



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

“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)”

**Trabajo de graduación previo a la obtención de título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autor:

MENDIETA HELGUERO JONNATHAN MARCELO

Director:

Ing. Civ. María Belén Arévalo Durazno M. Sc.

CUENCA, ECUADOR

2021

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a Dios que me trajo a este mundo, brindándome una maravillosa familia, me dio una hija inteligente, y además me dio el valor para seguir con mi carrera hasta terminarla.

A mi Madre que me dio la vida. A mi familia que de una u otra manera aportaron este logro, en especial a mi abuelita Lucila, mi tío Efrén y mi tía Fanny que fueron los pilares fundamentales en mi vida, me enseñaron valores, educación, respeto, perseverancia, forjando la persona que soy, sin rendirse conmigo, apoyándome hasta el último.

A mi hermana Karen que siempre estuvo apoyándome en las buenas y malas, quien a pesar de mis errores no me ignora.

A mi hija Ciara que me dio el valor para seguir adelante y no rendirme, siempre sorpremiéndome con sus virtudes e inteligencia, empujándome a ser mejor persona.

AGRADECIMIENTO

Mi muy sincero agradecimiento a mi tutora, la Ing. Belén Arévalo, por su tiempo y compromiso para guiarme en mi proyecto.

A todos los docentes de la Universidad del Azuay quienes, con sus importantes enseñanzas, me han formado como persona y preparado para la vida profesional.

A mis familiares y amigos, especialmente a mi Abuelita Lucila, mi triunfo se lo dedico a ella.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE ECUACIONES	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:.....	3
JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO 1 : MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Residuos sólidos	5
1.2. Recorrido	5
1.3. Ruta	5
1.4. Recolección	5
1.5. Modelos de diseños de rutas.....	7
1.5.1. Modelo de Macrorutas	7
1.5.2. Modelo de Microrutas.....	7
1.6. Algoritmos y modelos matemáticos	8
1.6.1. Algoritmo para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP).....	8
1.6.2. Algoritmo del Cartero Chino (CPP)	9
1.6.3. Teoría de los Grafos.....	9
CAPÍTULO 2 : METODOLOGÍA	15
2.1. Área de estudio y puntos estratégicos	15
2.2. Diagnóstico de la situación actual	16
2.2.1. Recolección de residuos sólidos	16
2.2.2. Tipos de Residuos	17
2.2.3. Equipo de recolección.....	18
2.2.4. Generación Per Cápita de la Zona Urbana.....	18
2.2.5. Análisis de tiempo de recolección de basura	20
2.2.6. Georreferenciación.....	23
CAPÍTULO 3 : RESULTADOS	25

3.1. Desarrollo de la ruta	31
3.2. Diseño definitivo de la ruta	36
3.3. Análisis de Resultados.....	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Horarios de recolección de los residuos sólidos del Cantón Limón Indanza	18
Tabla 2.2 Producción per cápita del centro urbano del Cantón Limón Indanza.	19
Tabla 2.3 Producción de residuos especiales del Hospital Básico de Limón Indanza.	20
Tabla 2.4 Tiempo empleado en la recolección de basura.	21
Tabla 3.1 Distancia recorrida (km/día).	37
Tabla 3.2 Ahorro de combustible de la ruta propuesta para los residuos orgánicos e inorgánicos al año.	38
Tabla 3.3 Consumo de combustible de los desechos reciclables y especiales.	39
Tabla 3.4 Ahorro de combustible de la ruta propuesta al año.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Método de parada fija.	6
Figura 1.2 Método de acera.	6
Figura 1.3 Método de contenedores.	7
Figura 1.4 Grafo con nodos y arcos o aristas.	8
Figura 2.1 Zona Urbana de General Leónidas Plaza Gutiérrez.	16
Figura 2.2 Mapa de identificación de barrios del Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza.	21
Figura 2.3 Ruta actual del Cantón Limón Indanza.	22
Figura 3.1 Identificación de la zona.	27
Figura 3.2 Creación de arcos.	27
Figura 3.3 Paridad (pares) de nodos.	28
Figura 3.4 Paridad (pares) de nodos.	28
Figura 3.5 Inicio de la ruta actual.	31
Figura 3.6 Inicio de la ruta óptima.	31
Figura 3.7 Segundo tramo de la ruta actual.	32
Figura 3.8 Segundo tramo de la ruta óptima.	32
Figura 3.9 Tercer tramo de la ruta actual.	33
Figura 3.10 Tercer tramo de la ruta óptima.	33
Figura 3.11 Cuarto tramo de la ruta actual.	34
Figura 3.12 Cuarto tramo de la ruta óptima.	34
Figura 3.13 Tramo entre la zona urbana y disposición final.	35
Figura 3.14 Diseño definitivo de la ruta óptima.	36
Figura 3.15 Comparación de la distancia entre la ruta actual y la ruta óptima.	37
Figura 3.16 Consumo de combustible de recorrido por día.	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1	14
Ecuación 2.1	18

