliance with environmental and economic sustainability criteria.

Keywords: GIS, optimal routes, solid waste, Network Analyst, EMMAIPC-EP.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	- 2 -
1.2 ANTECEDENTES.....	- 4 -
1.3 JUSTIFICACIÓN.	- 5 -
1.4 DEFINICIÓN DE ZONA DE ESTUDIO.	- 6 -
1.5 OBJETIVOS.....	- 7 -
1.5.1 Objetivo general	- 7 -
1.5.2 Objetivos específicos	- 7 -
CAPÍTULO II	- 8 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 8 -
2.1 ESTADO DE ARTE.....	- 8 -
2.1.1 Método heurístico.....	- 8 -
2.1.2 Algoritmo de solución	- 8 -
2.1.3 Método analítico computacional.....	- 9 -
2.2 MARCO TEÓRICO	- 9 -
2.3 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	- 10 -
2.3.1 Aplicación de SIG en recolección de residuos sólidos.	- 10 -
2.3.2 Network Analyst.	- 10 -
2.3.3 Algoritmo de Dijkstra.	- 11 -
2.3.4 Generación de residuos sólidos.....	- 11 -
2.4 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS	- 12 -
2.4.1 Método de esquina o parada fija.....	- 13 -
2.4.2 Método de recolección de acera.	- 13 -
2.4.1 Recolección y trazado de peine simple.....	- 14 -
2.4.2 Recolección y trazado doble.	- 14 -
2.5 TIPOS DE VEHÍCULOS DE RECOLECCIÓN.	- 14 -
2.5.1 Carga lateral	- 15 -
2.5.2 Carga frontal lateral	- 15 -
2.5.3 Carga trasera.....	- 15 -
2.6 RUTAS DE RECOLECCIÓN	- 15 -
2.6.1 Reglas básicas para el diseño de rutas	- 15 -
2.6.2 Macro rutas.....	- 16 -
2.6.3 Micro rutas.....	- 16 -
2.6.4 Optimización de rutas de recolección.	- 16 -

2.7	SOSTENIBILIDAD.....	- 16 -
2.7.1	Sostenibilidad ambiental	- 17 -
2.7.2	Sostenibilidad económica.....	- 17 -
CAPÍTULO III		- 18 -
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 18 -
3.1	MATERIALES.....	- 18 -
3.1.1	Equipamiento y materiales	- 18 -
3.1.2	Plataformas de software especializadas	- 19 -
3.2	METODOLOGÍA.....	- 21 -
3.2.1	Desarrollo del diagnóstico de la situación actual	- 22 -
3.2.2	Etapas del proceso de optimización de rutas mediante sistemas de información geográfica.....	- 35 -
3.2.3	Análisis de redes.....	- 39 -
3.2.1	Formulación de rutas.....	- 41 -
3.2.2	Análisis de tiempo de las rutas a una velocidad constante.....	- 43 -
CAPÍTULO IV.....		- 46 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 46 -
4.1	RESULTADO	- 46 -
4.1.1	De las rutas actuales de recolección considerando distancias y tiempos de operación. ...	- 46 -
4.1.2	Resultados asociados a la ruta de recolección actuales	- 47 -
4.1.3	Resultado de rutas óptimas.....	- 49 -
4.1.4	Comparación entre rutas actuales y rutas óptimas.....	- 54 -
4.2	DISCUSIÓN.....	- 57 -
CAPÍTULO V.....		- 59 -
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 59 -
5.1	CONCLUSIONES.....	- 59 -
5.2	RECOMENDACIONES	- 60 -
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 62 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Zona de Ubicación del estudio.....	- 7 -
Figura 2. Calculo de distancia mínimo de un nodo hacia otro nodo	- 11 -
Figura 3. Recolección tipo parada fija.....	- 13 -
Figura 4. Método de recolección por acera.....	- 14 -
Figura 5. Proceso para optimizar rutas mediante sig.....	- 22 -
Figura 6. Mapa de Red vial.....	- 26 -
Figura 7. Densidad poblacional.....	- 27 -
Figura 8. Distribución de los medidores de uso residencial.....	- 29 -
Figura 9. Ubicación del relleno sanitario y estación del camión recolector.....	- 32 -
Figura 10. Rutas de recolección de residuos de la EMMAIPC-EP	- 34 -
Figura 11. Zonificación de recolección de residuos sólidos de Cañar.....	- 39 -
Figura 12. Creación de geodatabase.....	- 41 -
Figura 13. Actividades en la plataforma para la formulación de rutas optimizadas.....	- 42 -
Figura 14. Resultados de la nueva ruta siguiendo las restricciones indicadas.....	- 43 -
Figura 15. Ventana de proceso para cálculo de tiempo de las rutas óptimas.....	- 45 -
Figura 16. Propuesta de rutas de recolección de residuos orgánicos para la EMMAIPC-EP.....	- 50 -
Figura 17. Propuesta de rutas de recolección de residuos inorgánicos para la EMMAIPC-EP.....	- 51 -
Figura 18. Comparación de micro rutas.....	- 55 -
Figura 19. Comparación de distancia de recorrido entre la actual y optimizada.....	- 55 -
Figura 20. Comparación de Números de viviendas.....	- 56 -
Figura 21. Comparación de tiempo de recorrido.....	- 57 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipamiento y materiales empleados en el estudio.	- 18 -
Tabla 2. Softwares especializados empleados en el estudio.	- 19 -
Tabla 3. Datos Cartográficos.	- 20 -
Tabla 4. Principales hallazgos del diagnóstico integral de la situación actual.	- 23 -
Tabla 5. Impactos multidimensionales identificados de la ineficiencia del sistema de recolección. ...	- 24 -
Tabla 6. Distribución de la red vial según estado de conservación en el cantón Cañar.	- 25 -
Tabla 7. Distribución de la red vial según estado de conservación en el cantón Cañar.	- 26 -
Tabla 8. Aspectos claves identificados del proceso para precisar la generación per cápita de residuos sólidos destacados del proceso.	- 30 -
Tabla 9. Datos del relleno sanitario identificado.	- 31 -
Tabla 10: Promedio mensual de residuos orgánicos e inorgánicos en el relleno sanitario.	- 33 -
Tabla 11: Números de vehículos de recolección en zona de estudio.	- 35 -
Tabla 12: Atributos del análisis de redes.	- 40 -
Tabla 13: Límites de velocidad permitidas para vehículos de transporte de carga en el Ecuador. ...	- 40 -
Tabla 14: Velocidad del camión recolector en jornadas de trabajo en zonas urbanas en España ...	- 44 -
Tabla 15: Descripción del camión recolector en jornadas de trabajo.	- 44 -
Tabla 16: Aspectos característico de las rutas que transitan los vehículos del sistema de recolección de residuos en Cañar.	- 46 -
Tabla 17: Información obtenida de la ruta actual.	- 48 -
Tabla 18: Resultados obtenidos de las rutas óptimas.	- 52 -
Tabla 19: Cobertura de viviendas de las rutas óptimas.	- 53 -
Tabla 20: Propuesta de frecuencia y horario para la rutas de la EMMAIPC-EP.	- 54 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento demográfico, acompañado de procesos de urbanización frecuentemente desordenados, ha configurado en numerosas ciudades latinoamericanas un escenario territorial complejo que demanda respuestas institucionales cada vez más sofisticadas. Estas dinámicas han obligado a los Estados y a los gobiernos locales a diseñar e implementar políticas públicas, que, si bien están orientadas al desarrollo urbano, en múltiples ocasiones se materializan en proyectos de infraestructura con efectos colaterales sobre el equilibrio ambiental. En consecuencia, la expansión urbana sigue consolidándose como una de las principales fuentes de la contaminación de los ecosistemas locales y regionales.

En tal aspecto, la incorporación de un enfoque efectivo de desarrollo sostenible en la gestión de residuos sólidos deja de ser una alternativa opcional y se convierte en un eje estratégico fundamental para la planificación urbana contemporánea. Esta integración requiere el respaldo de un marco normativo y legislativo sólido e idóneo, orientado a guiar el crecimiento territorial sin descuidar la protección ambiental ni el bienestar social. Bajo estas condiciones, la planificación territorial se constituye en una competencia esencial de los gobiernos autónomos descentralizados, cuya gestión debe promover una organización equilibrada entre las dimensiones ambientales, económicas y sociales, con el objetivo de minimizar los impactos negativos derivados de la expansión urbana (Rodríguez Guerra & Baca Cajas, 2022).

Dentro de este marco, el sistema Integral de Residuos Sólidos se configura como un proceso fundamental para la mitigación del riesgo ambiental y la mejora en la sostenibilidad de la calidad de vida poblacional. Desde esta perspectiva dicho sistema comprende un conjunto de acciones sistemáticas y coordinadas que abarcan todas las fases de los desechos sólidos urbanos, desde su origen hasta depositar lugares tales como rellenos sanitarios, botaderos, incluyendo las operaciones intermedias de almacenamiento, transporte y tratamiento.

Entre las diversas etapas que componen el sistema de manejo de residuos, la recolección, así como el traslado de los residuos domiciliarios adquiere un papel dominante tanto a nivel operativo como económico. Esta etapa implica el traslado organizado de los RSU desde los sitios de almacenamiento temporal hasta la colocación en el respectivo relleno sanitario. Su importancia radica en que la mayor parte de los costos asociados al servicio, representa entre el 50% y el 90% de los costos totales de operación, lo que convierte en un componente crítico de la eficiencia económica del sistema (Aguilar & Zambrano, 2015).

En Latinoamérica la cobertura de recolección domiciliaria alcanza aproximadamente el 81%. Para realizar el servicio de recogida y transporte desechos sólidos domiciliarios se utiliza diferentes tipos de vehículos, cuyas capacidades oscilan entre 3m³ y 15m³. La selección de estos vehículos, incluyendo unidades de menor tamaño para zonas de difícil acceso, depende directamente de las características topográficas, la accesibilidad vial y la capacidad económica de la municipalidad. En

esta zona se impone un método que recoge y transporta los residuos directamente desde su origen hasta su etapa final (rellenos sanitarios o botaderos), sin emplear estaciones de transferencia (Sáez, 2020).

En el Ecuador, la gestión ambiental forma parte de las competencias exclusivas de los gobiernos autónomos descentralizados (GADS). La gestión de residuos sólidos se desarrolla mediante tres modalidades principales: gestión directa por parte de los municipios (72.9%), gestión a través de empresas municipales (6.3%) y gestión mediante mancomunidades municipales (20,8%) (Araujo & Delgado, 2021).

Actualmente en el Cantón Cañar, la Empresa Municipal Mancomunada de Aseo Integral del pueblo Cañarí (EMMAIPC-EP), entidad encargada de la gestión integral de los desechos sólidos. Esta empresa en las parroquias de Cañar, Chorocopte y Honorato Vásquez realiza la recogida y el traslado de las basuras domiciliarias mediante 11 rutas organizadas según días, jornadas y tipo de desechos. La generación de residuos sólidos mensuales supera los 402.11 toneladas, con una producción per cápita promedio del 0.6104kg/hab/día (EMMAIPC, 2023). Sin embargo, el crecimiento poblacional, provoca el incremento de las nuevas familias y la expansión urbana mediante la construcción de nuevos domicilios, generando un aumento progresivo en la producción de basura. Este escenario representa un riesgo potencial de saturación y colapso del sistema de recolección actual.

Para llevar a cabo este estudio, se fundamenta en el uso de herramientas geoespaciales avanzadas, específicamente los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este ámbito, una de las aplicaciones más relevantes corresponde al uso de ArcMap y su módulo *Network Analyst*, que posibilitan la optimización de rutas. A través de esta tecnología es posible evaluar indicadores clave de desempeño, tales como el kilometraje recorrido, los tiempos efectivos de desplazamiento, facilitando así el diseño de sistemas de recolección más eficientes. Consecuentemente se logra obtener la disminución de costos operativos, el consumo de combustible y la mitigación al impacto ambiental (Gómez, 2021).

1.1 Problema de Investigación

En la etapa de recolección y traslados de desechos, las entidades municipales suelen realizar ajustes manuales en la asignación de conductores, la delimitación de rutas de recorrido y las áreas de cobertura, particularmente cuando se incorporan nuevos camiones recolectores. Dichos ajustes al no basarse en criterios técnicos de planificación y optimización, generan una distribución desigual de las cargas de trabajo, lo que deriva en una deficiencia en el servicio de recolección. Como resultado se produce desequilibrios operativos que afectan negativamente la cobertura, los tiempos de servicio y el nivel de satisfacción de los usuarios (Bertero et al., 2021).

Durante la jornada de recolección, una vez que el vehículo alcanza su capacidad máxima de carga, los residuos deben ser trasladados hacia el sitio de relleno sanitario o a las estaciones de transferencia. Sin embargo, en determinadas circunstancias, dicha capacidad se completa antes de culminar la ruta asignada, lo que obliga a realizar recorridos adicionales o dobles recolecciones. Esta situación incrementa significativamente las horas de trabajo, el gastos de combustible y el deterioro mecánico de los vehículos, generando ineficiencias operativas y aumento en los costos de mantenimiento del sistema (Bertero et al., 2021).

La Empresa Pública Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañari (EMMAIPC-EP), realiza la recolecta de residuos urbanos en los cantones de Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal, pertenecientes a la provincia del Cañar, Ecuador. Para ello dispone de quince camiones recolectores (PDOT, 2023). No obstante, hoy en día la empresa enfrenta varios problemas de carácter operativo y logístico que afectan la eficiencia del servicio.

En particular, en las parroquias de Cañar, Chorocopte y Honorato Vázquez, la recogida de residuos sólidos domiciliarios se lleva a cabo mediante un sistema de aceras, es decir, bajo la modalidad de recolección casa por casa (EMMAIPC, 2023). Sin embargo, este método operativo carece de la implementación de métodos y fundamentos básicos para la planificación y optimización de rutas, lo que ha causado impactos negativos en la gestión total de los desechos sólidos. Las rutas de recolección han sido diseñadas de forma empírica y reactiva, respondiendo únicamente al crecimiento de la demanda poblacional, sin un análisis técnico previo que asegure su eficiencia operativa. Esta situación ha ocasionado una distribución inadecuada de las rutas y ha provocado reiteradas molestias en la ciudadanía.

El mal diseño de las rutas de recolección de basura ha provocado un aumento significativo en los tiempos y en las trayectorias recorridas por los vehículos recolectores, en consecuencia el aumento del consumo de combustible fósil provocando la elevación de costos operativo del servicio (Argudo Garzón, 2019). Adicional a ello, los retrasos en la recolección que favorecen la proliferación de vectores como roedores, moscas, generando malos olores y afectando las condiciones sanitarias y ambientales de las zonas atendidas.

De igual manera, en las zonas de difícil acceso, la recogida de desechos sólidos no logra cubrir al cien por ciento, lo que causa mala práctica de la disposición final, como la quema de residuos o su vertido directo en ríos y quebradas, generando una contaminación directa al medio ambiente. A esto se suma la presencia de calles sin salida y retornos viales complejos que obligan a realizar maniobras adicionales, incrementando aún más los tiempos de operación y reduciendo la eficiencia global del sistema de recolección.

1.2 Antecedentes.

El tema central de esta investigación es optimizar los recorridos de recolección de desechos urbanos mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográfica). Diversas investigaciones a nivel nacional e internacional han demostrado que mediante el uso de esta herramienta se ha logrado mejorar significativamente la eficacia en los sistemas de recolección de basuras. Demostrando que la optimización de rutas es la estrategia más eficaz para abordar las deficiencias de este servicio tal como se indica a continuación:

Caso Internacional (Túnez): Un estudio realizado en la ciudad de Sfax (Ciudad portuaria de Túnez), en donde se analiza el sistema de recolección de residuos urbanos, con el propósito de mejorar su eficiencia operativa. En esta investigación se utilizó un análisis apoyadas en sistemas de información geográficas, para optimizar las rutas del recorrido del camión de basura, como resultados se obtiene una disminución de distancia recorrido de 166.75 km a 155.2 km y de la misma manera el tiempo operativo de 14.10 horas a 10.9 horas (Amal et al., 2020).

Caso Internacional (México): En México, las 13 estaciones de transferencia de residuos se encargaban de recibir los desechos sólidos para luego ser trasladados en camiones de mayor capacidad hacia los rellenos sanitarios. Sin embargo, tras al cierre de un Estaciones de Transferencia (ET), ocasionó varios problemas, entre ellos el incremento del tiempo de traslado de residuos de hasta cinco a seis horas. Para mejorar esta situación, se propone optimizar rutas de transporte mediante el uso de SIG. Como resultado, se logró reducir el número de rutas de 72 a 66. Esta reorganización permitió hacer más eficiente el transporte de residuos y, en consecuencia, disminuir los costos operativos el tiempo de viaje (Enciso Gómez et al., 2019).

Caso Latinoamericano (Cuba): En Cienfuegos, la recolección domiciliaria se realizaba tradicionalmente bajo el criterio empírico y la experiencia del conductor por ello se realiza la optimización de las trayectorias de recolección de desechos sólidos mediante la aplicación de un modelo matemático de Ruteo de Vehículos por Arcos. Obteniendo como resultado una disminución del 66% en la distancia total recorrida y, consecuentemente, en una reducción del 76% en el consumo de combustible, impactando positivamente la calidad del servicio (Pérez & Díaz, 2023).

Caso Latinoamericano (Perú): En el distrito de Moche al igual que en otros países en vías de desarrollo, la generación de residuos sólidos domiciliarios se ha incrementado. Consecuentemente ha generado una mala operación en la eficiencia del proceso de recolección y traslado de residuos, con la finalidad de mejorar esta situación se aplica herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) la cual se obtiene rutas con diseños más óptimos por lo tanto la disminución de costos operativos. El análisis del sistema operativo de las rutas actual se obtiene que la distancia de recorrido es de 21Km en un tiempo de 76 minutos (1.16 horas) y un consumo de combustible 26.77 gal/día. Con la utilización del SIG se obtuvo un mejoramiento y disminución de recorrido de 4.106 km/día menor a la ruta anterior, de igual forma en lo referente al combustible obteniendo un ahorro de 5.23 gl/día. Gracias a la aplicación de este sistema se disminuye un tiempo

de 29 minutos con relación a las anteriores rutas. Finalmente se ha obtenido un ahorro económico de 16.34% (Cárdenas Cabrera & Cuadra Arévalo, 2022).

Caso Latinoamericano (Colombia): En Colombia en la ciudad de Cúcuta al igual que el resto del mundo han buscado que los desechos sólidos disminuyan su impacto en el medio ambiente, por lo cual se ha tomado como principal análisis la recolección y traslado de residuos. En tal sentido era indispensable mantener rutas optimas que disminuyan tiempos, costos e impactos en el medio ambiente, viendo esta necesidad se realiza un proyecto para optimizar las rutas el cual fue desarrollado en 4 fases: las cuales consistían en la identificación de la población, la ubicación geográficas de los habitantes, el diseño de rutas optimas y la presentación del diseños de las rutas optimizadas utilizando *software* QGIS, el resultado fue evidente ya que se logró obtener rutas más rápidas y cortas, disminuyendo tiempos de recorrido de 50 minutos a 35, destacando así los beneficios obtenidos y la viabilidad de rutas optimas mediante SIG (Sánchez et al., 2025).

Caso Nacional (Cotopaxi): Una investigación en Latacunga (Cotopaxi) confirmó que la definición de las rutas se basaba en un método empírico ajustado al crecimiento urbano, provocando la impuntualidad de servicio de recolección, la mala distribución de contenedores de basura causando recorridos innecesarios. Para solucionar esta problemática se plantea optimizar rutas de recolección en dos zonas específicas mediante el uso de *software* ArcGIS. Los resultados mostraron mejoras significativas, ya que en la primera zona la distancia recorrida se redujo en un 3.09% y el consumo de combustible en un 2.57%; mientras que en la segunda zona el recorrido se disminuye a 3.84% y el consumo de combustible en un 4.17% (Masabanda & Guayasamín, 2021).

Caso Nacional (Cuenca): En el cantón Cuenca de acuerdo a una investigación realizada por Cusco & Picon, (2015), se evidenció que el sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios gestionadas por la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC-EP) mantenía una red de 48 rutas, para la prestación de servicio. La recolección se lo realizaba mediante distintas jornadas laborales, tanto en horario matutino como vespertino. Con la finalidad de mejorar el proceso de recolección los autores implementan herramientas de SIG utilizando ArcGis y su extensión *Network Analyst*. Gracias a este estudio se logra reducir el número de rutas a 19, lo que permitió reducir el tiempo de recolección y, en consecuencia, la disminución de consumo de combustible utilizados en la operación.

1.3 Justificación.

La administración de desechos sólidos representa uno de los retos más significativos para las comunidades tanto urbanas como rurales del Ecuador, por su influencia directa en la salud comunitaria, la conservación del entorno y el bienestar de los ciudadanos. Una administración inadecuada de los residuos sólidos provoca efectos negativos acumulativos, tales como la degradación de los ecosistemas, la proliferación de vectores y el deterioro de las condiciones sanitarias (Avendaño & Sanchez, 2024). Lo que intensifica la necesidad de efectuar soluciones que garantice una gestión más eficiente y sostenible.

La Empresa Pública Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañarí (EMMAIPC-EP) desempeña un rol importante en la gestión de los residuos sólidos del cantón. Esta entidad realiza la recogida de residuos desde el año 2011, implementando en la actualidad un sistema de recolección diferenciada entre desechos orgánicos e inorgánicos. Los trayectos, así como las frecuencias de recolección son definidas por la propia empresa, en función de las tipologías de cada zona. En el ámbito rural, el servicio se ejecuta mediante camiones medianos y pequeños, bajo esquemas de subcontratación, lo que ha permitido aumentar la cobertura y llegar a áreas de difícil acceso, contribuyendo así a una mejora continua del servicio de estas localidades (PDOT, 2023).

Sin embargo, la entidad presenta obstáculos operativos asociadas principalmente con la ineficiencia de las actuales rutas de recolección, al uso intensivo de los recursos como combustible, tiempo y personal, así como a la cobertura incompleta del servicio en determinadas zonas. Estas problemáticas evidencian la necesidad de incorporar herramientas tecnológicas para optimizar la planificación y las operaciones del sistema de recolección.

Bajo estas consideraciones, se propone la aplicación de técnicas de enrutamiento basada en el análisis computacional mediante (SIG), para optimizar las rutas de recolección en las parroquias de Cañar, Chorocopte y Honorato Vázquez. La implementación de esta propuesta, busca reducir el tiempo de desplazamiento y la distancia recorrida por los camiones recolectores, favoreciendo el diseño de un sistema de ruteo más eficiente. Como consecuencia, se espera una disminución de los costos operativos, una menor exposición de los residuos sólidos a la intemperie, contribuyendo así a la reducción de la contaminación ambiental y mejorará el desarrollo sostenible.