“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)”

RESUMEN

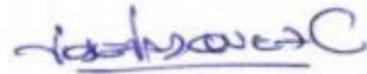
El objetivo del presente proyecto es proponer un nuevo diseño de ruta de recolección de residuos sólidos (RSUM) en el centro urbano del Cantón Limón Indanza. Para ello, se emplea la metodología del problema del cartero chino (CPP) con el sistema de recolección de acera. Se evalúa la situación actual de la red vial y se caracteriza la micro-ruta en SIG AcrGis 10.5. Se presenta una ruta alternativa evidenciando la relación beneficio-costos. La propuesta obtiene una minimización de 15.20 km/día y una reducción del 8.9 % en el consumo de combustible.

Palabras Clave: problema del cartero chino, recolección de residuos, recolección de acera, micro-rutas, gestión de residuos sólidos (SWM), recolección de residuos sólidos (SWC).



Ing. María Belén Arévalo D.

Director del Trabajo de Titulación.



Ing. José Fernando Vázquez C.

Director de Escuela.



Jonnathan Marcelo Mendieta Helguero.

Autor.

Implementation of improvements in the design of the route for the collection of solid waste in the urban center in the Cantón Limón Indanza (General Leonidas Plaza)

ABSTRACT

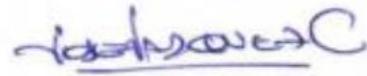
The objective of this project is to propose a new design for a solid waste collection route (RSUM) in the urban center of Limón Indanza's canton. For this, the methodology of the Chinese Postman Problem (CPP) was used with the sidewalk collection system. The current situation of the road network was evaluated and the micro-route was characterized in GIS ArcGis 10.5. An alternative route was presented showing the cost-benefit ratio. The proposal obtained a reduction of 15.20 km/day and a reduction of 8.9% in fuel consumption.

Keywords: Chinese postman problem, garbage collection, curbside collection, micro-routes



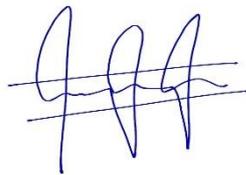
Ing. María Belén Arévalo D.

Director del Trabajo de Titulación.



Ing. José Fernando Vázquez C.

Director de Escuela.



Jonnathan Marcelo Mendieta Helguero.

Autor.

Translated by



Jonnathan Marcelo Mendieta H.



Mendieta Helguero Jonnathan Marcelo.

Trabajo de titulación.

Ing. María Belén Arévalo Durazno

Noviembre, 2020

“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)”

INTRODUCCIÓN

El manejo y gestión de los residuos sólidos (SWM) se ha convertido en un tema de interés en la mayoría de países. La recolección de los residuos sólidos (SWC) es un sub proceso de mayor complejidad entre los demás pasos del proceso operativo de SWM. Debido al acelerado incremento de la población a nivel mundial, los residuos sólidos urbanos (RSU) se encuentran en aumento incluso más rápido que la misma urbanización (Hannan et al., 2015).

Consecuentemente, el crecimiento poblacional y la urbanización, combinado con las preocupaciones medioambientales han derivado en una situación drástica de tal manera que las administraciones municipales deben buscar medios alternativos para que la recolección y eliminación de los residuos acumulado encajen en un marco sostenible y eficiente (Poser y Awad, 2006)

Unos de los principales objetivos de la gestión de residuos es la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales (RSM). Es crucial reducir el tiempo de recolección de RSM para mejorar el servicio, reducir la emisión de contaminantes al aire y minimizar costos de la gestión de residuos. Algunos factores esenciales ayudan a reducir este tiempo, el método de recolección, tipo de contenedores y camiones, rutas establecidas, etc.