Adicionalmente, esta investigación pretende aportar al fortalecimiento del conocimiento sobre planificación urbana y gestión integrada de residuos sólidos, mediante el desarrollo de una propuesta metodológica que pueda ser adoptada por otros gobiernos locales en Ecuador que enfrentan desafíos similares en la organización y optimización de sus sistemas de recolección de residuos.

1.4 Definición de zona de estudio.

El cantón Cañar se encuentra ubicada en la región sur del Ecuador, que ocupa una superficie de 186,468.12 hectáreas, que representa el 57.7% del área total de la provincia del Cañar, llegando a ser el cantón con la mayor superficie. Presenta una topografía montañosa en su mayoría y se extiende a lo largo de sus ríos que lo atraviesan, se compone de una altitud desde los 1,000 hasta los 4,500 msnm, abarcando la costa, zona caliente, sierra y páramo, su temperatura promedio anual es de 11.8°C.(PDOT, 2023).

El estudio se desarrolló en la parroquia urbana de Cañar, ubicada a la cabecera cantonal con una superficie de 7,204 ha que representa 3.86% de la zona Total del cantón. Asimismo, se incluyeron las parroquias rurales de Honorato Vázquez que cuenta con una superficie de 7,686 ha y Chorocopte con una extensión de 3,864 ha las mismas que representa 4.12% y 2.07% de la zona Total del cantón Cañar (PDOT, 2023), En la Figura 1 se puede observar la zona de estudio.

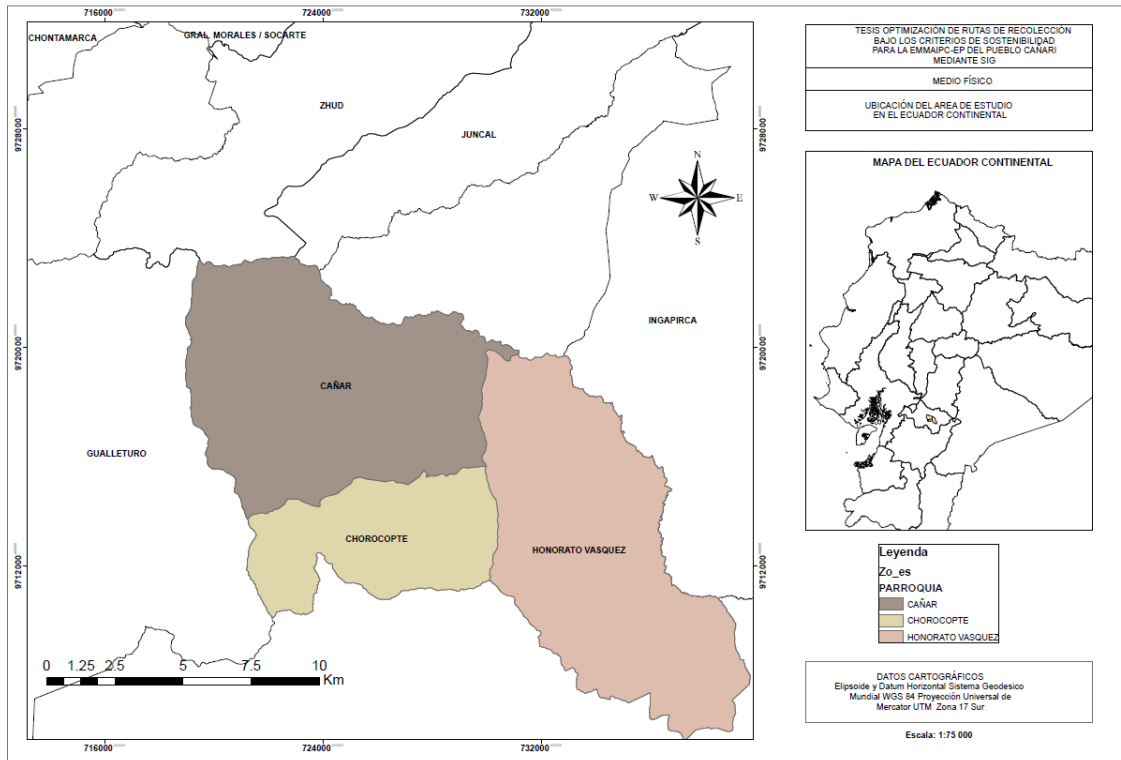


Figura 1. Mapa de Zona de Ubicación del estudio

Fuente: Geo portal IGM

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos domiciliarios para la zona de Cañar de la EMAIPC-EP del pueblo Cañari aplicando herramientas tecnológicas SIG.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar las rutas actuales de recolección de residuos sólidos de Cañar, identificando las distancias y tiempos mediante software ARCGIS.
- Optimizar rutas de recolección de residuos sólidos para la EMAIPC-EP usando herramientas tecnológicas como los sistemas de información geográfica.
- Realizar una comparación de distancia y tiempos entre rutas actuales y rutas optimas de recolección de residuos sólidos de Cañar.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estado de arte.

El estudio y la optimización de rutas es considerado un área de investigación muy importante en disciplinas como el transporte, la gestión de emergencias y la planificación urbana. En estas áreas, la necesidad de mejorar la eficiencia del comercio de bienes y servicios ha impulsado el desarrollo de métodos cada vez más sofisticados. En particular, los sistemas de información geográfica (SIG) han jugado un papel esencial gracias a su capacidad para integrar, analizar y representar con precisión información geográfica, facilitando la toma de decisiones basadas en criterios técnicos y territoriales.

En el contexto específico de la recolección de residuos sólidos urbanos, los métodos utilizados para el diseño y la optimización de rutas se pueden agrupar en dos enfoques básicos: el enfoque heurístico tradicional de carácter empírico, y el enfoque analítico computacional, basado en la investigación de operaciones y geo matemática. Ambos enfoques comparten un objetivo común la de minimizar la distancia recorrida, el tiempo de operación y los costos asociados, esto con el propósito de maximizar la eficiencia del servicio de recolección (López et al., 2022).

2.1.1 Método heurístico

La mayoría de las heurísticas utilizadas para la resolución del *Vehicle Routing Problem* (VRP) se desarrollaron entre las décadas de 1,960 y 1,990, cuando se sentaron las bases para resolver problemas de rutas a gran escala. El objetivo de este enfoque es crear rutas convenientes. Estos procedimientos se caracterizan por su simplicidad y rapidez, ya que realizan una exploración limitada del área de búsqueda y generan soluciones aceptables en tiempos moderados (Rocha & González, 2011).

Una característica relevante de los métodos heurísticos es su capacidad de adaptación para incorporar restricciones adicionales al problema clásico del VRP. En este sentido, muchas de estas técnicas han sido desarrolladas específicamente para mejorar los problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad *Capacitated Vehicle Routing Problem*, (CVRP), dado que este representa uno de los casos más comunes y estudiados en la literatura. La mayoría de los escenarios reales de recolección de residuos consideran vehículos con capacidades definidas, lo que explica el énfasis investigativo en este tipo de formulaciones.

2.1.2 Algoritmo de solución

El enfoque heurístico define algoritmos meta heurísticos, que son métodos generales que se pueden aplicar a muchos problemas de optimización, incluido el VRP. Estas técnicas aproximadas han sido desarrolladas para resolver problemas de optimización combinatoria donde la heurística

clásica tiene limitaciones. Su principal ventaja es su alta flexibilidad, que les permite adaptarlas a una variedad de situaciones y limitaciones operativas (Pérez & Díaz, 2023).

En cuanto a los algoritmos meta heurísticos más utilizados para la resolución del VRP, incluyendo métodos de escaneo o algoritmos de parcheo, dividir la red de rutas grupos de demanda utilizando coordenadas polares desde un punto central o vertedero, realizando comprobaciones sistemáticas para generar rutas. Así mismo, el algoritmo de búsqueda tabú implica en comparar la solución factible inicial factible con un conjunto dado de soluciones vecinas y seleccionar aquellas que mejoren efectivamente el objetivo planteado. Por su parte, el algoritmo de colonia de hormigas se inspira en el comportamiento natural de estos insectos en la búsqueda de alimento, modelando el proceso de ruteo mediante funciones de probabilidad que permiten la transición entre estados de solución (Cadena Gonzales, 2018).

2.1.3 Método analítico computacional

El método analítico computacional se presenta como uno de los métodos alternativos más adecuadas para optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos integrando métodos matemáticos y computacionales para obtener soluciones óptimas. Este enfoque nos permite reducir costos operativos, mejorar la eficiencia del servicio y minimizar el impacto ambiental de las operaciones de recogida, incidiendo positivamente en la gestión integrada de residuos municipales. Además, este método contribuye de manera significativa a la sostenibilidad de las ciudades, al facilitar la toma de decisiones basadas en criterios objetivos y cuantificables, fortaleciendo así los procesos de planificación urbana adecuada y una gestión de desechos sólidos sostenible (Ordoñez & Gómez, 2024).

2.2 Marco teórico

La fundamentación teórica de este estudio proporciona información sobre los enfoques conceptuales y metodológicos que respaldan el análisis de una gestión eficaz de los residuos sólidos urbanos. En particular, este estudio se centra en la optimización de las rutas de recolección de residuos, la cual se entiende como una estrategia importante para acortar el recorrido y el tiempo de operación de los camiones recolectores de basura, aspectos que impactan directamente en los costos de mantenimiento, el consumo de combustible y los daños ambientales relacionados con esta actividad.

La incorporación de herramientas tecnológicas se considera uno de los elementos clave de la mejora continua del sistema de recolección. Entre estas herramientas, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se expone como una solución integral para fortalecer la planificación, el análisis y la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos. No obstante, la efectividad de su implementación depende en gran medida de una adecuada administración de los recursos tecnológicos, orientada a maximizar su aprovechamiento y a garantizar un servicio efectivo que garantiza el diseño adecuado de rutas conforme a las expectativas y necesidades de la ciudadanía.

Sobre esta base, el marco teórico del presente estudio se estructura a partir de conceptos fundamentales relacionados con el uso de los SIG y su aplicación en la mejora de la operación y diseños de rutas de recolección, los cuales se desarrollan a continuación.

2.3 Sistemas de Información Geográfica

Son las tecnologías más utilizadas en la actualidad para capturar, almacenar, manipular, analizar y visualizar la información espacial. Su principal característica se basa en la capacidad de integrar datos georreferenciados con información descriptiva o alfanumérica, permitiendo la construcción de bases de datos espaciales organizadas generalmente en forma de mapas digitales. Estos mapas representan entidades del mundo real mediante coordenadas geográficas precisas, lo que facilita el análisis territorial y la interpretación de fenómenos complejos (Jiménez et al., 2017).

2.3.1 Aplicación de SIG en recolección de residuos sólidos.

En la gestión de residuos sólidos urbanos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han establecido como un recurso tecnológico esencial para el estudio, integración y visualización de datos geoespaciales. Estas plataformas posibilitan ilustrar con exactitud la distribución espacial de la producción de desechos, la infraestructura de las vías, las zonas de servicio y la localización de instalaciones vinculadas al sistema de administración, tales como estaciones de transferencia y vertederos. La aplicación de los SIG en este ámbito facilita la optimización de las rutas de recolección, al permitir la modelación de redes viales, la evaluación de distancias, tiempos de desplazamiento y restricciones operativas, así como la simulación de escenarios alternativos (Barrera & Ibarra, 2018).

La determinación de rutas mediante SIG implica seguir una serie de pasos sistemáticos, que incluyen la adquisición de datos geográficos precisos y relevantes para la zona de estudio, la creación de una red de transporte que represente adecuadamente la infraestructura vial disponible, la definición de criterios de evaluación, tales como distancia, tiempo y costo el análisis y comparación de rutas alternativas, y finalmente, la selección de la ruta que mejor cumpla con los criterios establecidos (Moran Choez, 2024).

2.3.2 Network Analyst.

En *ArcGIS* el *Network Analyst* es una herramienta que utiliza el algoritmo de Dijkstra para solucionar problemas de redes, en las que se puede optimizar rutas. Esta herramienta contribuye de manera significativa al ahorro de tiempo y recursos económicos, al permitir la creación e implementación de planes de ruteo diarios destinados a resolver problemas complejos de enrutamiento de vehículos. Asimismo, posibilita la realización de análisis espaciales posteriores a la ejecución de las rutas, lo que facilita una comprensión más profunda del comportamiento de la red de transporte. De esta manera puede integrarse con los flujos de trabajo y los sistemas empresariales existentes, incrementando la eficiencia global del servicio de recolección (Bedoya Arias & Bedoya Muñoz, 2017).

2.3.3 Algoritmo de Dijkstra.

El algoritmo Dijkstra fue creada en el año de 1959 por el holandés Edsger Wybe Dijkstra (Sánchez & Lozano, 2000), su función es encontrar distancia más corta de un nodo origen a un nodo cualquiera (Restrepo & Sanchez, 2004). En ciertos casos, no solo resulta relevante determinar el costo mínimo de un camino entre dos vértices específicos, sino también identificar el recorrido más corto que debe desplazarse de uno nodo hacia otro cubriendo varios vértices (Salas, 2008). En la Figura 2 se puede visualizar la matriz Dijkstra en donde se encuentra un camino de coste mino desde a hasta z como resultado se obtiene que el camino más corto recorre por los nodos (a, b, c, d) en donde tiene un valor de 10. Tal como se observa en la Figura 2. Principalmente se utiliza para solucionar problemas de ruteo, ya que permite identificar trayectorias óptimas en términos de distancia, tiempo o costo, dependiendo del criterio de análisis definido (Marchena, 2015).

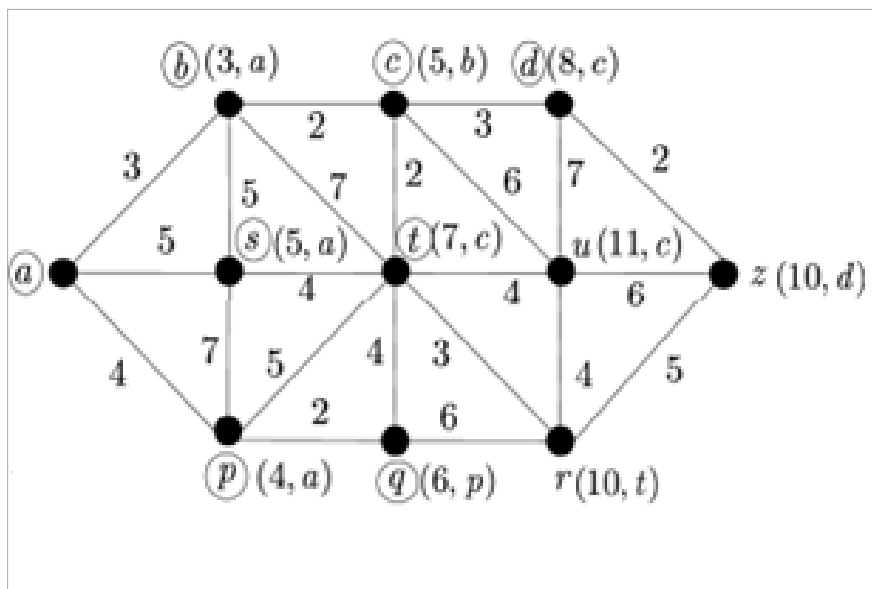


Figura 2. Calculo de distancia mínimo de un nodo hacia otro nodo

Fuente: (Salas, 2008)

2.3.4 Generación de residuos sólidos.

La generación de residuos sólidos constituye una de las etapas iniciales y más relevantes en el sistema de gestión integral de desechos sólidos. Este indicador se expresa comúnmente en (kg/hab/día) y permite cuantificar la cantidad de desechos generadas por una población determinada. El análisis de estos valores resulta fundamental para el diseño y dimensionamiento de las etapas posteriores del sistema, tales como el transporte, el tratamiento y la disposición final en rellenos sanitario (Marquez Benavides, 2016).

Cabe señalar que la generación de desechos sólidos urbanos no es homogénea entre distintas poblaciones. Las cantidades y tipologías de residuos cambian dependiendo de diversos factores, entre los más notables se encuentran el estatus económico, la magnitud de la población, el periodo del año y las fuentes de generación. Estas diferencias condicionan la planificación del

sistema de recolección y deben ser consideradas para garantizar una gestión eficaz y adaptada con la realidad del local (Tello Espinoza et al., 2018).

Se clasifican según su origen en: residuos urbanos o municipales, residuos peligrosos. A continuación, una breve descripción de cada uno de ellos: Los residuos peligrosos por tener como característica de corrosivo, reactivo explosivo, tóxico, inflamable o biológico como aerosoles, hospitalarios y otros. Los residuos urbanos o municipales son los que se genera habitualmente en los domicilios, el comercio u oficinas, así como aquellos que no se encuentran catalogados como peligrosos. Los residuos urbanos se definen en los siguientes:

- Los residuos que provienen de la limpieza ya sean de vías, áreas recreativas, zonas verdes, etc.
- Animales domésticos muertos, así también los muebles, enseres, vehículos que son abandonados entre otros.
- Residuos o escombros provenientes de trabajos de edificación y en su defecto de reparación domiciliaria (Castells, 2012).

2.4 Recolección y transporte de residuos sólidos

El traslado de desechos sólidos constituye la conexión operativa entre la disposición inicial de los desechos y su destino final, además de los procesos intermedios que puedan surgir. Para que este servicio se desarrolle de manera eficiente y equitativa, es necesario que se encuentre debidamente organizado, evitando la generación de malos olores, ruidos molestos y situaciones de desorden urbano (Rondón Toro et al., 2016). La eficacia de estos servicios depende en gran medida del modelo de gestión integral de residuos sólidos adoptado por el municipio o la región, así como del conocimiento detallado de las características de los desechos, tales como su composición, densidad y tasas de generación (Marquez Benavides, 2016; Tello Espinoza et al., 2018).

En la mayor parte estos procesos, recae en las municipalidades o en los servicios públicos de aseo. Independientemente de la entidad encargada, resulta indispensable garantizar la supervisión y el control de las etapas de recolección, transporte y disposición final, con el fin de asegurar la continuidad y calidad del servicio prestado a la población (Rondón Toro et al., 2016).

En la etapa de recolección y traslados de basuras debe ajustarse a los principios básicos de eficiencia, eficacia en la satisfacción de las necesidades de la población, equidad en la cobertura urbana y rural, fiabilidad mediante una prestación permanente y consistente; y seguridad, procurando un bajo impacto ambiental y la protección de la salud pública.

A continuación, se describe los diferentes métodos de recolección:

2.4.1 Método de esquina o parada fija.

Estos son lugares designados dentro de la red vial donde los residentes pueden depositar desechos en un lugar fijo que luego serán cargados al camión recolector (Mendieta, 2021).

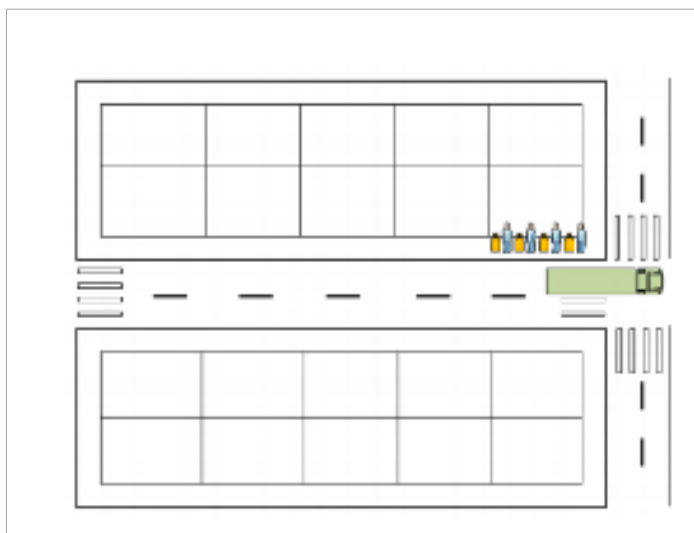


Figura 3. Recolección tipo parada fija.

Fuente: (Mendieta, 2021)

2.4.2 Método de recolección de acera.

Consiste en un camión recolector que recorre cada una de las calles siguiendo un recorrido determinado, avisando a los usuarios con una bocina sonora para eliminar sus desechos que luego son recogidos por los operadores. Durante este proceso, el camión recolector debe circular a baja velocidad, ya que debe detenerse cuando se observe que haya contenedores o bolsas de desechos (Mendieta, 2021).

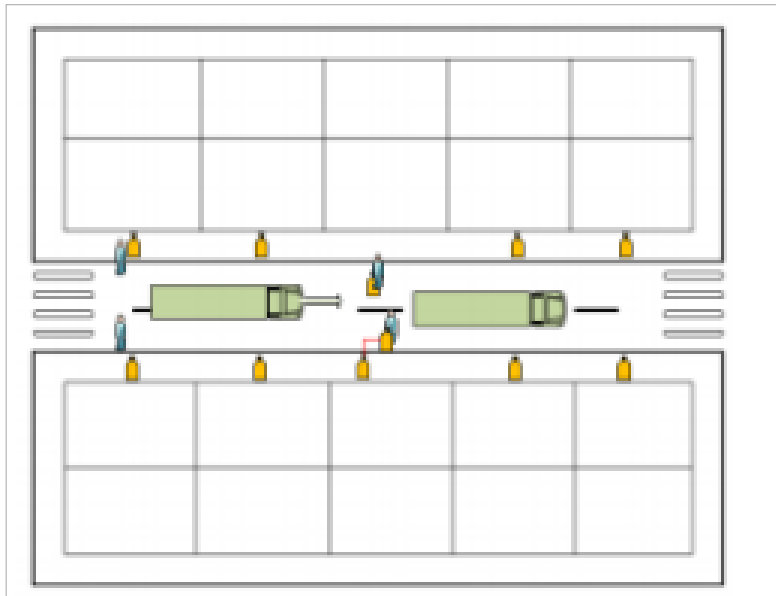


Figura 4. Método de recolección por acera.

Fuente: (Mendieta, 2021)

2.4.1 Recolección y trazado de peine simple

El trazado de peine simple consiste en la recolección de residuos en ambos lados de la vía en una misma jornada, recorriendo cada calle una sola vez. Este tipo de diseño se recomienda principalmente para zonas extensas con baja densidad poblacional. En estos casos, es preferible establecer recorridos largos y reducir al máximo los giros a la derecha, con el fin de mejorar la continuidad del trayecto y disminuir los tiempos de operación.

Este esquema se diferencia del trazado doble, ya que en este último la recolección se realiza en ambos lados de la vía, pero mediante al menos dos recorridos, lo que puede implicar pasar por la misma calle en distintas jornadas o realizar un recorrido por cada lado de la vía. Esta diferencia tiene implicaciones directas en los tiempos y costos operativos del sistema (Salazar & Guardado, 2008).

2.4.2 Recolección y trazado doble.

El trazado doble se caracteriza por realizar la recolección en un solo lado de la calle por cada pasada del camión recolector, requiriendo al menos dos recorridos para cubrir completamente la vía. Este tipo de diseño se utiliza principalmente en áreas con alta densidad poblacional o elevada actividad comercial, donde la generación de residuos es mayor y se hace necesario optimizar el recorrido concentrándolo en un lado específico de la vía (Salazar & Guardado, 2008).

2.5 Tipos de vehículos de recolección.

Los vehículos utilizados para recolección de residuos sólidos varían según su mecanismo de carga y las características del servicio. Entre los más comunes se encuentran los camiones compactadores, que pueden operar con carga trasera, lateral o superior; los camiones no

compactadores, como los volquetes; los vehículos de carga lateral automatizada; y las barredoras destinadas a la limpieza viaria. Así mismo, existen camiones equipados con grúa para la recolección de residuos voluminosos o grandes contenedores.

2.5.1 Carga lateral

Los camiones de carga lateral son utilizados principalmente en grandes ciudades y cuentan con capacidades de recolección que oscilan entre 14 y 25 m³. Su sistema de recogida es motorizado, lo que elimina la manipulación manual de los contenedores por parte del personal. Una de sus ventajas más significativas es que disminuye la cantidad de operarios requeridos, ya que una sola persona puede ejecutar la mayor parte de las operaciones. No obstante, entre sus desventajas se encuentra la dificultad para recolectar residuos depositados fuera de los contenedores (Euformación Consultores, 2017). Este tipo de vehículo permite la recolección automatizada o manual desde uno de los costados, resultando adecuado para espacios reducidos.

2.5.2 Carga frontal lateral.

Los vehículos de carga frontal lateral son ampliamente utilizados en ciudades españolas. En este sistema, el contenedor se ubica en un lateral del vehículo y puede ser recolectado tanto mediante carga lateral como frontal, lo que reduce los problemas asociados al estacionamiento del camión frente al contenedor. Esta versatilidad mejora la eficiencia operativa en entornos urbanos complejos (Euformación Consultores, 2017).

2.5.3 Carga trasera

Este tipo de camiones hoy en día son las más usadas, su capacidad de recolección varía entre 5 y 23 m³. En este sistema se descargan los contenedores por la parte trasera del vehículo recolector para su operación se necesita un conductor, dos operarios para la recogida de residuos (Euformación Consultores, 2017)

2.6 Rutas de recolección

Las rutas de recolección constituyen un elemento clave para la gestión eficiente de los servicios de limpieza urbana. Su diseño tiene como objetivo reducir el tiempo que toma el viaje, la cantidad de combustible utilizada y los costos de operación, asegurando una cobertura del servicio apropiada. Para su planificación se consideran factores como la densidad poblacional, la generación de residuos, la topografía, la accesibilidad vial, los horarios de recolección y las restricciones existentes en la red de transporte (Rosales Ibarra, 2015).

2.6.1 Reglas básicas para el diseño de rutas

El diseño de rutas de recolección debe cumplir una serie de principios técnicos orientados a mejorar la eficiencia del servicio. Entre ellos se destaca la necesidad de evitar la fragmentación y el traslape de recorridos, procurando que cada ruta se mantenga dentro de una misma área urbana. En zonas con pendientes pronunciadas, se recomienda realizar los recorridos desde las partes altas hacia las bajas, atendiendo primero las hondonadas cuando el vehículo aún transporta poca carga.

Asimismo, es fundamental respetar el sentido de circulación y las restricciones de giro, evitando volteos en U y a la izquierda, debido a que incrementan los tiempos de operación, generan riesgos y afectan el tránsito. En calles con alto flujo vehicular, la recolección debe programarse en horarios de menor congestión. En el caso de calles cortas o sin salida, resulta más eficiente que los vehículos recolectores permanezcan en la esquina y que el personal traslade los residuos, o que los usuarios los depositen en puntos cercanos a la ruta principal, optimizando así el tiempo de operación (Moreno & Arriaga, 2006).

2.6.2 Macro rutas

La división geográfica de la ciudad en áreas homogéneas tiene como propósito balancear las cargas de trabajo entre las distintas cuadrillas de recolección. Este procedimiento persigue la optimización del empleo de los recursos disponibles, la maximización de la eficiencia, y garantizar condiciones laborales equiparables en todas las rutas del sistema. El macro ruteo se desarrolla en dos etapas: un proyecto de gabinete, donde se calculan de manera teórica las cargas asignadas a cada vehículo, y un ajuste de campo, en el que se redefinen los límites de las áreas para balancear efectivamente las cargas de trabajo (Tello Espinoza et al., 2018).

2.6.3 Micro rutas.

Las micro rutas corresponden a la descripción detallada del recorrido que deben seguir los vehículos recolectores y las cuadrillas a nivel de vías y manzanas. Su objetivo principal es garantizar la recolección integral de los residuos sólidos urbanos generados por la población, reduciendo los tiempos de operación y evitando giros innecesarios, retrocesos y maniobras complejas en vías de difícil acceso (Anchía Leitón, 2018; Tello Espinoza et al., 2018).

2.6.4 Optimización de rutas de recolección.

Es un proceso orientado a identificar recorridos más eficientes para los vehículos recolectores, utilizando la mínima cantidad de recursos. Entre sus principales beneficios se encuentran la minimización de costos operativos, la reducción de distancias recorridas y tiempos empleados por los camiones recolectores, que provoca la reducción de emisiones de gases de efecto invernaderos (Dipas, 2024).

Adicionalmente, la optimización de rutas facilita el trabajo de conductores y personal operativo, mejorando sus condiciones de seguridad y bienestar. Para lograr estos objetivos, es necesario considerar aspectos como el tráfico, el estado de las vías, la topografía y las distancias entre paradas y puntos de estacionamiento (Mendieta, 2021).

2.7 Sostenibilidad.

La sostenibilidad se entiende como un proceso dinámico de articulación entre los ámbitos económico, social, cultural y ambiental, orientado a satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Este enfoque implica una

responsabilidad global y permanente, basada en una distribución justa y equitativa de los beneficios económicos y sociales, con la participación activa de personas, comunidades, pueblos y nacionalidades (COA, 2017).

2.7.1 Sostenibilidad ambiental

El tratamiento adecuado de los residuos sólidos aporta de manera significativa a reducir la contaminación del medio ambiente relacionada con cada una de las etapas de su gestión. Entre estos impactos se incluyen la polución del aire y del agua, además de la participación en el cambio climático. La implementación de prácticas sostenibles y la reducción en la generación de residuos permiten proteger el medio ambiente y disminuir los efectos negativos derivados de una gestión ineficiente (TULSMA, 2017).

2.7.2 Sostenibilidad económica

En el servicio de recolección de residuos sólidos, pese a la existencia de subsidios municipales, el sector público suele asumir costos innecesarios. Estos gastos adicionales pueden perjudicar la calidad del servicio que se brinda, repercutiendo de manera directa en la salud y el bienestar de la población, además de restringir la posibilidad de invertir en otros servicios públicos y comprometer la sostenibilidad del sistema. Además, la ineficiencia económica puede generar inequidades en la distribución de los costos del servicio, beneficiando a algunos usuarios en detrimento de otros (Moreno & Arriaga, s. f.).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

La ejecución del trabajo investigativo demandó la integración de diversos recursos tecnológicos, materiales de apoyo y plataformas computacionales especializadas, cuya selección obedeció a los requerimientos específicos del análisis geoespacial y el modelamiento de redes de transporte. Estos elementos constituyeron la infraestructura técnica sobre la cual se desarrollaron las etapas de recopilación, procesamiento, análisis y validación de la información territorial.

3.1.1 Equipamiento y materiales

El procesamiento de la información geográfica se ejecutó mediante un conjunto de recursos físicos y digitales que garantizaron la adecuada manipulación de datos espaciales de considerable volumen. La Tabla 1 expone las características técnicas del equipamiento empleado durante las distintas fases de la investigación.

Tabla 1. Equipamiento y materiales empleados en el estudio.

Tipo de recurso	Descripción técnica	Aplicación en la investigación
Equipo de cómputo	MacBook Air 2017 • Procesador: Intel Core i5 • Tarjeta gráfica: Intel HD Graphics 6000 • Memoria RAM: 8 GB DDR3 • Sistema operativo: macOS	Procesamiento de capas, edición cartográfica, modelamiento de redes viales, ejecución de algoritmos de optimización y generación de layouts de salida
Dispositivos de almacenamiento	Memorias USB de respaldo (32 GB y 64 GB)	Resguardo periódico de geodatabases, transferencia de archivos entre equipos, archivo de versiones de trabajo
Material de campo	Cuaderno de registros técnicos formato A5	Anotación de observaciones in situ, esquemas preliminares de rutas, registro de coordenadas GPS, bitácora de incidencias
Material cartográfico	Planos impresos formato A4 • Impresión a color	Revisión manual de la información cartográfica y la contrastación visual de los recorridos analizados.

Fuente: Elaboración propia.

El equipo de cómputo elegido demostró capacidad suficiente para gestionar archivos *shapefile* multicapa, *geodatabases* relacionales y *datasets* de red sin experimentar limitaciones operativas significativas. Los dispositivos de almacenamiento externo resultaron indispensables para implementar un protocolo de respaldo diferencial que minimizó el riesgo de pérdida de información durante el desarrollo del estudio.

3.1.2 Plataformas de software especializadas

El análisis espacial y la optimización de rutas se fundamentaron en el uso de *software* profesional certificado para aplicaciones en ingeniería territorial. La Tabla 2 sintetiza las herramientas computacionales implementadas, sus características principales y su función específica dentro del proceso metodológico.

Tabla 2. Softwares especializados empleados en el estudio.

Software	Desarrollador	Versión	Funcionalidad principal	Aplicación específica	Ventajas
ArcGIS Desktop	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	10.5	Sistema de Información Geográfica multipropósito para análisis espacial avanzado	Aplicación en áreas como la ingeniería civil, la planificación urbana, la gestión ambiental y el análisis del transporte	Capacidad de integrar datos espaciales con información alfanumérica, modelar redes complejas y ejecutar análisis orientados a la toma de decisiones territoriales
Network Analyst	ESRI (extensión de ArcGIS)	10.5	Módulo especializado en análisis de redes de transporte y optimización de rutas	Creación de network dataset, configuración de atributos de impedancia, resolución de problemas VRP, generación de rutas óptimas, cálculo de matrices origen-destino	
Google Earth Pro	Google LLC	7.3.4	Visualizador geoespacial con imágenes satelitales de alta resolución	Reconocimiento visual del territorio, validación de cartografía base, identificación de vialidad no registrada, verificación de accesibilidad	

Fuente: Elaboración propia.

A través de *ArcGIS*, durante el proceso de desarrollo de la investigación fue posible la generación del modelo de la red de transporte. Lo anterior se logró a partir de la digitalización, así como de la configuración topológica del sistema vial presente en Cañar, lo que constituyó la base previa que ayudó a llevar a cabo la simulación de las rutas que son llevadas en la actualidad por las unidades del sistema de recolección de la localidad. Sobre la base de este proceso de simulación, se generaron condiciones para realizar análisis comparativos de alcance cuantitativo entre las condiciones de las trayectorias seguidas por las rutas de los camiones de recolección de residuos sólidos y las nuevas rutas planteadas como óptimas, las cuales se generaron con el apoyo del SIG

y algoritmos de optimización. Las contrataciones incluyeron aspectos tales como el tiempo de viaje, extensión de las rutas y la efectividad del servicio antes y después de la propuesta, en lo que respecta a la cobertura territorial de este.

El análisis espacial también involucró el uso de la extensión *Network Analyst*, el cual forma parte del aplicativo *ArcGIS*. Este módulo es generalmente empleado en procesos de evaluación de redes de transporte y análisis de rutas de vehículos para precisar problemas que inciden en parámetros como tiempos de recorrido, entre otros. Los algoritmos de optimización con los cuales cuenta este módulo de *ArcGIS*, como el caso del algoritmo denominado Dijkstra, facilitaron identificar las trayectorias actuales y estructurar trayectorias mejoradas, teniendo en consideración un conjunto de parámetros como restricciones existentes, tiempo de recorrido, longitud del recorrido.

Como elemento favorable y que sirvió como argumento para el empleo de este módulo, es que existe una significativa cantidad de estudios en los cuales se ha implementado de forma exitosa esta herramienta. Es por ello que su empleo en este estudio fue considerado apropiado, además de que emplea variables con las cuales se cuenta y que pueden ser fácilmente medibles.

Adicionalmente, se incorporó el *software Google Earth Pro*, desarrollado por Google LLC, como instrumento auxiliar de reconocimiento visual mediante imágenes satelitales georreferenciadas. Su utilización permitió contrastar la cartografía base oficial con las condiciones físicas efectivas del territorio, lo que resultó fundamental para detectar elementos infraestructurales no registrados, corroborar la existencia y estado de la red vial digitalizada, y verificar las condiciones de accesibilidad vehicular en sectores críticos. De esta manera, se complementó el análisis técnico ejecutado en el entorno SIG con evidencia fotogramétrica actualizada del área de estudio.

Se dispuso de un conjunto de insumos cartográficos en formato vectorial (*shapefiles*), los cuales representaron los diferentes componentes territoriales y operacionales considerados en el análisis tales como trama vial con clasificación funcional, delimitación político-administrativa de la zona de intervención, distribución espacial de unidades habitacionales y polígonos de cobertura del servicio de aseo público. Estos archivos geográficos conformaron la estructura de datos espaciales sobre la cual se edificó tanto la *geodatabase* del proyecto como el posterior modelamiento de red y los procesos de optimización de itinerarios de recolección. La Tabla 3 presenta los tipos de datos cartográficos empleados.

Tabla 3. Datos Cartográficos.

Datos	Fuentes
Límites: Departamental, provincial Distrital	Geo portal IGM
Red de transporte Cantonal	Movilidad Transporte y Convivencia del Cantón Cañar
Números de viviendas	EMMAIPC-EP

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Metodología

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección, análisis y procesamiento de información para mejorar las trayectorias de recolección. Adicional a esto se utilizaron técnicas SIG, y la utilización del *software* ArcGis junto con su complemento *Network Analyst*, que emplea el algoritmo Dijkstra para identificar las rutas más óptimas. Este tipo de estudio fue aplicada por (Araujo & Delgado, 2021) en Ecuador específicamente en el cantón Naranjal, donde se llegó a obtener datos sobre las rutas actuales de recolección, su configuración, tiempos empleados, cantidad de unidades disponibles y cobertura. Con la recopilación de esta información llevo a cabo la mejora de las rutas para la recolección de desechos sólidos utilizando ArcGis.

Por otra parte un estudio realizado por (Gómez, 2021) en Colombia en donde se estipula los pasos para optimizar rutas de recolección bajo un enfoque de las aplicaciones de SIG, en donde se logró determinar la ruta más corta y eficaz, en consecuencia se logra disminuir el costo operativo incluyendo los costos de mantenimiento de los vehículos, la mano de obra y combustible.

El desarrollo de esta investigación se organizó a través de un proceso secuencial centrado en mejorar el sistema de recogida de desechos sólidos del cantón Cañar, combinando herramientas de Sistemas de Información Geográfica con criterios técnicos de planeamiento territorial. Para el desarrollo de este proceso se ejecutaron actividades acompañadas de un componente técnico y empleo de recursos especializados como *ArcGIS*. Cada una de las etapas desarrolladas fue efectuada de manera coordinada, lo cual permitió entender primero la situación del sistema de recolección y de la red vial, el sistema vial, para que de esta manera se pueda generar el modelado de escenarios que contribuyeran a proponer rutas más eficientes y óptimas.

Todo el proceso aplicado involucró un conjunto de etapas, en cada una de ellas se recolectaron insumos técnicos que ayudaron a lograr las fases subsiguientes. En la fase inicial, se llevó a cabo un estudio de las condiciones presentes del sistema de recolección, su forma de operación y área de cobertura. La segunda fase constituyó el proceso de caracterización de la zona, precisar la distribución de la población y viviendas. Como apoyo adicional, se conoció la cantidad de medidores eléctricos, esto como una forma de precisar el número de viviendas que se benefician del sistema que recolecta los residuos por parte de la municipalidad, ya que cada vivienda debe al menos contar con un medidor de electricidad consumida.

Otra de las fases correspondió al empleo del sistema SIG y aplicaciones como ArcGIS, a partir de las cuales se generó el análisis integral y se pudo estructurar propuestas de rutas alternativas más eficientes. También se tuvo entre las fases aquella que involucró una evaluación

de las rutas propuestas, desarrollando comparaciones a partir de escenarios con restricciones físicas y operativas para de este modo generar optimizaciones a las mismas. Con base en lo anterior, se dio paso al planteamiento de las rutas definitivas.

Como etapa final, se realizó un análisis de los tiempos de recorrido en las rutas nuevas que fueron propuestas; para ello se consideró escenarios con velocidad constante y de este modo visualizar los niveles de eficiencia logrados en comparación con las rutas de recolección que se emplean en la actualidad.



Figura 5. Proceso para optimizar rutas mediante sig.

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Desarrollo del diagnóstico de la situación actual

Como actividad inicial, fue necesario un diagnóstico sobre el sistema de recolección actual, conociendo su situación en cuanto a tiempos, alcance, rutas, coberturas, entre otros. Esta etapa involucró además conocer las condiciones de la red vial de Cañar por donde transitan las unidades vehiculares del sistema de aseo urbano. Como complemento, se estudió los aspectos poblacionales como densidad de población en las distintas áreas del municipio con base en mapas poblacionales, la cantidad de residuos per cápita que son producidos en los hogares.

Con base en información de los medidores eléctricos, de los cuales se disponía de coordenadas, se logró la georreferenciación de los mismos en mapas; esto fue empleado como una forma de precisar la cantidad de hogares existentes y su ubicación espacial. Esto también ayudó a comprender la cobertura del sistema de recolección y el número de hogares que reciben atención. Además, se realizó la identificación de los lugares de deposición final de residuos que emplea la

municipalidad, cuya ubicación fue representada en mapas. Se generó además la representación gráfica de las distintas rutas existentes, permitiendo visualizar su alcance en todo el municipio del Cañar con base en la cantidad de unidades vehiculares recolectoras disponibles. A continuación, se especifican las actividades en cada sub fase del proceso de diagnóstico y hallazgos más significativos.

El diagnóstico ejecutado en la zona de estudio evidenció un escenario caracterizado por múltiples deficiencias operativas vinculadas al sistema de transporte y recolección vigente. El análisis de los recorridos efectivamente ejecutados reveló que la planificación de rutas respondió predominantemente a criterios empíricos consolidados de manera histórica, sustentados en el conocimiento experiencial de los operadores más que en análisis técnicos fundamentados en información geoespacial verificable. Esta situación se corroboró mediante el contraste entre los itinerarios oficialmente documentados por la EMMAIPC-EP y las trayectorias realmente ejecutadas durante las jornadas de acompañamiento vehicular, detectándose desviaciones significativas que obedecieron a adaptaciones informales frente a restricciones no contempladas en la planificación formal.

Tabla 4. Principales hallazgos del diagnóstico integral de la situación actual.

Problemática detectada	Manifestación observable	Implicación operativa
Redundancia espacial en recorridos	Segmentos viales transitados múltiples veces en una misma jornada sin justificación técnica	Incremento innecesario de distancias totales recorridas y tiempos de operación
Desbalance en cargas de trabajo	Diferencias significativas en número de usuarios atendidos y volumen de residuos recolectados entre rutas	Sobrecarga de ciertas unidades mientras otras operan subutilizadas
Consumo desproporcionado de combustible	Relación rendimiento km/galón inferior a estándares técnicos para vehículos similares	Incremento en costos operativos y huella de carbono del servicio
Déficit de cobertura territorial	Sectores poblados sin servicio regular de recolección	Acumulación de residuos, generación de botaderos clandestinos, reclamos ciudadanos
Sobre posición de frecuencias	Zonas atendidas con mayor frecuencia que la técnicamente requerida	Uso ineficiente de recursos en sectores que no lo demandan
Ausencia de documentación técnica actualizada	Discrepancia entre rutas planificadas oficialmente y recorridos ejecutados en campo	Imposibilidad de control operativo, evaluación de desempeño y planificación estratégica

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la revisión integral de la situación actual y del proceso de recolección a través de la observación directa y el análisis de informes se logró identificar la existencia de una configuración ineficiente del sistema de ruteo según se detalla en la

Tabla 5. Los hallazgos sistematizados justificaron técnicamente la necesidad de reformular integralmente el esquema operacional mediante el uso de herramientas de análisis geo espacial y

algoritmos de optimización fundamentados en Sistemas de Información Geográfica, lo que se convirtió en el objetivo central de las etapas metodológicas subsiguientes.

Tabla 5. Impactos multidimensionales identificados de la ineficiencia del sistema de recolección.

Dimensión afectada	Tipo de impacto	Descripción del efecto	Indicador de medición
Ambiental	Emisiones de gases de efecto invernadero	Mayor recorrido vehicular incrementó emisiones de CO ₂ y otros contaminantes atmosféricos	Huella de carbono por tonelada recolectada (kg CO ₂ /tonelada)
Económica	Costos operativos elevados	Consumo excesivo de combustible, desgaste acelerado de unidades, horas extras no planificadas	Costo por tonelada recolectada (USD/tonelada)
Social	Inequidad en calidad del servicio	Diferencias marcadas en frecuencias y puntualidad entre sectores urbanos	Índice de satisfacción ciudadana, número de quejas por sector
Operativa	Baja productividad del personal	Tiempos muertos por rutas mal diseñadas, fatiga por jornadas extendidas	Toneladas recolectadas por hora-hombre
Institucional	Debilitamiento de capacidad de gestión	Imposibilidad de monitoreo efectivo, toma de decisiones basada en percepciones más que en datos	Porcentaje de rutas con documentación actualizada y verificada

Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución del trabajo investigativo se identificó una limitación vinculada al acceso de información primaria referente al número exacto de viviendas atendidas por cada ruta de recolección establecida. A pesar de las solicitudes formales dirigidas a la EMMAIPC-EP, no se obtuvo respuesta oficial que permitiera cuantificar con precisión este parámetro operativo, situación que condicionó la profundidad de ciertos componentes del análisis territorial. Frente a esta restricción en la disponibilidad de datos institucionales actualizados, se procedió a revisar fuentes documentales secundarias con el propósito de estimar la demanda habitacional del sistema. En este marco, se adoptó como referente técnico el estudio desarrollado por Argudo Garzón, (2019), quien caracterizó el servicio de recolección en la misma área geográfica y determinó que el total de viviendas atendidas alcanzó 3681 unidades habitacionales. Este valor fue incorporado como dato base para las estimaciones subsiguientes del análisis metodológico, reconociendo que correspondió a un registro previo cuya vigencia se asumió válida en ausencia de información oficial más reciente.