De la misma manera, esquemas de recolección de residuos han sido analizados de diferentes perspectivas, tanto económicas, sociales y ambientales. Un factor

importante, para la optimización de gestión de residuos es el tipo de sistema de recolección de residuos.

Hoy en día existen varias herramientas que se basan en sistemas de información geográfica (SIG), las mismas que sirven para determinar una ruta de recolección óptima. ArcGis (Esri), Geomedia (Hexagon Espacial), MapInfo Professional (Pitney Bowes), Global Mapper (Blue Marble), Manifold GIS (Manifold), Small World (General Electric), SuperGIS (SuperGEO Technologies) y AutoCad Map 3D (Autodesk). El tiempo empleado en la ruta se determina con herramientas como SIG conociendo ciertos parámetros como la distancia entre los puntos de recolección, la velocidad máxima permitida, se puede determinar a partir de datos experimentales y se vuelve complejo obtener información (Shuster y Schur, 1974).

Los camiones recolectores con el fin de cumplir con el servicio, recorren largas distancias para completar la ruta, perdiendo tiempo de trabajo pasando por el mismo punto en varias ocasiones o zonas innecesarias que realizan los camiones desde el inicio del recorrido hasta el relleno sanitario (Nguyen-Trong et al., 2017).

En la ciudad de Cuenca - Ecuador se realizó un estudio de optimización de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios, en el cual se utilizó la herramienta Network Analyst de ArcGis, en el cual se diseñó la ruta logrando reducir tiempo y costos tanto para la empresa como para los usuarios, cubriendo en su totalidad la recolección de desechos sólidos (Carlos et al., 2019).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las ciudades de los países en desarrollo la recolección de residuos sólidos es un procedimiento complejo, en referencia a la logística, costos de operación, el personal e incluso las emisiones contaminantes que se generan hacia la atmósfera (Malakahmad et al., 2014). El proceso convencional para la recolección de residuos involucra el vehículo recolector que inicia su recorrido desde el depósito y viaja por diferentes rutas que se han determinado con el fin de visitar todos los lugares, lo cual consume gran porcentaje del presupuesto. Durante el transcurso de recolección de residuos, los vehículos conservan el funcionamiento de los motores, incluso en la carga y descarga de los contenedores, por lo tanto, se traduce en un significativo consumo de combustible. Además, se menciona que gran parte del presupuesto destinado a gestión

de los residuos sólidos (SWM) se gasta en la recolección de los residuos sólidos (SWC) para solventar la compra de combustible, por lo tanto, la preocupación ha aumentado en los últimos años por el efecto peligroso en el medio ambiente (Tavares et al., 2009). Esto conlleva a que numerosos municipios evalúen la rentabilidad y los impactos hacia el ambiente de sus sistemas de gestión de los residuos sólidos (SWM), con enfoque a los diseños de las rutas de recolección de los residuos (Nuortio et al., 2006).

OBJETIVOS

Objetivo general:

Implementar mejoras en el diseño de la ruta de recolección de residuos sólidos en el centro urbano de Limón Indanza, Parroquia General Leonidas Plaza.

Objetivos específicos:

- Recopilar la información de recorrido actual que se efectúa en el centro urbano e identificación de los puntos críticos dentro de la ruta.
- Realizar una revisión bibliográfica referente al modelo de gestión y desarrollo de rutas eficientes para la recolección de residuos sólidos.
- Realizar modelos de rutas probables que se ajusten a las necesidades del sistema de recolección, para el análisis de factores que afectan a la ruta.

JUSTIFICACIÓN

La urbanización en conjunto con el acelerado incremento de la población tienen como resultado un aumento considerable en la cantidad de desechos generados en distintas ciudades a nivel global (Yazdani et al., 2021). Investigaciones previas asumen que el proceso de recolección de los residuos es de mayor complejidad a comparación con los demás procesos de la gestión integral de residuos. Los modelos actuales de enrutamiento son desarrollados bajo el marco de sostenibilidad para grandes ciudades, por lo tanto, se convierten en técnicas que no se pueden aplicar para otros sistemas de gestión en ciudades que abarcan una baja densidad poblacional e infraestructura reducida.