A. Proceso de análisis de la red vial del centro urbano del cantón Cañar.

La condición de las vías es un elemento clave para la eficacia del transporte de desechos sólidos. En el cantón Cañar, se identificó que la red vial presentó una condición heterogénea directamente vinculada a los planes de mantenimiento y pavimentación ejecutados históricamente por el Gobierno Autónomo Descentralizado Intercultural del Cantón Cañar (GADICC).

Para establecer la condición funcional de la vialidad, se procesó información oficial contenida en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT, 2023), mediante la cual se clasificaron los segmentos viales según su estado de conservación. Los hallazgos de este estudio se presentan en la Tabla 6, donde se reflejó el porcentaje de las condiciones viales actuales.

Tabla 6. Distribución de la red vial según estado de conservación en el cantón Cañar.

Estado de conservación	Porcentaje de la red vial	Característica predominante	Implicación operativa para recolección
Buen estado	39.52%	Carpeta asfáltica en condiciones óptimas, señalización adecuada	Tránsito vehicular sin restricciones, velocidad operativa estándar
Estado regular	38.32%	Deterioro superficial moderado, presencia de fisuras o bacheo parcial	Reducción leve de velocidad, incremento moderado en desgaste vehicular
Mal estado	22.16%	Aproximadamente 50% con capa de rodadura de lastre, deterioro estructural severo	Limitación crítica para vehículos de alto tonelaje, velocidad reducida, inaccesibilidad en época lluviosa

Fuente: Elaboración propia.

Como siguiente actividad de la fase se desarrolló la representación espacial de la topología completa de la red vial caracterizada mediante cartografía temática digital elaborada en entorno SIG. Este producto cartográfico permitió visualizar simultáneamente la jerarquía funcional de las vías (principales, secundarias, locales), su conectividad topológica (intersecciones, continuidad de tramos), su distribución territorial dentro del área urbana consolidada, y sus atributos operativos diferenciados (sentido de circulación, estado de conservación, restricciones de acceso). Esta representación geoespacial constituyó la capa base fundamental sobre la cual se edificó posteriormente el *network dataset* requerido para ejecutar los algoritmos de optimización de rutas de recolección utilizando la herramienta *Network Analyst*. En la Figura 6 se puede ver la red de carreteras.

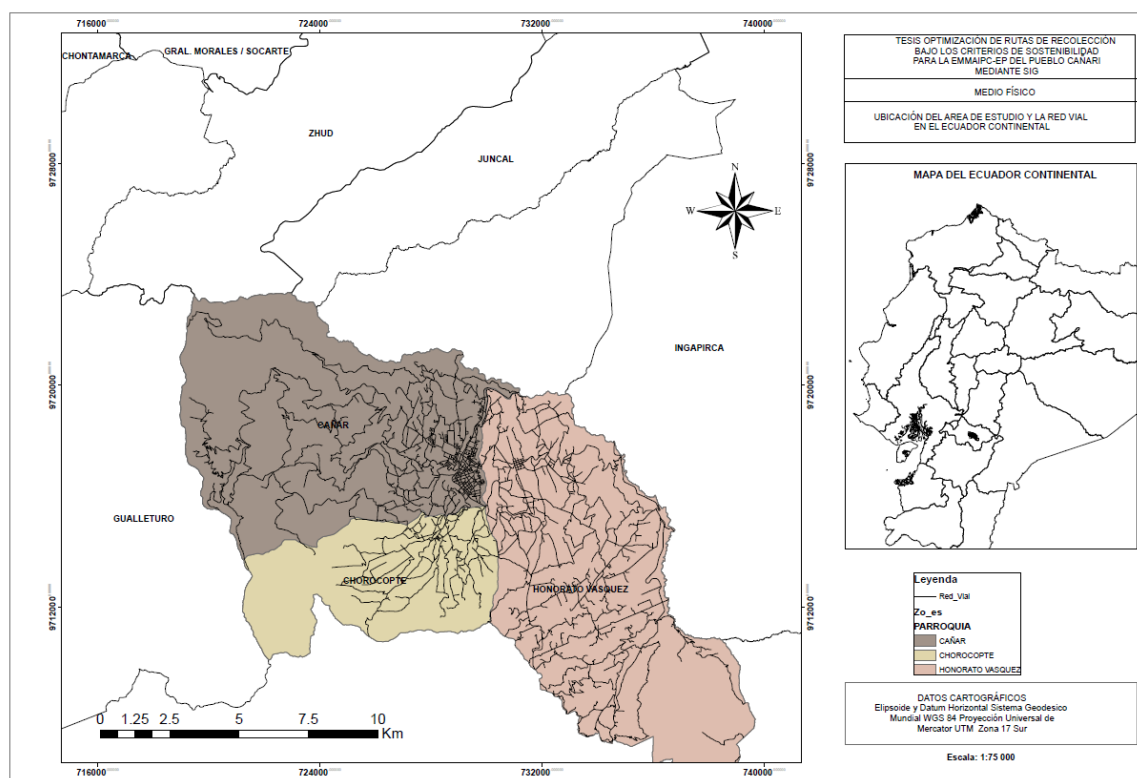


Figura 6. Mapa de Red vial.

Fuente: Movilidad Transporte y Convivencia del Cantón Cañar

B. Proceso de evaluación de la densidad poblacional.

El análisis de la densidad poblacional se ejecutó mediante un proceso que inició con la identificación de fuentes estadísticas oficiales confiables. Se consultó la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) específicamente los resultados del Censo de Población y Vivienda más reciente disponible para el cantón Cañar. Esta fuente proporcionó datos desagregados a nivel de sector censal, unidad territorial mínima que permitió especializar la información demográfica con la resolución requerida para el análisis urbano.

Tabla 7. Distribución de la red vial según estado de conservación en el cantón Cañar

Parroquia	Clasificación	Población (habitantes)	Porcentaje del total
Cañar	Urbana	17,305	66.72%
Honorato Vásquez	Rural	5,906	22.77%
Chorocopte	Rural	2,726	10.51%
TOTAL	-	25,937	100%

Fuente: Elaborado a partir de datos del (INEC, 2022).

Posteriormente, se procedió a generar mapas de la densidad población, con los datos de las viviendas obtenidos en la EMMAIPC-EP en donde se aplicaron métodos de clasificación en cuatro rangos (Baja, Media, Alta y Muy Alta). Este producto cartográfico resultó fundamental para identificar zonas de alta generación potencial de residuos sólidos, dado que se partió de la

premisa que la densidad poblacional mantiene una correlación directa con la cantidad de puntos de recolección por unidad de superficie y, consecuentemente, con la demanda volumétrica del servicio tal como se muestra en la Figura 7.

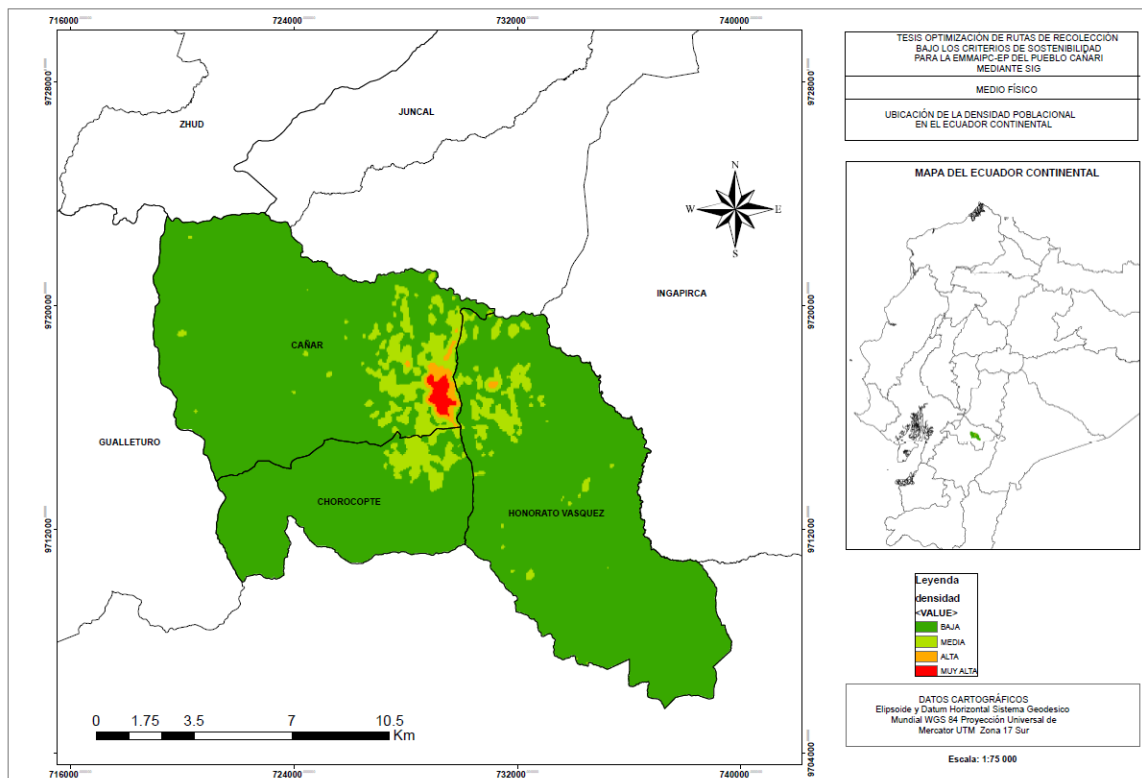


Figura 7. Densidad poblacional.

Fuente: EMMAIPC-EP

C. Georreferenciación de medidores eléctricos para delimitación de cobertura del sistema de recolección.

Para conocer el alcance del sistema de recolección y las zonas hasta donde es cubierta la demanda, se llevó a cabo la georreferenciación de los medidores residenciales del consumo de electricidad. Dado que se disponía de las coordenadas de cada uno, las cuales fueron suministradas por la entidad EMAIPC-EP, se tuvo de este modo una data confiable que ayudó a precisar la cantidad de hogares que se encuentran en el área estudiada. A partir de las coordenadas de estos medidores, se desarrolló la representación georreferenciada de las viviendas en un mapa y de este modo visualizar los puntos o zonas generadoras de residuos.

Previo al plasmado de mapas de los puntos de generación de residuos, fue necesaria la verificación de la integridad de la data, precisando los campos claves como dirección catastral, código del medidor, coordenadas y si el servicio estaba activo, lo que indicaría que existen personas viviendo en el hogar y, por tanto, había generación de residuos. Los datos fueron importados al entorno SIG con el apoyo del sistema ArcGIS. Se aplicó el sistema de coordenadas oficial para la

zona (WGS 84 - UTM Zona 17 Sur) garantizando compatibilidad con las demás capas geográficas del proyecto.

Durante esta etapa se identificaron y corrigieron inconsistencias en las coordenadas mediante comparación visual con imágenes satelitales de referencia, eliminando registros con errores de posicionamiento superiores a 50 metros respecto a la ubicación esperada de la vialidad. Este proceso de depuración geoespacial permitió consolidar un total de 12,383 medidores activos distribuidos en las tres parroquias analizadas: Cañar, Honorato Vásquez y Chorocopte. La utilización de esta base georreferenciada validada posibilitó establecer con elevado nivel de precisión cartográfica la cobertura potencial del servicio de recolección, dado que cada medidor residencial activo representó la localización verificada de una vivienda habitada que demandaba atención del procedimiento de la gestión de desechos sólidos.

Un conjunto de medidores eléctricos georreferenciados funcionó como indicador indirecto de la densidad habitacional efectiva y, por extensión, de la concentración de población usuaria del servicio. La distribución geoespacial resultante se representó cartográficamente mediante mapas de densidad de puntos, evidenciando que el núcleo urbano consolidado de la parroquia Cañar concentró aproximadamente el 68% de los medidores totales, mientras que las parroquias rurales presentaron dispersión mayor con agrupaciones localizadas en centros poblados menores. Esta representación espacial proporcionó una base técnica sólida para ejecutar la posterior sectorización territorial del área de estudio, criterio fundamental para diseñar rutas equilibradas que atendieran cargas de trabajo comparables en términos de número de viviendas por recorrido. La Figura 10 presenta la distribución geoespacial de los medidores residenciales georreferenciados, producto cartográfico que constituyó el insumo primario para la delimitación definitiva de zonas de recolección y la optimización algorítmica de itinerarios en función de la demanda real espacialmente verificada del servicio público de aseo.

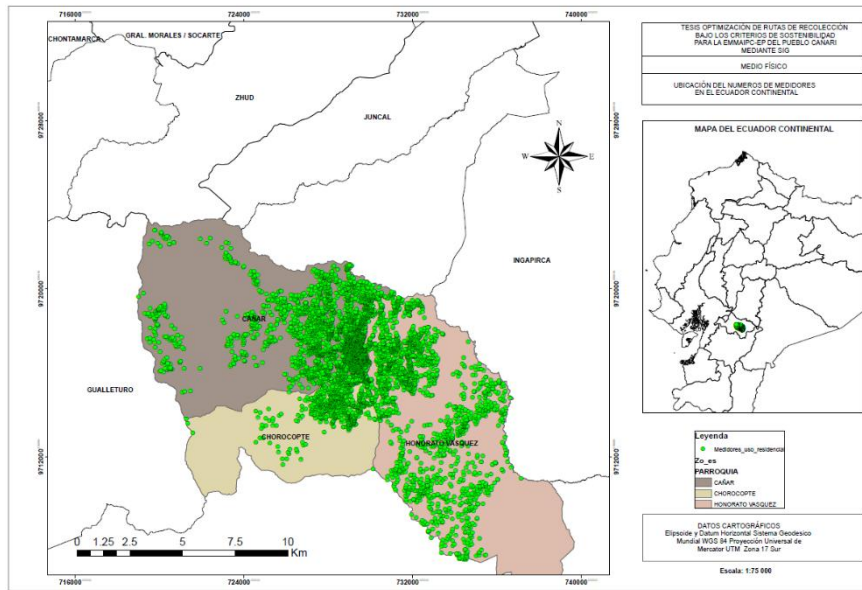


Figura 8. Distribución de los medidores de uso residencial.

Fuente: EMMAIPC-EP

D. Proceso aplicado para el análisis de la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos.

El análisis de la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos se desarrolló mediante un proceso metodológico estructurado en fases secuenciales que integraron fuentes primarias y secundarias de información. La primera fase consistió en la solicitud formal dirigida a la EMMAIPC-EP para acceder a la documentación técnica oficial del sistema operativo vigente, obteniéndose informes técnicos anuales que describieron las características generales del servicio, estadísticas de toneladas recolectadas mensualmente, y descripción textual de los itinerarios asignados a cada unidad vehicular. Simultáneamente se recopiló mapas esquemáticos de rutas elaborados por el departamento técnico municipal, los cuales se encontraron disponibles en formato analógico (planos impresos a escala 1: 10,000) con trazos manuscritos que indicaban aproximadamente los recorridos planificados.

Gran parte de la información suministrada por la EMMAIPC-EP fue de gran valor técnico como por ejemplo las trayectorias efectivamente recorridas en formato *shapefile* con horarios de inicio y finalización de rutas, número de paradas efectivas de recolección, tiempos de permanencia en cada punto de acopio, sectores con dificultades de acceso vehicular, y observaciones sobre estado de vialidad y condiciones topográficas. Finalmente se realizó el procesamiento y especialización de toda la información recopilada en el entorno SIG. Los archivos se importaron al software ArcGIS y se convirtieron a entidades geométricas lineales (*polylines*) que representaron finalmente los recorridos ejecutados por cada vehículo.

E. Proceso para precisar la generación per cápita de residuos sólidos.

La generación per cápita fue determinada a partir de la evaluación de los informes de la municipalidad elaborados por el organismo responsable, específicamente el EMMAIPC-EP en el año 2023. Los informes y datos estadísticos fueron solicitados de manera formal, siguiendo los protocolos institucionales y las leyes nacionales. De esto se obtuvo datos técnicos como registros de los volúmenes y pesos de desechos generados, periodos de mayor generación, zonas de mayor demanda de servicios de recolección de residuos, entre otra información relevante para el estudio.

En los informes compilados se detectaron procedimientos de muestreo que llevó el ente responsable del municipio de la gestión de los desechos y el proceso de registro de los datos de interés para el control y mejora del sistema de recolección. Se evidenció que los estudios cumplieron con los requerimientos mínimos establecidos en la norma técnica del Ecuador. Lo anterior les otorga representatividad a los hallazgos de esta investigación y permite afianzar la fiabilidad y contribución que tendría la propuesta de nuevas rutas más eficientes. Además, los datos suministrados fueron esenciales para conocer los niveles precisos de generación de desechos, información esencial para el desarrollo de las rutas con eficiencia mayor. Los hallazgos principales derivados del análisis de los informes de caracterización de la EMMAIPC-EP se sintetizan en la Tabla 8.

Tabla 8. Aspectos claves identificados del proceso para precisar la generación per cápita de residuos sólidos destacados del proceso.

Parámetro	Valor determinado	Unidad	Metodología aplicada	Implicación para el sistema de recolección
Generación per cápita (GPC)	0.66	kg/hab/día	Muestreo estadístico en viviendas representativas durante 8 días consecutivos, pesaje diario con balanza calibrada	Base de cálculo para estimar producción total de residuos por sector geográfico y dimensionar capacidad vehicular requerida
Composición: Residuos orgánicos	57.46	% en peso	Segregación manual por categorías, pesaje diferenciado de fracciones	Alta proporción orgánica determina necesidad de frecuencias elevadas para evitar descomposición y generación de lixiviados
Composición: Residuos inorgánicos comunes	42.54	% en peso	Segregación manual por categorías, pesaje diferenciado de fracciones	Potencial de aprovechamiento mediante reciclaje, requiere evaluación de recolección selectiva
Densidad promedio de residuos	195.14	kg/m ³	Método volumétrico: llenado de recipiente de volumen conocido y pesaje total	Define relación peso-volumen para cálculo de capacidad útil de vehículos compactadores y tiempo de llenado
Perfil composicional dominante	Orgánico predominante	Cualitativo	Análisis de distribución porcentual de fracciones	de Característico de contextos urbanos pequeños en países en desarrollo, condiciona estrategias de tratamiento

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (EMMAIPC, 2023).

F. Proceso de identificación de los rellenos sanitarios y representación gráfica de su ubicación.

Para la identificación de los sitios de disposición final que reciben los residuos sólidos generados en el cantón Cañar, se ejecutó un proceso de verificación en dos escalas. Primero, se solicitó formalmente a la Empresa Municipal de Manejo Integral de Propiedades del Cañar (EMMAIPC-EP) la información oficial sobre los rellenos sanitarios o celdas de emergencia autorizadas para la recepción de sus residuos. Simultáneamente, se realizó una verificación de campo y una consulta a los conductores de la flota recolectora para confirmar los destinos operativos reales. Con los datos obtenidos, se desarrolló un mapa de ubicación geoespacial utilizando software SIG, en el cual se representó cada sitio con un símbolo puntual diferenciado, acompañado de una tabla de atributos que contenía información sobre su nombre, capacidad, estado operativo y el tipo de residuos que acepta, permitiendo visualizar su distribución y relación con la cabecera cantonal y la red vial principal.

Tabla 9. Datos del relleno sanitario identificado

Parámetro	Descripción / Dato
Nombre del Sitio	Relleno Sanitario Yura Kasha
Ubicación Administrativa	Provincia del Cañar
Coordenadas UTM	725,597.93 E; 9,720,072.39 N
Altitud	3,100 msnm
Distancia al Centro Urbano	5 km
Asentamiento Más Cercano	Comunidad de San José de Guantug Loma (a ~500 m)
Acceso Vial	Garantizado por una red vial en condiciones operativas adecuadas para todo clima, asegurando continuidad del servicio.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (EMMAIPC, 2023).

En la Figura 9. Se ilustra la ubicación georreferenciada del relleno sanitario Yura Kasha, permitiendo visualizar su relación espacial con el área urbana del cantón. Complementariamente, la base logística de la operación de recolección se sitúa en la zona urbana, donde el estacionamiento de los camiones recolectores, ubicado en un área adyacente a la Policía Nacional, funciona como garaje para la flota una vez concluida la jornada diaria de trabajo.

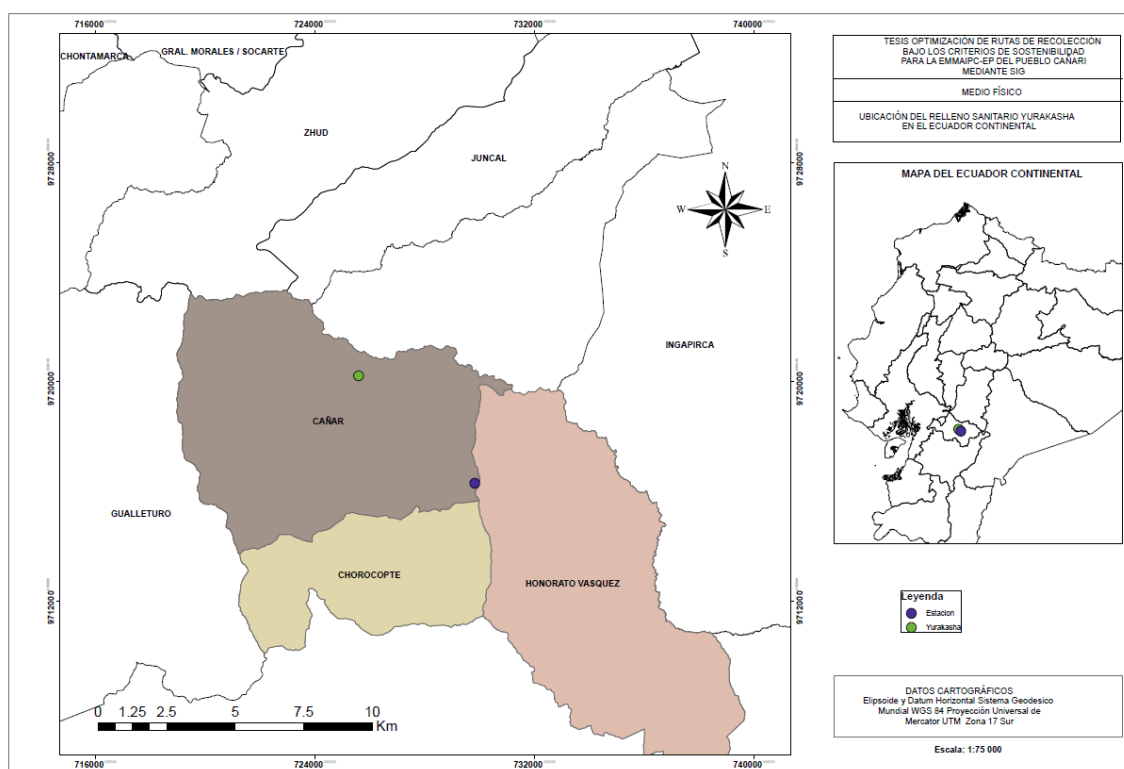


Figura 9. Ubicación del relleno sanitario y estación del camión recolector.