En este proyecto se propone la aplicación de las técnicas de recolección fundamentadas por la metodología del cartero chino, las cuales se orientan a la implementación de mejoras para optimizar los recursos empleados en la ruta actual para el centro urbano

de Limón Indanza. Con el nuevo diseño de la ruta se pretende brindar mayor cobertura; es decir se llegará a puntos que se encuentran dentro de la misma zona, pero no constan en el diseño de la ruta actual. De manera que se reduzca tanto la distancia como el tiempo ocupado para esta actividad.

Los resultados del desarrollo de este proyecto buscan constituir un sistema eficiente de problemas de ruteo adecuado para la recolección de los residuos en la zona urbana del Catón Limón Indanza. Además, que proporcione información útil a la comunidad técnica encargada del área del saneamiento ambiental que considere adoptar este ejemplo como base para aplicación en casos similares. Teniendo en cuenta las directrices necesarias para identificar los problemas y resaltar las mejoras que puedan aprovecharse con el fin de desarrollar sistemas de recolección capaces de solventar las necesidades actuales y futuras.

CAPÍTULO 1 : MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla los métodos determinísticos para el diseño de la micro ruta, conceptos y parámetros importantes para la problemática de ruteo de recolección de basura para áreas urbanas.

1.1. Residuos sólidos

Aquellos residuos sólidos comúnmente conocidos que son desechados a diario categoría abarca productos plásticos, envases de comida, residuos orgánicos como césped y ramas de jardines, materiales de ropa, muebles, electrodomésticos, envases de pintura (Afon y Okewole, 2007).

1.2. Recorrido

Es la acción de realizar un trayecto, para nuestra investigación lo tomaremos en cuenta para saber la frecuencia del carro recolector que pasa por un mismo punto.

1.3. Ruta

Es un camino ya establecido, el GAD Municipal del Cantón Indanza ya cuenta con rutas establecidas, por sectores, la misma que genera inconvenientes al pasar por un mismo punto (Noche et al., 2010).

1.4. Recolección

Es la acción de recolectar (recoger), el GAD Municipal de Limón Indanza está encargado de la recolección de residuos sólidos generados por las fuentes generadoras, transferirla al carro recolector por parte de los operarios y trasladarlos hasta su disposición final.

Existen diferentes métodos de recolección de desechos sólidos, que se detallan a continuación:

Método de esquina o parada fija: Puntos estratégicos diseñados en un sistema de ruta, donde la ciudadanía pueda depositar sus desechos que posteriormente serán cargados al vehículo recolector.

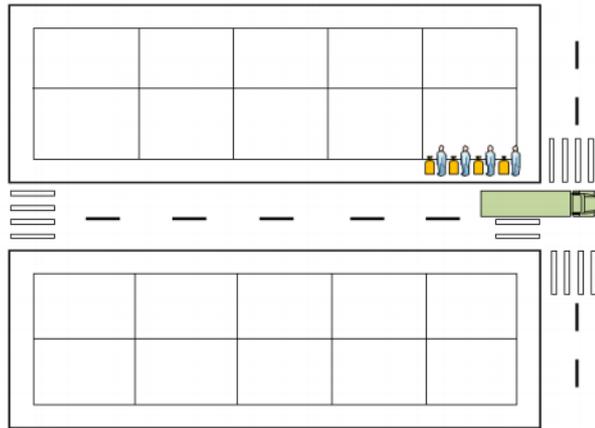


Figura 1.1 Método de parada fija.

Fuente: elaboración propia

Método de recolección de acera: Consiste en que el vehículo recolector pasa por cada una de las calles de la ruta asignada, advirtiendo por medio de una bocina a los usuarios para que saquen sus desechos y esto a su vez son retirados por los operarios. En este proceso el vehículo recolector debe de ir a una velocidad lenta, ya que debe parar en cada lugar donde observe que haya recipientes o bolsas de desechos (Nguyen-Trong et al., 2017).

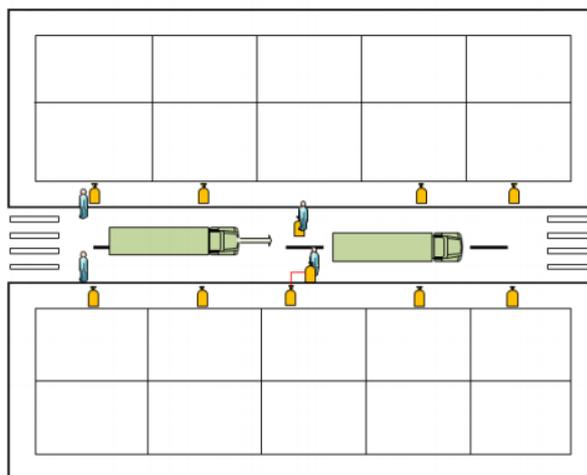


Figura 1.2 Método de acera.