Fuente: EMMAIPC-EP

El análisis de la dinámica de disposición se evidenció un comportamiento estacional definido. Anualmente, se registró un ingreso promedio de 257.56 toneladas de residuos inorgánicos, con un pico máximo en enero de 291.53 toneladas y un mínimo en noviembre de 217.05 toneladas (EMMAIPC, 2023). De forma análoga, los residuos orgánicos presentaron un volumen anual promedio de 144.56 toneladas, con un máximo de 157.30 toneladas en enero y un mínimo de 121.14 toneladas en octubre.

Esta variabilidad mensual constituyó un parámetro clave para la planificación técnica del sistema. Fue considerada en la definición de la capacidad operativa del sistema de recolección y transporte, en la programación del mantenimiento de la flota y en la organización logística del sitio de disposición final. Su incorporación en el modelo de optimización permitió diseñar un sistema con mayor flexibilidad y eficiencia ante las fluctuaciones temporales en la generación de residuos. A continuación en la Tabla 10 se especifican los principales valores que fueron contemplados para el proceso de optimización de las rutas.

Tabla 10: Promedio mensual de residuos orgánicos e inorgánicos en el relleno sanitario

Mes	Inorgánico	Orgánico	Total
Enero	291.53	157.13	448.66
Febrero	266.45	153.47	419.92
Marzo	251.42	158.53	409.95
Abril	244.70	157.66	402.36
Mayo	281.32	164.32	445.64
Junio	257.07	144.60	401.67
Julio	263.97	154.82	418.79
Agosto	245.84	133.33	379.17
Septiembre	2462.96	130.63	373.59
Octubre	271.73	121.14	392.87
Noviembre	217.05	126.38	343.43
Diciembre	256.66	132.65	389.31
Promedio	257.56	144.56	402.11

Fuente: Elaboración propia mediante entrevista a la EMMAIPC-EP.

G. Fase de identificación de rutas de recolección y representación en mapa.

El proceso de identificación de las rutas de recolección de residuos sólidos se inició con una exhaustiva revisión documental de informes operativos y planimétricos proporcionados por la Empresa Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañarí (EMMAIPC-EP). En esta etapa y a partir de las técnicas de investigación aplicadas, se conocieron los sectores asignados para cada ruta de recolección, la frecuencia, así como los horarios establecidos. A partir de la revisión de mapas físicos suministrados por la municipalidad, se tuvo un primer panorama de la distribución de las rutas con base en los límites político-territoriales del municipio, pudiéndose desarrollar una primera representación cartográfica de no solo las rutas, sino de otros parámetros vinculados con el proceso de generación y recolección de residuos, facilitando la comprensión integral del sistema de aseo urbano.

Como actividades subsecuentes, se desarrolló una entrevista a representantes del órgano encargado de la gestión de los residuos, específicamente el EMMAIPC-EP. A partir de la información dada por los especialistas y su perspectiva en torno a la realidad actual del sistema de recolección de desechos, se pudo evidenciar la necesidad de desarrollar acciones para mejorar el proceso. Por otra parte, los datos que se exponían en informes y que fueron extraídos como recurso esencial en este estudio fueron contrastados con la información de los entrevistados, pudiendo esclarecerse ciertas inconsistencias determinadas y conseguir otros datos operativos que no estaban documentados en los reportes e informes.

Todos los datos compilados fueron empleados para generar, con el apoyo del sistema de información geográfica y aplicaciones como *ArcGIS*, una capa vectorial de líneas espacialmente georreferenciadas, teniéndose de este modo rutas codificadas y con sus respectivas características operativas, tales como flota o unidades vehiculares de recolección asignadas, identificados, frecuencia de servicio, entre otros. Esto ayudó a tener una representación más detallada y dinámica del sistema de recolección actual. En la figura 10 se puede observar las rutas actuales de recolección.

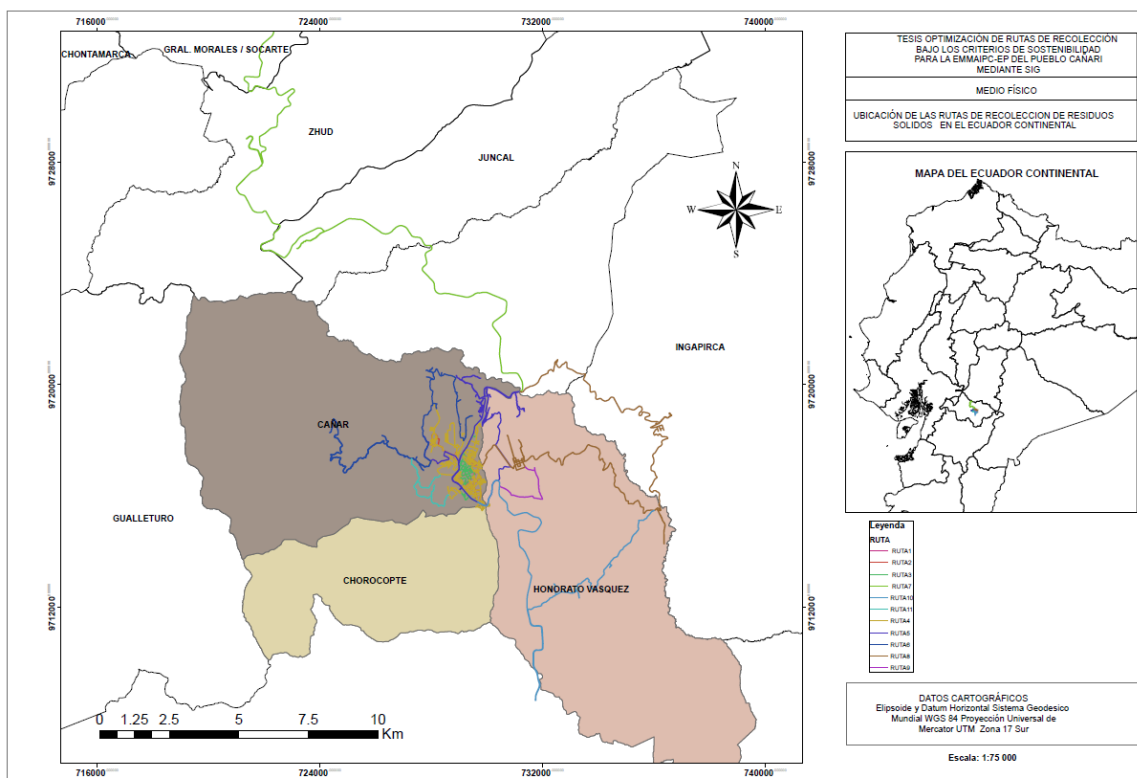


Figura 10. Rutas de recolección de residuos de la EMMAIPC-EP

Fuente: EMMAIPC-EP.

H. Proceso aplicado para la identificación de número de unidades recolectoras de desechos sólidos y frecuencia de recorrido.

Como parte de las acciones para identificar la cantidad de unidades recolectoras de desecho que cubren la zona de cañar y su frecuencia operativa, se llevó a cabo un análisis detallado de los informes y reportes de la empresa municipal EMMAIPC-EP. Este proceso permitió acceder a registros administrativos oficiales que contenían datos sobre el número total de unidades recolectoras, su año de modelo, capacidad volumétrica (m³) y estado técnico general. La consulta de estos documentos constituyó la fuente primaria y oficial para cuantificar el inventario físico de los vehículos asignados al servicio de recolección de residuos sólidos en el cantón.

El sistema de recolección y transporte de residuos sólidos en el área de estudio operado por la empresa municipal EMAIPC-EP, se basa, previo a la intervención en una flota heterogénea

compuesta por 5 camiones recolectores de diferentes capacidades y estado de conservación. Cada unidad operaba con una dotación de cuatro operarios y una vez completada su ruta asignada, era estacionada en un patio central ubicado en el sector Uculoma. La empresa EMAIPC-EP para mejorar los servicios de recolección en el año 2022 adquiere tres camiones recolectores de la marca europea DAF con un costo que supera los 676,935.63\$ dólares americanos(EMMAIPC, 2020). Estos nuevos camiones que cuenta con una capacidad de 14tn cada una con el propósito de mejorar el desarrollo sostenible. En la siguiente tabla se puede observar las descripciones de cada una de ellas.

Tabla 11: Números de vehículos de recolección en zona de estudio.

Vehículo	Matriculas	Marca	Peso – Tonelada
Camión	UMA-1020	Internacional	7
Camión	UMA -1052	Kenworth	12
Camión	UMA-1053	Kenworth	12
Mula	UMA-1072	DAF	14
Mula	UMA-1074	DAF	14

Fuente: Elaboración propia mediante entrevista a la EMMAIPC-EP.

Paralelamente, para establecer la frecuencia de recolección asignada a cada sector y vehículo, se analizaron los planes operativos anuales, las bitácoras de servicio y los cronogramas de rutas internos de la EMMAIPC-EP. El cruce de esta información con los datos del inventario permitió determinar la asignación específica de cada unidad (por ejemplo, camión compactador de 10 m³) a un día y sector particular, definiendo así la cobertura temporal del servicio. Los recursos empleados en esta etapa fueron exclusivamente documentales, basados en los archivos físicos y digitales de la empresa municipal, lo que garantizó que los datos de cantidad y frecuencia utilizados en el diagnóstico y posterior modelo de optimización reflejaran fielmente la operativa institucional planificada.

3.2.2 Etapas del proceso de optimización de rutas mediante sistemas de información geográfica.

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico basado en el uso de sistemas de información geográfica (SIG) como herramienta principal para la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos de la empresa municipal EMMAIPC-EP del pueblo Cañari incorporando criterios de eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental. La metodología se estructuró en fases secuenciales que permitieron integrar información espacial, datos operativos y técnicas de análisis de redes.

En esta etapa se efectuaron actividades como recopilación de datos y posterior depuración de los mismos, dejando los que pudieron ser verificados y fiables, de manera que no afectaran los hallazgos y simulaciones proyectadas de las rutas. Es importante destacar que estos datos fueron el insumo clave para el desarrollo de las propuestas mejoradas de rutas de recolección de residuos sólidos. Con base en los datos suministrados por el municipio, se logró generar puntos de zonificación y representan las zonas donde se ejecuta la recolección. Se generó una capa de red

vial de la zona de interés en este estudio, asegurando coherencia espacial y representatividad. La red se desarrolló de modo que se vieran reflejadas las condiciones actuales del tránsito automotor y de las trayectorias de las unidades recolectoras, teniendo en cuenta las restricciones presentes, sentidos de circulación de las vías, entre otros aspectos.

Se configuró un modelo de ruta vehicular con el empleo de ArcMap versión 10.5, esto a partir del módulo *Network Analyst* y los datos estructurados que se recopilaban de los informes del municipio y otros recursos fueron definidos en el sistema los parámetros operativos, considerándose para el análisis de la trayectoria como punto de inicio el estacionamiento del municipio y como punto final del recorrido el relleno sanitario de Yurakasha, se tuvo en cuenta que la capacidad máxima de la unidad recolectora es de 12 toneladas y otros aspectos que aseguraran la representatividad y fiabilidad de los resultados.

A través del uso del solucionador de *Network Analyst*, se analizaron las barreras o factores incidentes existentes en las rutas actuales, pudiéndose precisar rutas más cortas y eficientes. El modelo generó circuitos secuenciales de recolección que optimizaron el recorrido total del vehículo, reduciendo distancias, tiempo de desplazamiento y consumo de combustible. Estos resultados constituyeron un insumo técnico relevante para la toma de decisiones, al contribuir a una gestión más eficiente y sostenible del sistema de recolección de residuos sólidos en el ámbito territorial del pueblo Cañari.

A. Determinación de la producción de residuos con base en los datos recopilados

Una vez recopilados y sistematizados los datos relacionados con la generación de residuos sólidos, se inició la fase de procesamiento cuantitativo de la información. Este paso metodológico resultó esencial para transformar los registros obtenidos en valores operativos que permitieron caracterizar la magnitud real de los residuos generados en cada uno de los grupos definidos dentro del área de estudio.

El cálculo de la producción de residuos se realizó de manera diferenciada para cada grupo, aplicando una expresión matemática específica que integró las variables levantadas durante el trabajo de campo y la revisión de información secundaria. La fórmula empleada, que se presenta a continuación, permitió estandarizar los resultados y asegurar la comparabilidad entre las distintas zonas analizadas.

$$\text{Produccion}_x = \%_x * \text{Generacion percapita} * \text{Dias Acum}_x * \# \text{habxhogar} * \frac{1}{\text{densidad}} \quad (1)$$

Produccion_x = la producción de tipo de residuo total $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hogar}} \right]$

% = porcentaje de residuos en la cuantificación

$$\text{Generacion percapita} = 0.66 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Días Acum = Días en los que se acumulan los residuos en el hogar

$$\#habxhogar = 3.97 \frac{\text{hab}}{\text{hogar}} \text{ (INEC, 2022)}$$

$$\frac{1}{\text{densidad}} = \text{conversion de kg a m}^3$$

Los resultados derivados del cálculo de la producción de residuos estos procedimientos constituyeron un insumo fundamental para las etapas posteriores de la investigación, en particular para el dimensionamiento de la capacidad de recolección requerida y la configuración del modelo de optimización de rutas en el entorno SIG. De esta manera, el cálculo de la producción de residuos no solo permitió comprender el comportamiento de la generación, sino que también facilitó la toma de decisiones técnica orientada hacia una gestión más eficiente y sostenible del sistema de recolección de la EMMAIPC-EP en el pueblo cañarí. Se muestra a continuación las operaciones de cálculo efectuadas.

$$\text{ProduccionProduccion}_{org} = 57.46\% * 0.66 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{dia}} * 3 \text{ dias} * 3.97 \frac{\text{hab}}{\text{hogar}} * \frac{1}{1,959.14 \text{kg/m}^3}$$

$$\text{Produccion}_{comun} = 0.00230 \frac{\text{m}^3}{\text{usuarios}}$$

$$\text{ProduccionProduccion}_{comun} = 42.54\% * 0.66 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{dia}} * 3 \text{ dias} * 3.97 \frac{\text{hab}}{\text{hogar}} * \frac{1}{1,959.14 \text{kg/m}^3}$$

$$\text{Produccion}_{comun} = 0.00170 \frac{\text{m}^3}{\text{usuarios}}$$

B. Determinación de usuarios

Para precisar la cantidad de usuarios, fue necesaria la aplicación de ecuaciones matemáticas comúnmente empleadas, la cual integra parámetros como volumen de residuos generados, capacidad volumétrica de las unidades recolectoras. A partir de los valores generados con la aplicación de esta ecuación, se precisaron la cantidad de viajes o recorridos necesarios. Esto fue usado además para optimizar el proceso de asignación de flotas, así como asegurar la viabilidad técnica y eficiencia de las nuevas rutas a ser propuestas. Los resultados de la aplicación de la ecuación se exponen a continuación:

$$\text{usuarios}_x = \frac{\text{capacidad de camion recolector}}{\text{produccion}} \quad (2)$$

$$\text{usuarios}_{org} = \frac{12 \text{m}^3}{0.002305 \frac{\text{m}^3}{\text{usuarios}}}$$

$$\text{usuarios}_{org} = 5,205.05 \text{ usuarios}$$

$$\text{usuarios}_{\text{comun}} = \frac{12\text{m}^3}{0.00170 \frac{\text{m}^3}{\text{usuarios}}}$$

$$\text{usuarios}_{\text{comun}} = 7,030.62\text{usuarios}$$

C. Definición de zonas para el proceso de optimización de las rutas

Para lograr un micro ruteo más eficiente de los vehículos recolectores, se desarrolló un análisis y optimización de las rutas, partiendo de una zonificación más precisa. A partir de esta zonificación logró agrupar áreas con características similares, como cercanía a los puntos de recolección, la topografía, los niveles de generación y la infraestructura urbana que se disponía. Estos datos fueron determinantes en la búsqueda de la eficiencia operativa de las nuevas rutas, tal como han sido considerados en estudios similares como el de Araujo y Delgado (2021). El proceso anterior estuvo enfocado en la conformación de sectores más equilibrados y cargas de trabajo para los vehículos recolectores más reducidas teniendo en cuenta la accesibilidad y otras barreras topográficas existentes en la zona.

Se identificaron aspectos que constituían una debilidad, como el caso de delimitaciones de sectores de forma intuitiva en algunas áreas, lo que restaba representatividad en los mapas. Esto fue superado; se consideraron los datos depurados y validados para efectuar una zonificación más precisa y se tomaron en cuenta las proyecciones demográficas, considerando un promedio de cuatro habitantes por cada casa y la capacidad volumétrica de los camiones, que es de 12 toneladas. A partir de estos datos se estimó una cantidad de 1,312 viviendas para así considerarlo en la optimización de la capacidad de carga.

Para los residuos comunes no orgánicos, cuyo patrón de generación es diferente, la capacidad operativa por sector se ajustó a unas 1,700 viviendas. Esta diferenciación permitió adecuar la planificación del servicio al tipo de desecho, optimizando las frecuencias de recolección. La zonificación resultante que se aprecia en la Figura 11. constituyó la base espacial fundamental para la posterior optimización de las rutas mediante SIG.

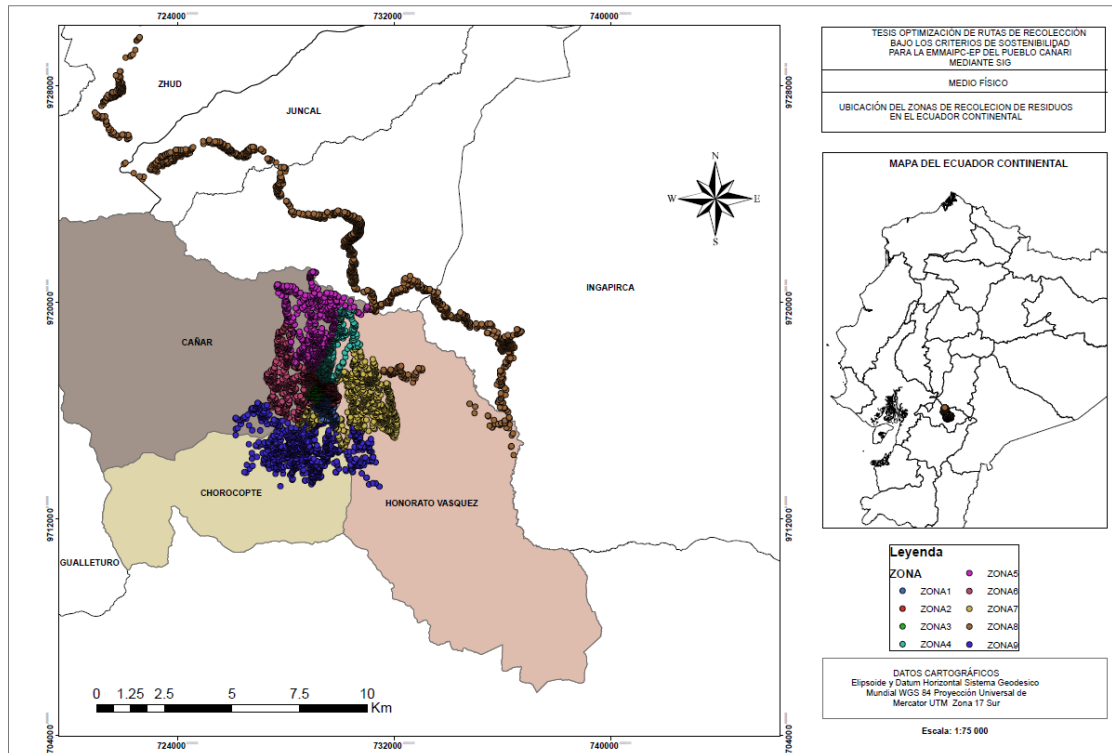


Figura 11. Zonificación de recolección de residuos sólidos de Cañar.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Análisis de redes.

A. Edición de la red vial

Para el desarrollo de la red de transporte se estableció como sistema de referencia geodésico el Datum WGS 84, considerando su estandarizado y compatibilidad con información geoespacial oficial. Posteriormente, los datos fueron proyectados del sistema de coordenadas UTM, Zona 17s. El cual se ajusta de manera precisa a la localización geográfica de la zona de estudio correspondientes al territorio Cañar. Esta proyección permitió garantizar la consistencia espacial y la correcta medición de distancias y superficies durante el análisis.

La red vial fue concebida bajo un enfoque de análisis de redes, donde los tramos de calle se presentaron como aristas o vértices, mientras que las intersecciones se definieron como nodos para su espada. Para su construcción, se utilizó una capa vectorial de vías de comunicación proporcionada por la entidad responsable de movilidad y transporte de la provincia de Cañar, lo que asegura la confiabilidad y la actualización de la información base empleada en el estudio. Dicha capa fue sometida a un proceso de edición y depuración utilizando el *software* ArcMap versión 10.5. Durante esta etapa se incorporaron y ajustaron diversos atributos de circulación y longitud de tramos, restricciones operativas. La inclusión de los parámetros,

permitió representar de manera más realista el comportamiento de la red vial en el contexto del servicio de recolección.

En esta Tabla 12 se representan los principales atributos añadidos a la base de datos espaciales, los cuales constituyen la estructura fundamental para la ejecución de análisis de arenales y posterior optimización de las rutas de recolección bajo los criterios de la sostenibilidad. Ambiental, operativa y económica.

Tabla 12: Atributos del análisis de redes.

CAMPOS DE ATRIBUTOS DE LA RED VIAL CANTONAL			
Campo	Tipo	Precisión	Escala
Nombre	Text	50	
Categoría	Text	20	
Oneway	Text	20	
Meters	Double	20	2
Hierarchy	Double	20	2
Minutes	Double	20	2
Velocidad	Double	20	2

Fuente:(Cusco & Picon, 2015).

- **Nombre:** Nombres de la red vial.
- **Categoría:** si es carretera, avenida o calle.
- **Oneway:** Indica el sentido de circulación vial unidireccional o doble sentido en donde se asigna FT si la edición de vía está en sentido de circulación y TF cuando la edición de vía es contraria a la edición de vía.
- **Meters:** Indica la longitud del segmento transportado en kilómetros, metros, etc.
- **Hierarchy:** asignación de valores a las diferentes categorías de vías, por ejemplo: categoría calle, jerarquía (1), para la avenida el 2 y el 3 para otros tipos de vías.
- **Minutes:** representa los minutos de desplazamiento realizado.
- **Velocidad:** representa los límites de velocidad con la que se puede transitar en determinado sector de la ciudad. En Tabla 13 se presenta una categorización de acuerdo a las velocidades permitidas por la ANT.

Tabla 13: Límites de velocidad permitidas para vehículos de transporte de carga en el Ecuador.

Categoría	Velocidad km/h	Categoría
Avenida	90	1
Carretera	70	2
Calles	40	3
Sin especificar	30	4

Fuente: (ANT, 2012).

A. Creación del Network Dataset.

Como paso fundamental para la modelización de la red, se habilitó y configuró la extensión Network Analyst dentro del entorno de ArcMap. Posteriormente, se creó una nueva

geodatabase de archivo con el nombre “Rutas_Optima” dentro de una carpeta de proyecto designada, donde se estructuro y almaceno toda la información geoespacial requerida para el análisis, tal como se muestra en la Figura 12.

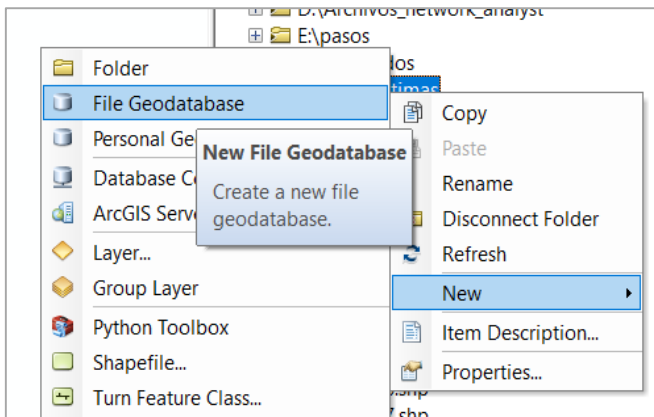


Figura 12. Creación de geodatabase.

Fuente: Elaboración propia.

La fase de modelado de la red de transporte se desarrolló dentro de la *geodatabase* previamente creada. Inicialmente, se configuró un *Dataset* de Entidades con el nombre *red_optima*, al que se le asignó el sistema de coordenadas WGS84 UTM 17S para garantizar la integridad espacial con el resto de las capas del proyecto. De manera intencional, no se definió un sistema de coordenadas Z, ya que el análisis no consideró la variable altitudinal.

Como actividad subsiguiente se desarrolló la homologación de la capa vectorial de la infraestructura vial (*Vias.shp*), la cual se le designó el nombre de *NUEVA _RUTA* dentro del *dataset*. Lo anterior facilitó que se generara el *Network Dataset*, lo cual fue determinante en la simulación de las rutas. Fue definida en este proceso la conectividad entre las redes y fueron incorporados campos como el *TNODE_* y *FNODE_*, lo cual ayudó a modelar posibles cambios de elevación entre los segmentos de las vías. Para la clasificación de las vías como pasajes, calles o avenidas se empleó el campo personalizado jerarquía (*HIERARCHY*), asignándoles atributos como velocidad de tránsito y direcciones.

Una vez evaluados los distintos parámetros que se consideraron en la configuración de la ruta, se desarrolló el *Network Dataset* final. Esto permitió disponer de una tabla que contenía los datos de la nueva red y sus nodos de unión (*junctions*), lo que fue clave en los siguientes análisis de las rutas.

3.2.1 Formulación de rutas.

Para generar y dejar definida de manera total las nuevas rutas, se usó una aplicación de modelado, que considera diversos escenarios de redes. Esta plataforma permitió integrar todos los parámetros operativos y las restricciones del sistema, ejecutando el algoritmo de optimización que determinó los recorridos más eficientes. En la Figura 13 adjunta se aprecia la secuencia lógica de pasos efectuados dentro de la aplicación para obtener dichos resultados.

Secuencia para a formulación de rutas optimizadas empleando ArcMap

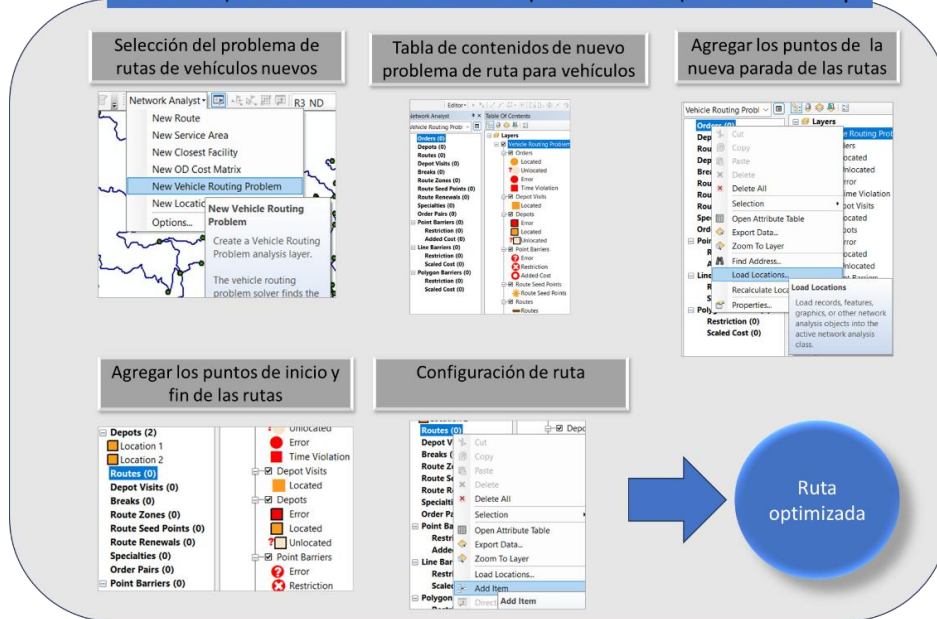


Figura 13. Actividades en la plataforma para la formulación de rutas optimizadas.

Fuente: Elaboración propia

El proceso se inició activando la ventana del módulo *Network Analyst* dentro de la plataforma *ArcMap*, desde donde se creó una nueva función de "*Vehicle Routing Problem*" (VRP). Aunque la extensión ofrece múltiples funciones, el procedimiento se centró exclusivamente en la solución de problemas de ruteo para vehículos, en función de los requerimientos del estudio. Al crear el nuevo problema, aparecieron automáticamente en la ventana de *Network Analyst* y en la tabla de contenido las capas (*layers*) correspondientes a los elementos del modelo: paradas (*Orders*), depósitos (*Depots*) y rutas (*Routes*). Este procedimiento se configuró y ejecutó de forma independiente para cada ruta a generar, lo que implicó repetirlo tantas veces como rutas se requirieron, por ejemplo, nueve veces para nueve circuitos diferentes.

La definición de los puntos de recolección (paradas) se realizó mediante la función "*Orders*". Se utilizó la opción "*Load Locations*" para importar masivamente una capa de puntos que contenía todas las ubicaciones de recolección, un método eficiente para manejar un gran volumen de paradas, aunque también existe la posibilidad de añadirlas manualmente. De manera análoga, en la capa "*Depots*" se cargaron las ubicaciones que definieron el origen y el destino del ciclo: la parada de camiones (punto de inicio) y el relleno sanitario (punto final de descarga).

Posteriormente, se configuró la capa "Routes", editándola para asociar cada ruta a su depósito de inicio y fin, y para asignarle el conjunto específico de paradas (Orders) que debía atender. Finalmente, para cada ruta configurada, se ejecutó la herramienta "Solve", la cual procesó el modelo y generó geométrica y atributivamente los recorridos optimizados en función de las restricciones establecidas. Los resultados, consistentes en las rutas espacialmente definidas, fueron visualizados directamente en el entorno de ArcMap. Ver la Figura 14.

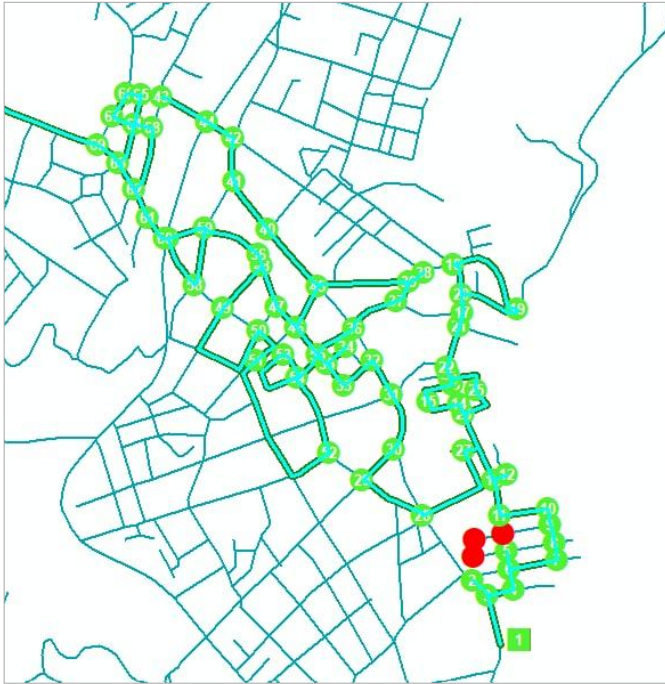


Figura 14. Resultados de la nueva ruta siguiendo las restricciones indicadas.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Análisis de tiempo de las rutas a una velocidad constante.

La etapa final correspondiente al análisis de tiempo de las rutas a velocidad constante se fundamentó en la identificación y adopción de parámetros operativos considerados óptimos en otras localidades donde el servicio de recolección demostró niveles de eficiencia técnicamente validados. Este procedimiento metodológico partió del reconocimiento de que la ausencia de registros históricos confiables sobre velocidades promedio de operación y tiempos de demora en el contexto local requirió la consulta de referencias técnicas internacionales que hubieran caracterizado cuantitativamente el comportamiento operacional de sistemas similares.

Se revisaron estudios desarrollados en contextos urbanos internacionales, particularmente investigaciones ejecutadas en España que analizaron exhaustivamente el desempeño de vehículos recolectores mediante la medición sistemática de velocidades de recorrido según jerarquía vial, tiempos de parada en puntos de recolección, tiempos de maniobra para retornos y giros, y tiempos muertos asociados a congestión vehicular o restricciones operativas. Estos trabajos académicos proporcionaron rangos de valores estandarizados que se

consideraron extrapolables al área de estudio tras ajustes por características topográficas y densidad urbana. La Tabla 14 presenta los parámetros referenciales adoptados como base para la simulación temporal de las rutas optimizadas.

Tabla 14: Velocidad del camión recolector en jornadas de trabajo en zonas urbanas en España

Distancia entre puntos (m)	Con trafico (km/h)	Sin trafico (km/h)
60-80	8-9	
80-200	12-15	15-18

Fuente: Rondón Toro et al., (2016).

Como ejemplo ilustrativo de la base de cálculo empleada, se tomó como referencia el procedimiento metodológico documentado para el cálculo del recorrido de un vehículo recolector en el municipio de Villazón (España) y los parámetros base (Tabla 15). A partir del caso antes mencionado, se desarrolló la secuencia de cálculos y se tomaron en cuenta las consideraciones hechas en este estudio sobre estructuras de algoritmos de optimización, para así desarrollar los cálculos específicos para la situación del municipio de Cañar.

Tabla 15: Descripción del camión recolector en jornadas de trabajo

Inicio de ruta	6:00 am
Velocidad promedio	5km/h
Viaje al relleno sanitario	2
Distancia de ruta 1	39.4 km
Final de ruta	3:00 pm a 4:00pm

Fuente: (Gómez Taquichiri, 2022).

A partir del modelado del desplazamiento, se estimó el tiempo que demorarían las unidades de recolección a velocidad constante de 6.5 km/h. El valor de velocidad constituyó un valor de referencia proveniente del caso de estudio en el municipio de Villazón (España). Al asumir escenarios similares, se determinó el tiempo de recorrido para cada segmento de red según la ecuación siguiente:

$$E = V * T \quad (3)$$

Los parámetros que involucra la fórmula son E, el cual representa a la longitud en metros del tramo recorrido. T es el tiempo de demora en minutos y V es la velocidad promedio asumida como constante. A partir de estos cálculos se recopilamos insumos para el análisis de la eficiencia de las rutas. La velocidad determinada y expresada en m/min se indica a continuación.

$$V = 6.5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 108.33\text{m/min}$$

El cálculo del tiempo de demora que cada unidad recolectora tomaría durante el desplazamiento por la ruta fue determinado de una forma más precisa, pero teniendo en cuenta la ecuación previa, usando la herramienta ArcMap 10.5 de análisis espacial. Entre las acciones a desarrollar usando este aplicativo estuvo la de generación de tablas con los parámetros de las rutas e incluso se pudieron anexar otras variables adicionales que optimizaron el análisis.

Con la creación de la tabla de atributos, se hicieron los cálculos de los tiempos de recorrido a través del uso de la herramienta *Field calculator*, a partir de la cual se efectúan múltiples cálculos de manera simultánea asociados al análisis de rutas. Los tiempos obtenidos fueron clave en la evaluación de la eficiencia en las nuevas rutas. Ver la Figura 18.

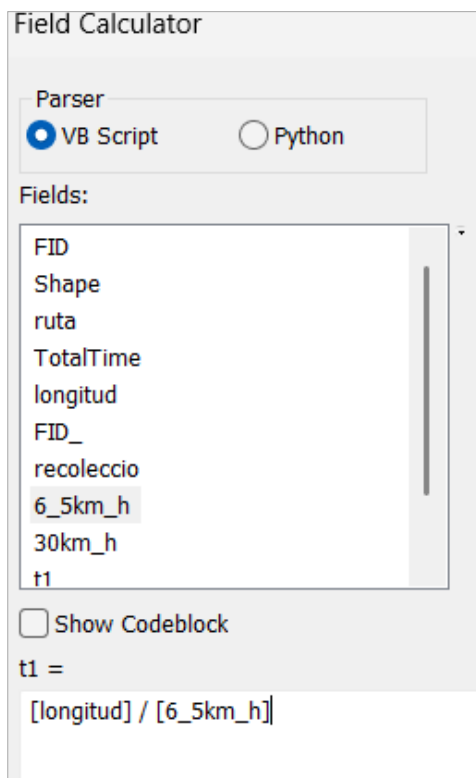


Figura 15. Ventana de proceso para cálculo de tiempo de las rutas óptimas.

Fuente: Elaboración propia con capturas obtenidas del software ArcMap 10.5.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando el diagnóstico del sistema de recolección existente en Cañar, la identificación de los volúmenes manejados y cantidad de unidades recolectoras existentes, así como el análisis comparativo de las rutas existentes versus las propuestas, a continuación, se muestran los principales resultados conseguidos. Este análisis, estructurado en función de los objetivos específicos del estudio, permite exponer cuantitativamente las mejoras obtenidas y discutir sus implicaciones técnicas y operativas para la gestión del servicio de recolección de residuos sólidos en el cantón Cañar.

4.1 Resultado

4.1.1 De las rutas actuales de recolección considerando distancias y tiempos de operación.

Para cumplir con el objetivo de analizar las rutas actuales de recolección de residuos sólidos en el cantón Cañar, identificando distancias y tiempos mediante ARCGIS, en esta sección se exponen los principales resultados cuantitativos obtenidos del diagnóstico operativo. Estos hallazgos, que incluyen la longitud total de los recorridos, la duración de los ciclos y la eficiencia espacial de las rutas, se discuten y comparan posteriormente con los referentes teóricos y las mejores prácticas reportadas en la literatura especializada por otros investigadores.

Como aspecto destacado, se exponen los hallazgos vinculados a factores que índice en los niveles de rendimiento de las rutas. El porcentaje de vías en mal estado (22.16%) se identificó como crítico para la operatividad de los vehículos recolectores, especialmente para aquellos de mayor capacidad de carga. Se determinó que aproximadamente la mitad de estos tramos presentaron capa de rodadura compuesta por material granular (lastre), condición que generó múltiples afectaciones operacionales: reducción significativa de la velocidad promedio de desplazamiento, incremento acelerado del desgaste mecánico de los sistemas de suspensión y transmisión vehicular, y restricción o imposibilidad de acceso durante períodos de precipitación intensa. Estas características condicionaron directamente la confiabilidad temporal del servicio y elevaron sustancialmente los costos unitarios de recolección por tonelada gestionada.

Tabla 16: Aspectos característico de las rutas que transitan los vehículos del sistema de recolección de residuos en Cañar

Tipo de circulación	Número de tramos	Porcentaje del total	Ventajas para ruteo	Desventajas para ruteo
Doble sentido	223	72.88%	Mayor flexibilidad en diseño de circuitos, reducción de retornos innecesarios,	Posible interferencia con tránsito general, requerimiento de

Sentido único	79	25.82%	adaptabilidad contingencias Menor conflicto tránsito opuesto, mayor previsibilidad recorrido	ante coordinación con flujo vehicular con Limitación en alternativas de ruteo, necesidad de retornos obligados
Otros (peatonales, acceso restringido)	4	1.30%	Generalmente aplicable	no Exclusión de modelamiento de red

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se constató que la configuración vial estuvo dominada por tramos de doble sentido, los cuales representaron el 72.88% del total inventariado, mientras que las vías de circulación unidireccional constituyeron el 25.82%. Esta predominancia de la doble circulación se articuló territorialmente en torno al eje vial principal correspondiente a la Troncal de la Sierra E35, infraestructura que funcionó como columna vertebral de la conectividad cantonal. Si bien esta característica ofreció una mayor flexibilidad para el trazado de circuitos cerrados de recolección, también introdujo complejidades operativas asociadas a la planificación del tráfico mixto, la ubicación estratégica de contenedores que minimizaran obstrucciones viales, y la sincronización temporal de horarios de recolección que evitaran interferencias con las horas pico de circulación general. Estas condiciones exigieron que el modelamiento de red incorporara restricciones temporales y funcionales para minimizar conflictos con el tránsito regular y maximizar la productividad horaria de las rutas diseñadas.

El análisis de la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos comunes evidencia una situación favorable en el núcleo urbano de la parroquia Cañar, donde se alcanza una cobertura del 100% tanto en los sectores residenciales como comerciales. Este nivel de cobertura refleja una gestión operativa consolidada, que garantiza la recolección sistemática y continua de los desechos generados en la cabecera cantonal, contribuyendo al mantenimiento de adecuados estándares de limpieza urbana y salubridad (EMMAIPC, 2023).

4.1.2 Resultados asociados a la ruta de recolección actuales

La gestión de los residuos sólidos en el cantón Cañar, a cargo de la Empresa Pública Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañarí (EMMAIPC-EP), se organiza bajo un sistema de recolección diferenciada, el cual clasifica los desechos en residuos orgánicos e inorgánicos. Cada una de estas fracciones opera mediante rutas y horarios específicos e independientes, lo que permite una planificación más especializada del servicio y una atención diferenciada según el tipo de residuo y las características del territorio.

Las rutas destinadas a la recolección de residuos orgánicos se concentran principalmente en el núcleo urbano central del cantón y en las ciudadelas aledañas, priorizando las zonas con mayor densidad habitacional. Esta focalización responde a la necesidad de recolectar con mayor frecuencia los residuos de rápida descomposición, reduciendo así los riesgos sanitarios y los impactos ambientales asociados a su acumulación. Por su parte, el sistema de recolección de

residuos inorgánicos presenta una cobertura territorial más amplia, extendiéndose no solo a los centros urbanos y sus respectivas ciudadelas, sino también a las parroquias rurales, con énfasis en aquellas áreas que concentran una mayor población dentro de la jurisdicción municipal.

Esta distribución operativa es un reflejo de una estrategia de servicio que tiene en cuenta la capacidad potencial de producción de residuos y aspectos logísticos asociados con la accesibilidad por carretera, las distancias recorridas y la capacidad operativa de la flota vehicular. En este sentido, el propósito del diseño de las rutas es balancear la eficacia del servicio con la cobertura territorial, abarcando en forma equitativamente áreas urbanas como rurales.

La evaluación de los costos operativos vinculados con el mecanismo de recolección revela un gasto promedio mensual de US\$ 315.89 por ruta. Sin embargo, este valor promedio oculta una variabilidad significativa entre las distintas rutas, atribuible principalmente a la heterogeneidad en las jornadas de recolección programadas. Un factor determinante en el incremento de los costos es la operación durante días no laborables, particularmente los domingos, en los cuales las rutas asociadas generan recargos salariales y operativos que elevan de manera considerable el gasto mensual en comparación con aquellas que funcionan exclusivamente en días hábiles (Argudo Garzón, 2019).

La distribución espacial y la cobertura del sistema de recolección diferenciada se representan mediante un mapa temático, tal como se muestra en la Figura 10 en el cual se detallan las trayectorias y el alcance de las rutas asignadas para residuos orgánicos e inorgánicos. Esta cartografía es un elemento esencial para analizar la eficacia territorial del servicio, pues facilita la identificación de posibles solapamientos, vacíos de cobertura y oportunidades de perfeccionamiento en la elaboración de las rutas. Estos son elementos claves en el proceso de optimización que se plantea en esta investigación. En la parroquia urbana de Cañar se evidencia la recolección de residuos orgánicos e inorgánicos, lo que permite un manejo más adecuado de los desechos generados por la población. Sin embargo, en la parroquia Honorato Vásquez únicamente se realiza la recolección de residuos inorgánicos, debido a que en las zonas periféricas no se lleva a cabo la recolección de residuos orgánicos. Finalmente, en la parroquia Chorocopte se evidencia un vacío en cuanto al diseño y la planificación de rutas de recolección por parte de la EMMAIPC-EP, lo que genera dificultades en la cobertura de recolección.

En la Tabla 17 se resumen los principales resultados obtenidos para las rutas evaluadas. Se observa que la ruta con menor longitud corresponde a la denominada con código "Arri9" con una distancia aproximada de 3.36 km, mientras que la ruta de mayor extensión es la ruta "Arri4", cuyo recorrido alcanza los 59.42 km. En conjunto, el sistema de rutas analizado registra una distancia total recorrida de 281.86 Km asociado a un tiempo promedio de operaciones de 2,668 minutos (44.5horas) la cual evidencia la magnitud del esfuerzo operativo requerido para la prestación del servicio.