Fuente: Elaboración propia

Método de recolección de contenedores: Este método es más aplicado en lugares donde se genera mayores desechos sólidos como hoteles, hospitales, negocios, mercados, terminales, donde colocan cajas de metales de gran volumen para almacenar los desechos sólidos.

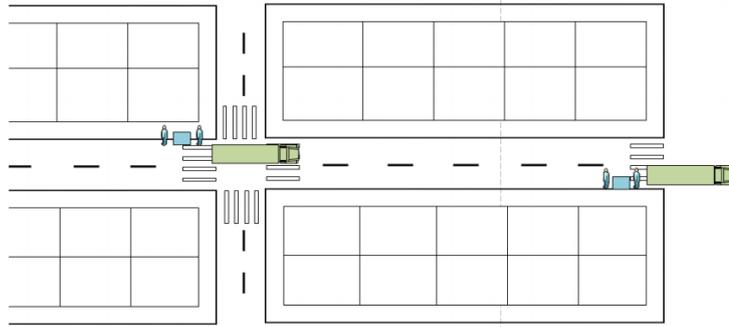


Figura 1.3 Método de contenedores.
Fuente: Elaboración propia

1.5. Modelos de diseños de rutas

1.5.1. Modelo de Macrorutas

Autores denominan macro rutas a “la división de la ciudad en sectores operativos, así mismo a la determinación del número de vehículos en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector” (Shuster y Schur, 1974, p. 1). Este modelo consiste en determinar la dimensión de cada sector. Generalmente el tamaño de cada ruta, se determina de acuerdo al número de manzanas, distancia y generación de residuos.

El objetivo es dividir a la ciudad en zonas homogéneas y que cuenten con límites dados por instalaciones urbanas. Así un río o una vía principal se usarán como límites.

1.5.2. Modelo de Microrutas

En cuanto al modelo de las micro rutas de recolección, indica que una micro ruta es “el recorrido específico que deben realizar los vehículos diariamente para cumplir de mejor manera los residuos generados por la población en menor tiempo y recorrido”. Para esta investigación se profundizará el diseño de las micro rutas (subsectores).

Cabe recalcar que se debe implantar una ruta óptima entre dos puntos, en función de factores como vialidad, tráfico vehicular, horarios y frecuencias de recolección, ciertas características de los vehículos recolectores, etc. (Pérez y Nelson, 2010).

Para llevar a cabo la solución de este problema, se necesitan los siguientes datos:

- Lugar del garaje
- Lugar de disposición final
- Sentidos de circulación
- Hora de mayor cantidad de tráfico vehicular

- Topografía
- Vías utilizables y vías no utilizables
- Tipo de rutas (trazo)

Existen dos tipos de trazos de rutas, las cuales se detallan a continuación:

- Peine: la recolección se da de ambos lados de las vías a la misma hora; se hace un recorrido por cada vía. Se recomienda en zonas de baja densidad poblacional.
- Doble peine: la recolección se hace de un lado de las vías; se recorre dos veces por cada vía. Recomendable para zonas de alta densidad poblacional y zonas comerciales (Tchobanoglous et al., 1994).

1.6. Algoritmos y modelos matemáticos

Entre los métodos para diseñar micro rutas están: heurístico, determinísticos; siendo recomendado por autores el determinístico. El método determinístico engloba ciertos parámetros necesarios de diseño para dar solución a problemas de optimización de rutas.

Se cuenta con dos métodos determinísticos que a continuación se describirán brevemente dos algoritmos basados en lo propuesto (Nagy y Salhi, 2007).

1.6.1. Algoritmo para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP)

Este primer algoritmo se basa en diseñar rutas basadas en el método de recolección de parada fija y el de contenedores, donde la demanda es discreta. Ahora bien, este algoritmo se basa en encontrar diversas rutas que conecten diferentes puntos “nodos” de un grafo (ver figura 1.4), cuyos vértices o nodos representan los lugares por recorrer y las aristas (calles) son los medios de enlace. Se crea una ruta que inicia en un punto y debe recorrer todos los nodos de la red al menos una vez, sin considerar cuantas veces pase por la arista, para terminar en el punto donde inició.