Tabla 17: Información obtenida de la ruta actual

Código	Distancia (km)	Tiempo (min)	Recolección	Parroquia
Arri1	8.54	70	Orgánica e Inorgánica	Mercados de Cañar
Arri2	19.68	295	Orgánica e Inorgánica	Cañar
Arri3	16.98	265	Orgánica e Inorgánica	Cañar
Arri4	59.42	430	Orgánica e Inorgánica	Cañar
Arri5	33.37	292	Inorgánica	Cañar y Honorato Vásquez
Arri6	30.7	268	Inorgánica	Periferia de Cañar
Arri7	42.09	410	Inorgánica	Juncal, Zhud
Arri8	36.42	250	Inorgánica	Honorato Vásquez
Arri9	3.36	15	Inorgánica	Honorato Vásquez
Arri10	24.88	338	Inorgánica	Honorato Vásquez
Arri11	6.42	35	Inorgánica	Periferia de Cañar
Total	11	281.86	2,668	

Fuente: Elaboración propia mediante encuestas realizadas a la EMMAIPC-EP.

4.1.3 Resultado de rutas óptimas

El modelo de optimización aplicado generó una reconfiguración integral del sistema de recolección para la parroquia urbana de Cañar. La nueva propuesta se estructura en 1 macro-ruta, compuesta a su vez por 4 micro-rutas operativas que optimizan la cobertura del área actualmente servida. La sectorización resultante asigna las micro-rutas 1 y 2 a la recolección del sector central, mientras que las micro-rutas 3 y 4 cubren de manera eficiente las ciudadelas periféricas. Cabe señalar que la parroquia rural no fue incluida en este esquema por no contar con la prestación de recolección de residuos orgánicos.

Una característica fundamental del modelo es su adaptabilidad dinámica. El diseño del sistema, facilita una actualización periódica a partir de datos emergente como nuevas viviendas y cambios en la red vial. Esto permite introducir restricciones temporales (ej. cierres por mantenimiento) o añadir nuevas paradas, recalculando automáticamente la secuencia óptima de recolección y garantizando la resiliencia operativa frente a las dinámicas urbanas. Los resultados espaciales de esta configuración optimizada se presentan en la Figura 19.

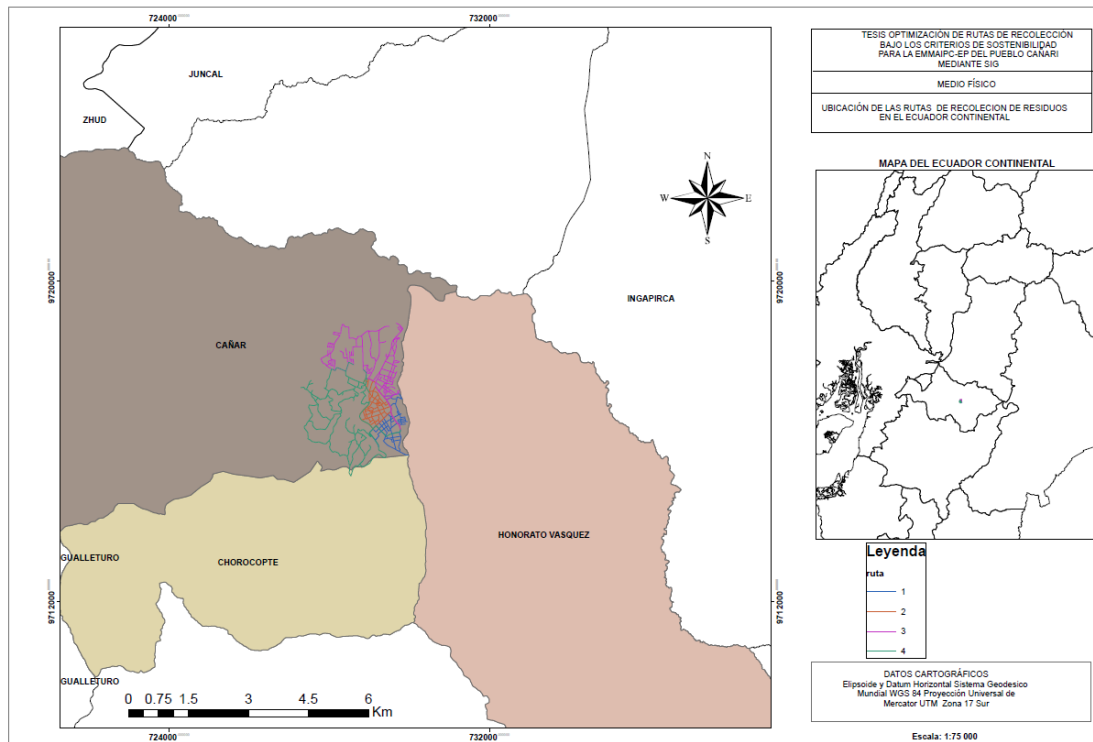


Figura 16. Propuesta de rutas de recolección de residuos orgánicos para la EMMAIPC-EP.

Fuente: Elaboración propia

El modelo de optimización para residuos inorgánicos Figura 20. generó una nueva estructura organizativa del sistema, configurada en dos macro-rutas. Este diseño logró una distribución espacial más eficiente de los recorridos vehiculares. La Macro-ruta 1 coincide íntegramente con la ruta previamente establecida para la recaudación de desechos orgánicos. Esta sincronía representa una ventaja logística significativa, ya que facilita la planificación operativa unificada y promueve una gestión integral y articulada de ambos servicios de recolección.

La Macro-ruta 2 fue diseñada para atender los sectores periféricos, caracterizados por una mayor distancia al núcleo urbano y una menor densidad poblacional. Para optimizar la cobertura en esta zona, se estructuró en seis micro-rutas específicas: cinco de ellas están destinadas a cubrir los diferentes sectores residenciales alejados, y la sexta micro-ruta se especializa en el recorrido exclusivo de los mercados. Esta segmentación garantiza una cobertura adecuada del servicio mientras se optimizan los tiempos de desplazamiento y los recursos operativos.

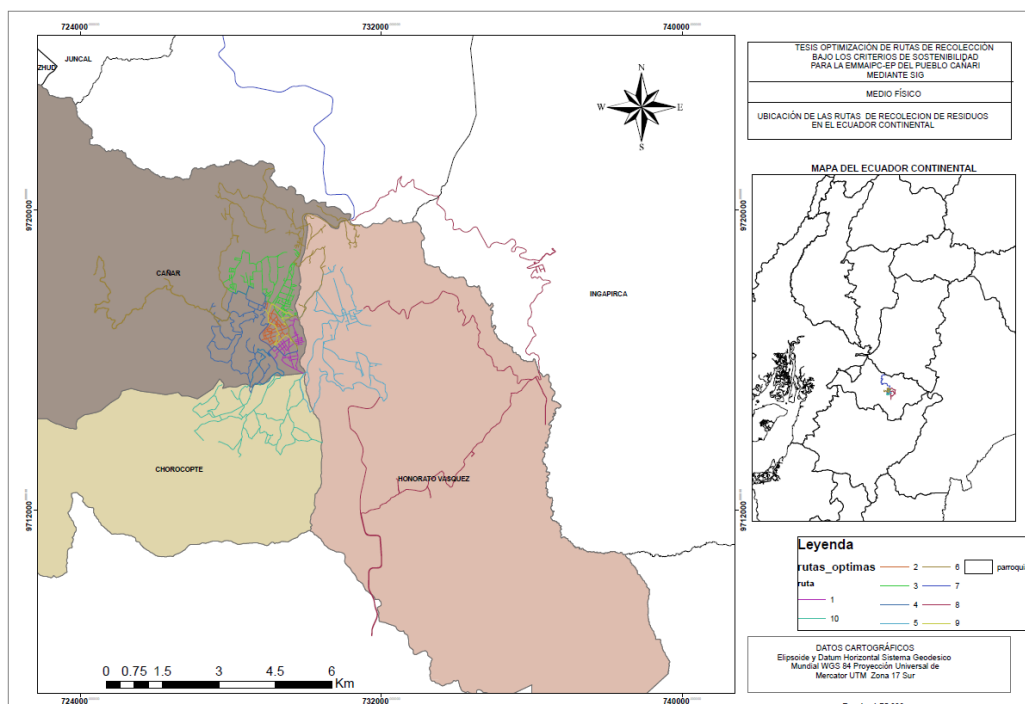


Figura 17. Propuesta de rutas de recolección de residuos inorgánicos para la EMMAI PC-EP.

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros operativos cuantitativos de las rutas optimizadas se muestran en la tabla 10. En la mencionada tabla se analiza que la ruta de menor distancia corresponde a la Ruta 1, la cual recorre los mercados de Cañar y presenta una longitud de 4.9km, mientras tanto la ruta de mayor extensión es la 8, con una distancia de 48.2 km. En conjunto el recorrido total estimado para todas las rutas es aproximadamente 276.11 km. En cuanto al tiempo del desplazamiento, ArcMap estima una demora total de 566.9 minutos (9.44 horas) considerando los parámetros de jerarquía, es decir, que estos son los límites permitidos en cuanto a la velocidad en cada una de las vías urbanas. Adicionalmente se analiza el tiempo de recorrido bajo escenarios de velocidad constante con base en antecedentes bibliográficos. Así, para una velocidad promedio de 6.5km/h se obtuvo un tiempo total de 2,549.2 minutos (42.48 horas), mientras que para una velocidad de 30 km/h, el tiempo estimado se reduce a 551.6 minutos (9.19 horas).

Tabla 18: Resultados obtenidos de las rutas óptimas.

Código	Distancia (km)	Tiempo	Tiempo(min)	Tiempo(min)	Parroquia
		(min) Hierarchy	6.5km/h	30km/h	
1	4.9	7.1	45.28	9.18	Mercados de Cañar
2	11.89	31.12	109.78	23.78	Cañar
3	11.62	28.31	107.29	23.24	Cañar
4	24.29	56.81	224.29	48.59	Cañar
5	23.71	51.97	218.91	47.43	Cañar
6	36.18	73.21	334.03	72.37	Honorato Vásquez
7	42.09	81.87	388.55	84.18	Juncal, Zhud
8	48.26	90.65	445.49	96.52	Honorato Vásquez
9	47.30	85.23	436.67	94.61	Honorato Vásquez
10	25.87	60.71	238.95	51.75	Chorocopte
Total	9	276.11	566.9	2,549.2	551.6

Fuente: Elaboración propia.

D. Cobertura de recolección de residuos sólidos domiciliarios a partir de las rutas óptimas propuestas

Los resultados cuantificados en la Tabla 19 evidencian la configuración operativa y la capacidad de cobertura del sistema de recolección optimizado. La distribución de las distancias por ruta refleja una segmentación territorial clara, por ejemplo, las rutas 1, 2 y 3, con recorridos entre 4.32 y 11.89 km, se concentran en el área central y de mercados, donde la alta densidad de viviendas (a partir de la cantidad de medidores) justifica recorridos cortos y focalizados. En contraste, las rutas 4 a 9, con distancias que superan los 23 km y llegan hasta 48.26 km, están destinadas a las ciudadelas y, principalmente, a las comunidades periféricas. Este incremento progresivo de la longitud es coherente con la expansión geográfica y la menor densidad poblacional de estas zonas, donde los vehículos deben cubrir mayores distancias para atender una cantidad comparativamente menor de usuarios, lo que se confirma con los valores más bajos de medidores, especialmente en un radio próximo de 10 metros.

El análisis de cobertura, medido a través del número de medidores eléctricos residenciales, demuestra la eficacia espacial del nuevo diseño. El sistema en su totalidad alcanza a 4,052 medidores (equivalente al número de viviendas) dentro de un radio crítico de 10 metros de la ruta, un indicador de acceso directo y alta eficiencia en la recolección puerta a puerta. Simultáneamente, 8,474 medidores se localizan dentro de un radio de 50 metros, lo que representa la cobertura ampliada o de proximidad. La marcada diferencia entre estos valores, notable en todas las rutas, indica que el diseño vial y la traza optimizada logran una penetración profunda en los tejidos urbanos y rurales, maximizando el acceso al servicio. La ruta 9, aunque es la más extensa y con menor densidad (156 medidores a 10 m), es esencial para garantizar la equidad en el servicio en las

comunidades más alejadas, asegurando que ningún sector quede excluido. En conjunto, los 276.11 km totales recorridos se traducen en una cobertura efectiva y estratificada que equilibra la eficiencia operativa en el centro con la universalización del servicio en la periferia.

Tabla 19: Cobertura de viviendas de las rutas optimas

Ruta	Distancia (km)	No. de medidores a		Sector
		10 m	50 m	
1	4.32	4	4	Mercados de Cañar
2	11.89	531	1225	Cañar
3	11.62	877	1100	Cañar
4	24.29	588	1410	Cañar
5	23.71	375	1057	Cañar
6	26.18	256	686	Honorato Vásquez
7	47.30	345	773	Juncal, Zhud
8	42.09	325	790	Honorato Vásquez
9	48.26	156	564	Honorato Vásquez
10	25.87	325	865	Chorocopte
Total	276.11	4,052	8,474	

Fuente: Elaboración propia

E. Frecuencia de recorrido planteada a partir de las nuevas rutas propuestas

La sectorización operativa derivada del modelo de optimización generó una propuesta de frecuencias y horarios que busca maximizar la cobertura espacial sin incrementar la demanda de recursos temporales o vehiculares. La Tabla 20 evidencia una estrategia diferenciada según el tipo de residuo y la zona de servicio. Para los residuos inorgánicos, se estableció una frecuencia intensiva (2/7) en el centro urbano y las ciudadelas, con recolección vespertina (19:00-22:00) en el centro para minimizar conflictos de tráfico, y matutina (8:00-12:00) en las periferias. En contraste, las comunidades alejadas tienen una frecuencia semanal (1/7) con una ventana horaria ampliada (8:00-17:00), lo que refleja la necesidad de adaptar el servicio a la mayor dispersión geográfica y a las distancias involucradas. La recolección de orgánicos se concentra exclusivamente en el área central, con una frecuencia semanal (1/7) todos los miércoles en horario diurno, mostrando una focalización del servicio donde la generación de este tipo de residuo es significativa y la densidad poblacional lo justifica.

Un hallazgo clave de esta planificación es la coordinación de la Ruta 1, asignada para la recolección mixta (orgánico e inorgánico) los domingos por la noche, específicamente en el sector de mercados. Esta asignación dual en un mismo recorrido representa una optimización logística que aprovecha una ventana horaria de baja interferencia vehicular para atender un punto crítico de generación. En su conjunto, la propuesta mantiene las frecuencias preexistentes, pero las redistribuye espacialmente de manera más eficiente. El resultado es una expansión efectiva del área cubierta, particularmente hacia las comunidades, sin requerir una ampliación de la flota o de la

jornada laboral, demostrando que la ganancia en cobertura se obtuvo mediante una reorganización inteligente de los recursos operativos disponibles.

Tabla 20: Propuesta de frecuencia y horario para la rutas de la EMMAIPC-EP

Ruta	Recolección	Día	Frecuencia	Horario	Parroquia
1	Orgánico e Inorgánico	Domingo	1/7	19:00pm 22:00pm	Cañar
2	Inorgánico	Lunes Viernes	2/7	19:00pm 22:00pm	Cañar
3	Inorgánico	Lunes Viernes	2/7	19:00pm 22:00pm	Cañar
4	Inorgánico	Lunes Viernes	2/7	8:00 am 12:00pm	Cañar
5	Inorgánico	Lunes Jueves	2/7	8:00 am 12:00pm	Cañar
6	Inorgánico	Miércoles	1/7	8:00 am 17:00pm	Honorato Vásquez
7	Inorgánico	Jueves	1/7	8:00 am 17:00pm	Juncal, Zhud
8	Inorgánico	Viernes	1/7	8:00 am 17:00pm	Honorato Vásquez
9	Inorgánico	Sábado	1/7	8:00 am 17:00pm	Honorato
10	Inorgánico	Marte	1/7	8:00am 17:00pm	Vásquez Chorocopte
1	Orgánico	Miércoles	1/7	8:00 am 17:00pm	Cañar
2	Orgánico	Miércoles	1/7	8:00 am 17:00pm	Cañar
3	Orgánico	Miércoles	1/7	8:00 am 17:00pm	Cañar
4	Orgánico	Miércoles	1/7	8:00 am 17:00pm	Cañar

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Comparación entre rutas actuales y rutas óptimas

La comparación de los escenarios operativos permitió constatar una modificación estructural sustancial en el sistema de recolección. La evaluación de las rutas vigentes frente a las configuraciones optimizadas demostró una reingeniería tanto espacial como funcional, en la que la propuesta resultante no se limita a alterar los recorridos cartográficos, sino que redefine los principios de cobertura territorial y gestión de los medios disponibles. Los resultados permiten de manera general validar cuantitativamente las mejoras introducidas por el modelo, las cuales se concretan en una distribución más equilibrada de los circuitos de trabajo y en una sincronización más efectiva con los patrones de generación de residuos en el ámbito cantonal.

En la Figura 18 se presenta el resultado fundamental de la optimización que es la reducción en el número total de micro-rutas operativas. Mientras el sistema actual requiere de once micro-rutas para cubrir el servicio, la propuesta optimizada logra la misma cobertura, e incluso una ampliación espacial, con solo diez micro-rutas. Esta consolidación representa una ganancia directa en eficiencia logística. La reducción de una micro-rutas implica una simplificación de la gestión operativa, una menor complejidad en la programación de conductores y vehículos, y un potencial ahorro en costos variables como combustible y mantenimiento. Este resultado demuestra que el

modelo de optimización logró agrupar las áreas de servicio de manera más compacta y coherente, eliminando solapamientos y recorridos redundantes presentes en el esquema anterior, lo que se traduce en un sistema más ágil y con mejores indicadores de productividad.

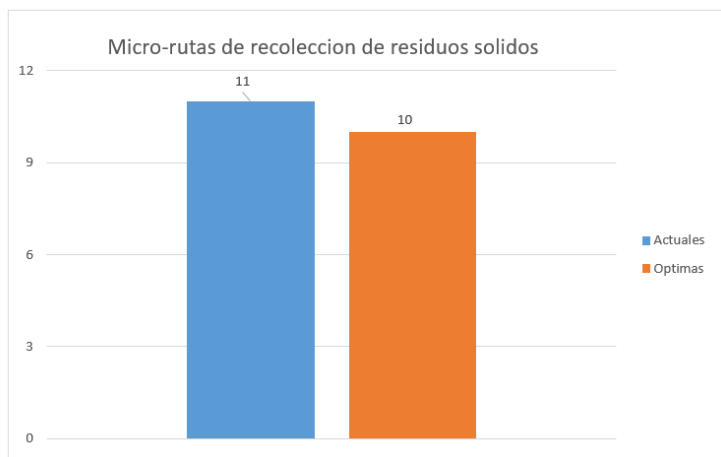


Figura 18. Comparación de micro rutas.

Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos de la Figura 19., se demuestra que la distancia total recorrida por las rutas de recolección evidencia una reducción significativa tras la optimización del sistema. La ruta óptima presenta un recorrido diario de 276.11 km/día, lo que representa una disminución 5.75 km/día en comparación con la ruta actualmente utilizada esta reducción implica un menor consumo de recursos operativos y combustible, contribuyendo a la eficiencia del servicio y el fortalecimiento de un esquema de recolección más sostenible.

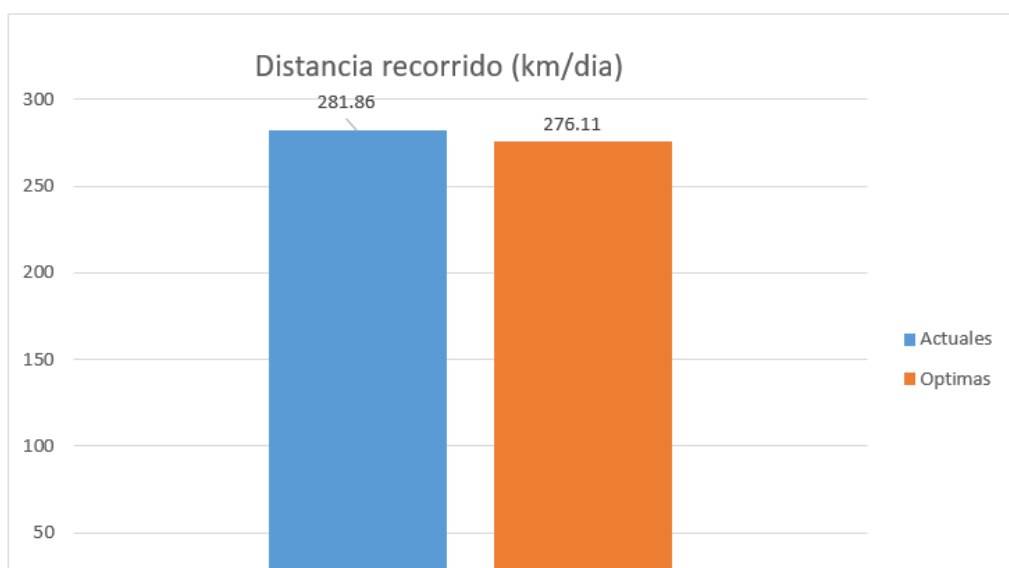


Figura 19. Comparación de distancia de recorrido entre la actual y optimizada.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de proximidad, representado con base en los datos de la Figura 20, cuantifica el impacto directo de la optimización en el acceso al servicio de recolección por parte de las viviendas. A un radio estricto de 10 metros desde la traza de las rutas, la diferencia entre el sistema optimizado y el actual es de 371 viviendas. Este valor, aunque positivo, indica que la mejora en el acceso directo o puerta a puerta es moderada, sugiriendo que la principal ventaja de las nuevas rutas no está en alterar significativamente la cercanía inmediata en zonas ya consolidadas, sino en una reorganización interna de los recorridos. Al evaluar un radio de influencia más amplio se pone en evidencia la ganancia de cobertura por parte de las nuevas rutas recolectoras. Inclusive al ampliar a 50 metros el análisis se tiene un incremento significativo que supera al del sistema existente en 4,793 viviendas.

Este incremento sustancial revela que la reconfiguración espacial de las rutas ha logrado una penetración mucho más efectiva zona urbana y periurbana, acercando el servicio a un número considerablemente mayor de usuarios que antes se encontraban en una situación de mayor marginalidad operativa. En términos prácticos, la optimización ha extendido significativamente el área de influencia del servicio, mejorando la equidad en el acceso sin necesariamente incrementar la longitud total de los recorridos de manera proporcional.