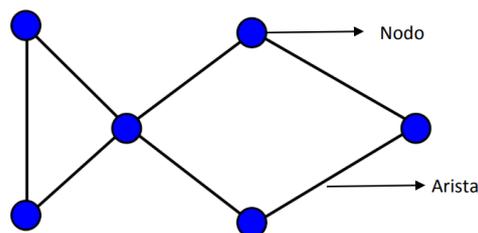


Figura 1.4 Grafo con nodos y arcos o aristas.

Fuente: Guevara et al. (2017)

Este algoritmo lleva el nombre del agente viajero, porque representa el viaje que tenían que hacer los carteros para entregar sus paquetes en diferentes lugares, con un tiempo y costos mínimos (Cardona et al., 2017).

1.6.2. Algoritmo del Cartero Chino (CPP)

Este tipo de algoritmo diseña rutas fundamentadas en el método de acera o conocido como intra-domiciliario el cual puede ser aplicado para zonas donde la demanda del servicio es continua o no (García Rodríguez, 2018). Este algoritmo traza rutas que deben traspasar por todas las calles, sin importar cuantas veces pase por un nodo (contenedor) con el fin de reducir la distancia en el recorrido y retornando al punto inicial de partida. Las leyes matemáticas que formuló Euler, indican que la ruta de recolección debe recorrer por todos los arcos (calles) de la red vial y regresar al punto de origen en un tiempo mínimo. Como fuente de inicio para el desarrollo de este método, Euler tomó como caso de estudio: El trasladar un desfile militar que debía atravesar siete puentes en su ciudad natal. Mediante el análisis de las vías y la localización de los puentes, llegó a la conclusión de que no existía una solución viable, por lo tanto, propuso una serie de leyes matemáticas para determinar la mejor ruta (Lopes et al., 2014).

1. Se pueden usar normas sencillas, en el caso de que las vías no sean unidireccionales, lo cual indica que vayan en una dirección (Lopes et al., 2014).
2. Cuando el número de vértices es impar, se deben trazar los arcos en más de una ocasión, en contraste a los que ocurre cuando es par el número de vértices y se señala que existe una solución Euler.

Este concepto está basado en la teoría de grafos planteado por Leonhard Euler. Investigaciones acerca de diseño de rutas de distribución, han hallado alternativas de solución en la teoría de grafos, ya que son estructuras discretas con vértices conectados mediante arcos (Shupingahua y Roger, 2014).

1.6.3. Teoría de los Grafos

A lo largo de la historia se han utilizado los grafos en problemas de optimización. Entre los primeros investigadores de este tema es Euler en el siglo XVII, basándose en la problemática de los puentes de Königsberg. Siguiendo con la historia, el físico

alemán Gustav Kirchhoff, aplicando esta teoría en redes eléctricas, buscando calcular los valores de voltaje y la corriente en los circuitos eléctricos, definiendo así las leyes de Kirchhoff. Posteriormente el matemático británico Arthur Cayley, quien, con varios estudios en química e introduciéndose en la teoría de los grafos, pudo representar los hidrocarburos saturados. Así, desde entonces se ha venido aplicando esta teoría en varios campos, como es en el de la optimización de rutas más cortas, cruzando nodos (ciudades) y aristas (calles, carreteras), buscando así minimizar los recursos (Ahr y Reinelt, 2002).

Formados por un par ordenado $G = (V, E)$, donde:

V: conjunto finito no vacío de vértices o nodos

E: conjunto de pares no ordenados $vw; v, w \in V$ y $v \neq w$: llamados también aristas

Un multigrafo es un grafo $G = (V, E)$, donde E: es un multiconjunto de pares no ordenados $vw; v, w \in V$ (Martí et al., s. f.).

Un grafo dirigido es un grafo $G = (V, A)$, donde:

$A \subseteq \{(a, b) \in V \times V: a \neq b\}$, es un conjunto de pares ordenados de elementos que pertenecen a V. Dado un arco $(a, b) \in A$, donde:

a: es su nodo inicial y b: su nodo final.