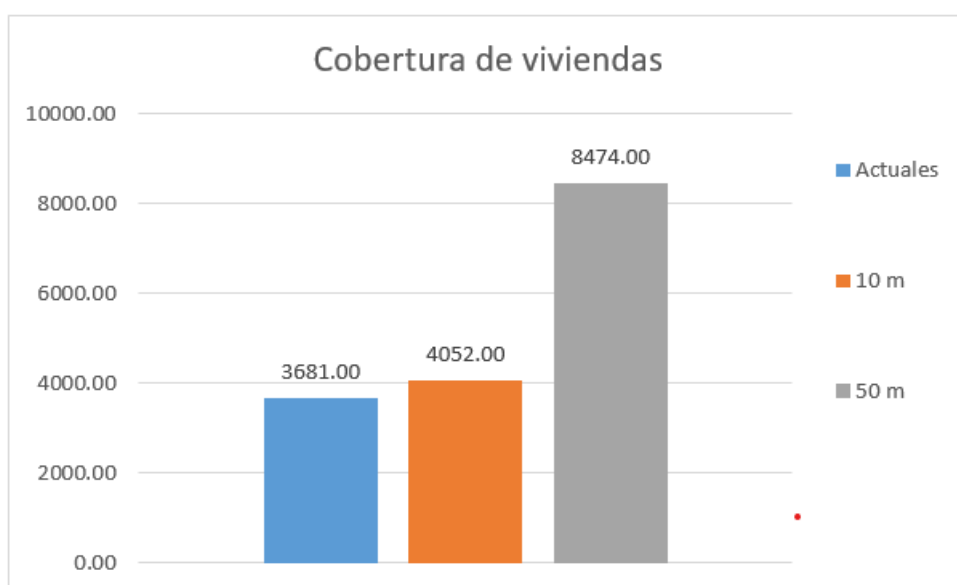


Figura 20. Comparación de Números de viviendas.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 se puede estudiar que el tiempo total utilizado en la recolección presentó una optimización significativa a partir del uso del software de análisis, el cual estimó un tiempo operativo de 566.9 minutos (9.44 horas). Este valor representa una reducción de 2,101.1 minutos (35.01 horas) en comparación con el escenario de referencia asociado a una velocidad constante de 6.5 km/h. Asimismo, al contrastar los resultados con dicho escenario, se evidencia una disminución

adicional de 119 minutos (1.58 horas). Finalmente, al simular el recorrido con una velocidad promedio de 30 km/h, el tiempo de recolección se reduce en 2,116.4 minutos (35.27horas).

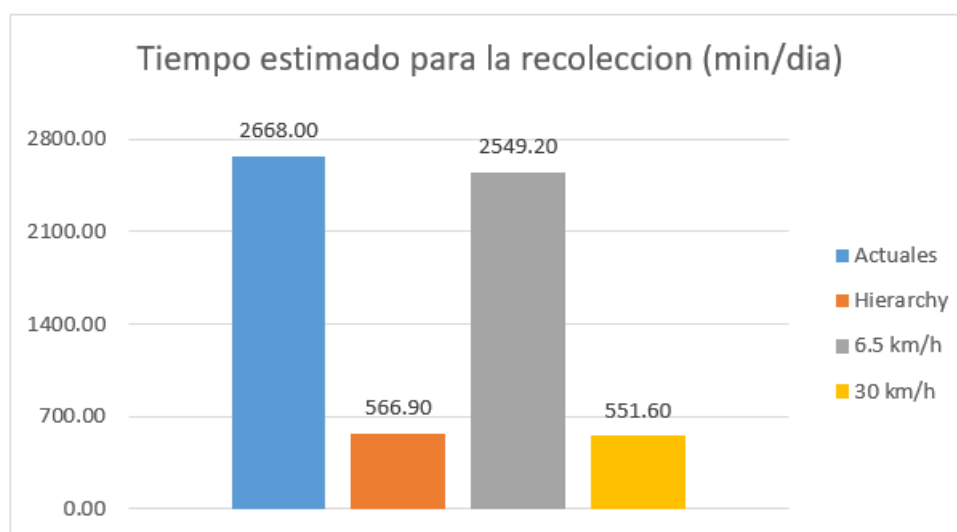


Figura 21. Comparación de tiempo de recorrido.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Discusión.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron caracterizar de manera precisa la situación actual del sistema de recolección de residuos sólidos. A partir del diagnóstico realizado, se determinó que el tiempo total de recorrido alcanza 2,668min (44.46horas), con una distancia acumulada de 281.86km, y que el servicio se ejecuta bajo un esquema de recolección clasificada en residuos orgánicos e inorgánicos, organizada territorialmente en tres zonas: centro urbano, ciudadelas y comunidades aledañas. Esta estructura operativa constituye el punto de partida para evaluar el potencial de mejora mediante procesos de optimización espacial. Los resultados antes mencionados son comparables con los obtenidos en el estudio de Prado (2021) obtuvo una optimización del tiempo en un 10 % lo que permite incrementar las jornadas de recolección y abarcar más áreas.

En este contexto, uno de los elementos más importantes a discutir es lo referente a la aplicación de instrumentos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el *software* ArcGIS y su módulo *Network Analyst*, como soporte en la optimización de recorridos. Los resultados evidencian una reducción en el número de recorridos originalmente establecidas por la EMAIPC-EP, lo cual llega a convertirse en un incremento directo de la eficacia operativa. Este hallazgo guarda concordancia con lo reportado por Araujo y Delgado, (2021), quienes, en el cantón Naranjal, lograron reducir el número de rutas de 24 a 20, contribuyendo al fortalecimiento como una guía de gestión más sostenible hacia la recogida y transporte de desechos sólidos domiciliarios.

De manera similar, los resultados de esta investigación se alinean con el estudio desarrollado en la ciudad de Cúcuta, Colombia, por Vendaño et al., (2024), donde se plantea una

propuesta de optimización de rutas de residuos sólidos urbanos mediante SIG, como aspecto significativo y que es concordante con el resultado obtenido en esta investigación, es que la optimización de las rutas contribuyó a reordenar los recorridos previos, mejorando el proceso de recolección y logística asociada, dando de este modo un mejor servicio a la colectividad. Este paralelismo refuerza la pertinencia del uso de herramientas geoespaciales como apoyo a la planificación operativa de los servicios municipales.

Asimismo, los hallazgos coinciden con lo reportado por Cardenas Cabrera & Cuadra Arevalo, (2022), quienes diseñaron nuevas rutas optimizadas en el distrito de Moche empleando ArcGIS 10.5. En su investigación, el análisis de cuatro rutas de recolección permitió reducir los costos operativos y mejorar la calidad del servicio, resultados que se reflejan de manera consistente con los obtenidos en el presente estudio.

En cuanto a la optimización de la distancia recorrida, los resultados alcanzados muestran una relación directa con lo expuesto por Cerna & Gastolomendo, (2022), quienes, mediante el uso de *ArcMap* 10.4.1 y la extensión *Network Analyst*, analizaron rutas en el distrito de Cajarma Peru específicamente en los sectores 07 y 09, logrando reducciones de 3.78km y 1.4km, respectivamente. Estos resultados evidencian la precisión y efectividad de los SIG en la mejora del trazado de rutas, aspecto que también se ve reflejado en la presente investigación.

De igual forma, los resultados concuerdan con el estudio de Mendieta, (2021) quien, al implementar mejoras en el diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos en el cantón Limón Indanza, logró reducir el recorrido del camión recolector de 16.83km a 15.20km, demostrando que incluso ajustes espaciales moderados pueden generar beneficios operativos relevantes.

Finalmente, la optimización del tiempo de recorrido constituye otro eje clave de discusión. En este sentido, los resultados obtenidos presentan similitudes con lo reportado por Dipas, (2024) en la cual presenta una propuesta de recorrido y trayectoria para camiones recolectores en Huaycán del distrito de Ate donde el tiempo de recorrido se redujo a 1.4horas mediante la aplicación de SIG. Del mismo modo, Castro y González, (2022) realizaron una optimización de rutas y trayectorias para el recogida de basuras en la localidad de Huarin Perú en la cual se evidenció una disminución del tiempo de recolección de 222 minutos(3.7horas), alcanzando un promedio de 3.4horas, junto con una reducción en el consumo de combustible de 3 a 2 gal/día, equivalente a una mejora del 33 %.

En conjunto, los estudios contrastados y las deducciones obtenidas en esta investigación corroboran que optimizar las rutas mediante herramientas SIG constituye una estrategia eficaz para mejorar la eficacia operativa, reduce los tiempos, así como las distancias, disminuir el gasto de gasolina y fortalecer la sostenibilidad de la prestación del servicio de recogida de desechos sólidos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

El desarrollo de la presente investigación permitió analizar de manera integral el funcionamiento del sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios en las parroquias de Cañar, Chorocopte y Honorato Vásquez. El diagnóstico inicial evidenció que las rutas existentes habían sido configuradas de forma empírica, lo que generaba recorridos innecesarios, tiempos elevados de operación y una distribución poco equilibrada de las cargas de trabajo, afectando tanto la eficiencia del servicio como su sostenibilidad en el tiempo.

A partir de la aplicación de instrumentos del Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente mediante el uso del *software ArcGIS 10.5* y la extensión *Network Analyst*, fue posible modelar la red vial del área de estudio y proponer un esquema optimizado de recolección basado en criterios técnicos y cuantificables. Este proceso permitió reestructurar el sistema, reduciendo el número de micro rutas de once a nueve, organizadas en dos macro rutas, sin comprometer la cobertura total del servicio en la zona analizada.

La comparación entre el escenario operativo actual y el escenario optimizado mostró una reducción de 31,18 km en la distancia total recorrida y de 357,71 minutos (5.57 horas) en el tiempo operativo. Estos resultados reflejan una mejora significativa en la eficiencia del sistema de recolección y confirman el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación, evidenciando la pertinencia del enfoque analítico computacional adoptado.

Desde el punto de vista económico, la disminución de distancias y tiempos de recorrido implica una reducción directa en el consumo de combustible y en el desgaste mecánico de la flota vehicular. En consecuencia, el sistema optimizado contribuye a una mejor utilización de los recursos financieros y operativos disponibles, fortaleciendo la sostenibilidad económica del servicio de recolección a mediano y largo plazo.

En términos ambientales, la optimización de rutas conlleva una disminución potencial de las emisiones asociadas al transporte de residuos sólidos, así como una menor exposición de los desechos en el espacio público. Estos efectos favorecen la mejora de las condiciones sanitarias, reducen el riesgo de proliferación de vectores y aportan a la mitigación de impactos ambientales locales derivados de una gestión ineficiente de los residuos sólidos.

Adicionalmente, la redistribución más equilibrada de las rutas y del número de viviendas atendidas por cada unidad recolectora permite mejorar la organización del trabajo del personal operativo, reduciendo sobrecargas y favoreciendo una prestación del servicio más ordenada y equitativa. Este aspecto resulta relevante no solo desde una perspectiva técnica, sino también desde el enfoque de gestión institucional del servicio público.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de herramientas SIG en la planificación de rutas de recolección constituye una alternativa técnicamente viable y replicable para otros gobiernos locales del Ecuador. Su aplicación fortalece la capacidad institucional de las entidades responsables de la gestión de residuos sólidos, al promover procesos de toma de decisiones sustentados en información espacial, criterios técnicos y principios de sostenibilidad ambiental y económica.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a la Empresa Pública Municipal de Aseo Integral del Pueblo Cañarí (EMMAIPC-EP) considerar la implementación progresiva del modelo de optimización de rutas desarrollado en esta investigación como una herramienta permanente de planificación operativa. La actualización periódica de la información geoespacial permitiría ajustar las rutas frente al crecimiento urbano, los cambios en la dinámica poblacional y la incorporación de nuevas áreas de cobertura.

Resulta pertinente complementar la planificación de rutas con la implementación de sistemas de monitoreo vehicular mediante tecnologías de posicionamiento global (GPS). Este tipo de herramientas facilitaría el seguimiento en tiempo real de las unidades recolectoras, permitiría verificar el cumplimiento de las rutas planificadas y contribuiría a mejorar el control operativo, la eficiencia del servicio y la transparencia institucional.

Se sugiere realizar campañas periódicas de caracterización física y composicional de los residuos sólidos domiciliarios, así como la actualización de las tasas reales de generación per cápita. La disponibilidad de esta información permitiría afinar los parámetros de diseño del sistema de recolección y mejorar la planificación de frecuencias y recorridos, especialmente en sectores con dinámicas de generación variables.

Así mismo, se recomienda incorporar análisis socio ambientales que incluyan encuestas, diálogos y la observación directa, con la finalidad de identificar hábitos de disposición, habilidades de disgregación en el origen y niveles de participación ciudadana. Estos insumos son fundamentales para fortalecer los eventos de fortalecimiento ambiental y fomentar un servicio más corresponsable en lo que se refiere a los residuos sólidos por parte de la población.

Es conveniente que la metodología y los resultados de esta investigación sean considerados como insumo técnico en los instrumentos de planificación territorial y ambiental del cantón, tales como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) y los planes de gestión integral de residuos sólidos. De esta manera, la optimización de rutas puede consolidarse como una herramienta estratégica dentro de los procesos de planificación urbana sostenible.

Finalmente, se recomienda evaluar la eventualidad de replantear la presente metodología en los distintos cantones que conforman la mancomunidad del Pueblo Cañarí, adaptándola de acuerdo a sus particularidades territoriales y operativas. Su aplicación a escala regional permitirá una mejora en la eficacia del servicio de recolección, reducir impactos ambientales, además de ello ayudaría a fortalecer la gestión ambiental pública en contextos similares.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. A. A., & Zambrano, M. E. J. (2015). *Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio*.
- Amal, L., Son, L. H., Chabchoub, H., & Lahiani, H. (2020). Analysis of municipal solid waste collection using GIS and multi-criteria decision aid. *Applied Geomatics*, 12(2), 193-208. <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00291-6>
- Anchía Leitón, D. (2018). *"Propuesta para el diseño de micro-rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de la ciudad de San José"*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA.
- ANT. (2012). *REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL*. 91.
- Araujo, A., & Delgado, O. (2021). Manejo sostenible de residuos sólidos domiciliarios: Recolección y transporte al relleno sanitario. Caso cantón Naranjal. *Universidad-Verdad*, (78), 62-95. <https://doi.org/10.33324/uv.v1i1.364>
- Argudo Garzón, R. E. (2019). *"Evaluación y optimización de rutas de recolección de residuos y desechos en la Empresa Municipal Mancomunada de Aseo Integral del Pueblo Cañarí, EMMAIPC EP."* UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Avendaño, P., & Sanchez, D. (2024). *Situación actual de la gestión de residuos domiciliarios sólidos en la República del Ecuador y sus principales ciudades Quito, Guayaquil y Cuenca 2024* (p. 66). Instituto de Gobernanza del Parlamento Andino.
- Barrera, L., & Ibarra, D. (2018). Metodología Basada En Sig Y Modelamiento Para La Recolección De Llantas Usadas En Bogotá. *Luna Azul*, (47), 67-82.
- Bedoya Arias, M., & Bedoya Muñoz, D. (2017). *COBERTURA DE LOS ORGANISMOS DE SOCORRO EN TÉRMINOS DE SU TIEMPO DE RESPUESTA EN LA CIUDAD DE MANIZALES APOYADO ELA HERRAMIENTA NETWORK ANALYST DE ARCGIS*. [UNIVERSIDAD DE MANIZALES]. <https://ridum.umanizales.edu.co/server/api/core/bitstreams/cdf41bfb-3030-4d02-9b06-521cb30d5ee9/content>

- Bertero, F., Cerdeiro, M., Duran, G. A., & Faillace, N. A. (2021). *Optimizaci3n de la zonificaci3n y el ruteo de camiones en la recolecci3n de residuos de un municipio del Gran Buenos Aires*.
- Cardenas, C., & Cuadra, J. A. (2022). "SISTEMAS DE INFORMACI3N GEOGRÁFICA PARA OPTIMIZAR LA RUTA DE RECOLECCI3N DE RESIDUOS S3LIDOS MUNICIPALES, MOCHE, 2022" [UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31510/Cardenas%20Cabrera%20Cordia%20-%20Cuadra%20Arevalo%20Jefer%20Anderson.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Castells, X. E. (2012). *Reciclaje de residuos industriales: Residuos solidos urbanos y fangos de depuradora*. Ediciones DÍaz de Santos.
- Castro, L., & Gonzalez, D. (2022). *OPTIMIZACI3N DE RUTAS PARA RECOLECCI3N DE LOS RESIDUOS S3LIDOS DOMICILIARIOS UTILIZANDO HERRAMIENTA SIG EN LA LOCALIDAD DE HUARÍN, 2022*. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Cerna, M. S., & Gastolomendo, U. (2022). "SISTEMAS DE INFORMACI3N GEOGRÁFICA (ARCMAP) PARA LA OPTIMIZACI3N DE RUTAS Y RECOJO SELECTIVO DE RESIDUOS S3LIDOS MUNICIPALES DE LOS SECTORES 07 Y 09 DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2022". UNIVERSIDAD DE CAJAMARCA.
- COA, OficioNo. T.4700-SGJ-17-0182, 92 (2017).
- Cusco, J., & Picon, E. (2015). "OPTIMIZACI3N DE RUTAS DE RECOLECCI3N DE DESECHOS S3LIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG". UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Dipas, J. B. (2024). Propuesta de ruta de recolecci3n de residuos s3lidos mediante ArcGIS Network Analyst en la localidad de Huaycán del distrito de Ate, 2023. 2024, 10.
- EMMAIPC. (2020). *Camiones Recolectores—EMMAIPC*. <https://emmaipc-ep.gob.ec/camiones-recolectores/>
- EMMAIPC. (2023). *INFORME DEL ESTUDIO DE CARACTERIZACI3N DE LOS RESIDUOS Y DESECHOS SOLIDOS REALIZADO EN LOS CANTONES DE CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO Y SUSCAL (INCLUYE PARROQUIAS Y COMUNIDADES)* (p. 38) [Informe tecnico].

- Enciso Gómez, D., Cervantes, P. H. A., Martínez, F. R., Durán-Páramo, E., & Castro-Frontana, D. G. (2019). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE RESIDUOS A SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 55-67.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.06>
- Euformación Consultores, S. L. (2017). *Recogida y Transporte de Residuos Urbanos o Municipales: I*. IC Editorial. Digitalia. <https://www.digitaliapublishing.com/a/86932>
- Gómez, J. E. (2021). *Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos implementando herramientas computacionales del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS en un municipio colombiano*. Universidad de los Andes.
- Gómez Taquichiri, D. M. (2022). *MANUAL DE OPERACIONES DE AREA DE RECOLECCION Y TRANSPORTE* (p. 46). E.M.A.VI. esa Municipal De Aseo Villazon.
- INEC. (2022). *Población y migración*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/poblacion-y-migracion/>
- Jiménez, A. M., Buzai, G. D., & Día, M. F. (2017). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales... 2ª Ed. Actualizada*. Ra-Ma Editorial.
- López, M., Villagra, A., & Pandolfi, D. (2022). Optimización de rutas en la recolección de residuos tecnológicos. 01/08/2022.
- Marchena, D. J. (2015). *DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRABAJO UTILIZANDO EL ALGORITMO DE DIJKSTRA Y DIAGRAMAS DE VORONOI*. UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN.
- Marquez Benavides, L. (2016). *Residuos Sólidos: Un enfoque multidisciplinario* (LibrosEnRed, Vol. 1).
- Masabanda, J. H. A., & Guayasamín, R. H. A. (2021). Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga. *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, 5(1), Article 1.
- Mendieta, J. (2021). *“Implementación de mejoras en el diseño de la ruta para la recolección de residuos sólidos en el centro urbano en el Cantón Limón Indanza (General Leonidas Plaza)”*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY.

- Moran Choez, J. L. (2024). *Optimización de la red de recolección de desechos sólidos en la ciudad de Jipijapa a través del uso de sistemas de información geográfica (sig)* [UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ].
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6663/1/Moran%20Choez%20Joshua%20Leonardo.pdf>
- Moreno, J. R., & Arriaga, E. P. (2006). *Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (Ecoeficiencia)*. 14.
- PDOT, C. (2023). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CAÑAR*. 626.
- Pérez, R. M., & Díaz, R. F. (2023a). Optimización del ruteo de vehículos para la recolección de desechos sólidos municipales – caso Cienfuegos. *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 8(1), Article 1.
- Pérez, R. M., & Díaz, R. F. (2023b). Optimización del ruteo de vehículos para la recolección de desechos sólidos municipales – caso Cienfuegos. *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 8(1), Article 1.
- Restrepo, J., & Sanchez, J. (2004). *APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS Y EL ALGORITMO DE DIJKSTRA PARA DETERMINAR LAS DISTANCIAS Y LAS RUTAS MÁS CORTAS EN UNA CIUDAD*. (26), 7.
- Rocha, L. B., & González, E. C. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *2011*, 16(2), 35-25.
- Rodríguez Guerra, A., & Baca Cajas, K. A. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): Análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 43(1 (Mayo)), 49-61.
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J., & Contreras, E. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. www.cepal.org/publicaciones
- Rosales Ibarra, S. A. (2015). *DISEÑO DE UNA PROPUESTA TÉCNICA PARA LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS URBANOS, EN LA CIUDAD DE TENA, PROVINCIA DE NAPO* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO].
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/820/1/UNACH-EC-IMB-2015-0006..pdf>
- Sáez, A. (s. f.). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*.

- Salas, A. (2008). Acerca del Algoritmo de Dijkstra. *2008*, 1, 9.
- Sánchez, M. A. A., García, Z. J. G., de, M. G., & Castillo, L. A. (2025). *Optimización de rutas mediante Sistemas de Información Geográfica para recolección de residuos en la ciudad de Cúcuta, Colombia*. 13.
- Tello Espinoza, P., Darci, C., & Sarafian, D. (2018). *GESTIÓN DE INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS* (Diseño, formación y revisión Proper Mx).
- TULSMA. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*.
<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/DECRETO%20EJECUTIVO%203516%20-%20TULSMA.pdf>
- vendaño Sánchez, M. A., González García, Z. J., & Acosta Castillo, M. G. de L. (2024). Optimización de rutas mediante Sistemas de Información Geográfica para recolección de residuos en la ciudad de Cúcuta, Colombia. *semestral*, 13(Especial(2025)22-27), 6.
<https://doi.org/DOI:%2520https://doi.org/10.29057/icea.v13iEspecial.13244>

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Moisés Zamora Simbaina portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302888219. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN BAJO LOS CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA EMMAIPC-EP DEL PUEBLO CAÑARI MEDIANTE SIG” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de marzo de 2026



F:

Moisés Zamora Simbaina

0302888219