Un grafo mixto es una secuencia de $G = (V, E, A)$, donde V es un conjunto finito no vacío de vértices o nodos, E es un conjunto de pares no ordenados (v, w) con $v, w \in V$, denominados aristas y A es un conjunto de pares ordenados (v, w) con $v, w \in V$, denominados arcos.

Toman el nombre de arcos no dirigidos aquellas calles que tienen doble sentido de circulación y los arcos dirigidos tienen un solo sentido. Los arcos ficticios son utilizados para convertir los nodos impares en pares.

Se han desarrollado variedades de algoritmos en base a la teoría de los grafos para la resolución de problemas, como es el del cartero chino (Flores Salazar et al., 2008).

1.6.4.1. Problema del Cartero Chino en un grafo no dirigido (CPP)

Sea $G = (V, A)$ un grafo no dirigido asociado a sus aristas. El CPP tiene como objetivo buscar la distancia mínima en G . Un grafo G no dirigido, al atravesar cada arista solo una vez (recorrido euleriano), sigue la siguiente regla: Partiendo de cualquier vértice, ir recorriendo aristas, eliminándolas al mismo tiempo (Akhtar et al., 2017). No atravesar una arista si al eliminarla el grafo quedará dividido en dos componentes conexas (excluyendo vértices aislados). Si G contiene algún vértice de grado impar, cualquier recorrido G contendrá alguna arista más de una vez (Solano-Charris et al., 2015).

1.6.4.2. Problema del Cartero Chino en un grafo dirigido (DCPP)

Sea $G = (V, A)$ un grafo dirigido con costos positivos asociados a los arcos de A . En el caso en que el grafo G sea simétrico: Un grafo G conexo y dirigido, contiene un recorrido euleriano, si los grados de entrada, $d_t(v)$, y los grados de salida, $d_0(v)$, son iguales $v \in V$; se entiende por grado al número de arcos que salen o entran de un nodo determinado (López López, 2017).

1.6.4.3. Problema del Cartero Chino en un grafo mixto (MCP)

El MCP (Minimum cycle cover problems) trata de encontrar un recorrido de costo mínimo en G , donde las aristas pueden ser atravesadas en una o en ambas direcciones. Una condición necesaria y suficiente para dar solución a este problema es que G sea conexo (Akhtar et al., 2017).

1.6.4.4. Metodologías para resolver el problema del Cartero Chino

Metodología empleada para resolver el problema del Cartero Chino.

Paso 1. Tomar las esquinas de cada una de las calles como un nodo y las calles como arcos, que conectan los nodos.

Paso 2. Determinar las distancias entre cada uno de los nodos.

Paso 3. Analizar el número de arcos que se conectan (Grado del Nodo) con cada uno de los nodos.

Paso 4. Si se encuentran nodos impares se debe hacer una tabla con todos los nodos impares.

Paso 5. La distancia que se debe recorrer para llegar de un nodo a otro, realizando todas las combinaciones posibles; cada una de estas relaciones nodo 1 nodo 2 se va a llamar arco ficticio.

Paso 6. Tomar los arcos ficticios que tengan las distancias mínimas, teniendo en cuenta que sólo se puede utilizar una sola vez cada nodo.

Paso 7. Trazar los arcos ficticios escogidos en el diagrama de redes. Mediante este paso se logra que todos los arcos que se conectan a un nodo sean pares, para lo cual existe un camino de Euler.

Paso 8. Realizar el ruteo, considerando los arcos ficticios creados anteriormente, que indican que se debe pasar por ese arco como si fuese un arco normal.

Paso 9. Calcular la distancia del recorrido.

Algunas condiciones que se manifiestan son el hecho de pasar como mínimo una vez por todas las calles, limitar el número máximo de veces que se considera que se debe repetir cualquier tramo. También marcar el punto de origen y fin de recorrido (Akhtar et al., 2017).

1.6.4.5. Requisitos generales para el establecimiento de rutas:

Se deben establecer pautas importantes al momento de plantearse un problema de ruteo, las cuales incluyen:

Preparar la información incluyendo mapas donde se muestre las fuentes localizadas de generación de desechos, análisis de datos y tablas (Zsigraiova et al., 2013).

Para la evaluación, distribución y desarrollo de rutas preliminares se debe considerar la carga diaria recolectada de cada una de las localizaciones de recolección (Martí et al., s. f.). Establecer el promedio de los puntos de los cuales los residuos sólidos serán recolectados.

Con datos conocidos, se procede a la asignación de rutas de recolección. Empezando por la estación de salida incluyendo todos los puntos de recolección durante el recorrido. Diseñadas de tal manera que el último tramo se encuentre lo más cercano

al sitio de disposición final. Con estos datos obtenidos el trabajo realizado debe adaptarse al tiempo disponible por día (Akhtar et al., 2017). Para una ruta más eficiente es necesario seguir los siguientes criterios:

1. Tratar de aumentar la distancia productiva en relación a la distancia total recorrida.
2. En un punto no deben cruzar dos rutas produciendo puntos muertos (superponerse), debe comenzar en un punto y luego extenderse (compacta) y no debe ser fragmentada.
3. Vías muy transitadas deben ser evadidas durante horas pico.
4. Vías unidireccionales que no pueden ser atravesadas en una línea deben ser enlazadas desde el extremo superior de la calle.
5. Callejones sin salida deben ser recolectados siempre por la derecha.
6. En subidas o colinas la recolección debe hacerse de arriba hacia abajo.
7. En manzanas la recolección debe hacerse en el sentido de las manecillas del reloj.
8. Vías rectas y largas deben ser recolectadas antes que manzanas.
9. Los virajes en u pueden ser evitados al no dejar una vía bidireccional como el único acceso y salida del nodo.

1.6.4.6. Determinación de los tiempos de recolección

El recorrido de recolección es conocido como el viaje que realiza un vehículo de recolección desde el origen hasta el punto de depósito final. Por lo general, la recolección tiene como inicio en las propias instalaciones de la empresa de recolección, punto de encuentro de los camiones y el personal que realiza esta actividad. En el momento que se ha coordinado el personal en conjunto con el vehículo y la ruta de servicio, se da paso a realizar el recorrido (Zsigraiova et al., 2013).

Durante el primer paso, no hay desperdicio dentro del camión y el espacio de almacenamiento está despejado, por lo tanto, la carga que ejerce el camión es poco relevante. En el primer punto de recolección los contenedores se vacían en el vehículo recolector y a medida que se incrementan los puntos de recolección la capacidad de carga del camión se satura, es decir, la jornada finaliza por el llenado. A diferencia de lugares con baja generación per cápita, donde la jornada termina con el fin del tramo pudiendo o no completar la capacidad del vehículo recolector. En caso de que no se

haya brindado el total de la cobertura de recolección, el camión debe retornar a la zona y retomar su actividad desde el último punto. Posteriormente, los desechos son llevados al depósito ya sean de tipo estación de transferencia, planta de tratamiento o vertedero. En esta última instalación, el camión se mantiene retenido por un tiempo necesario para descargar los residuos. Cuando la jornada finaliza, los operarios regresan a las instalaciones de partida y se ejecuta la limpieza de los vehículos de recolección.

La ruta (R) se refiere al recorrido que realiza el camión en un día hábil, de manera que, puede incluir uno o más itinerarios (Shuster y Schur, 1974).

El tiempo requerido por un itinerario puede expresarse mediante la Ecuación (1.1):

$$T_{it} = T_t + T_1 + T_u + T_d \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

dónde:

T_{it} es el tiempo dedicado a un itinerario (minutos)

T_t es el tiempo de transporte (minutos)

T_1 es el tiempo de carga (minutos)

T_u es el tiempo de descarga (minutos)

T_d es el tiempo muerto (minutos)

CAPÍTULO 2 : METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en dos secciones principales, en la primera se identificaron los modelos de aplicación (métodos simples, diseños, gráficos y analíticos) los cuales se describen en la literatura y se realizó un análisis comparativo para determinar el más adecuado para esta investigación. Es importante acotar que el modelo seleccionado (Cartero Chino) logró un mayor alcance a través de incorporaciones de medidas como la capacidad de la carga y el número de personal. Por otra parte, se obtuvo mayor eficiencia del modelo para los recorridos mediante el máximo rendimiento de los recursos de tal manera que se reduzca la cantidad de emisiones y el tiempo empleado.

La segunda sección se vinculó a la utilización de herramientas informáticas de carácter técnico, en este caso el software AutoCad 2015, para la visualización del entorno urbano de la Ciudad de General Leonidas Plaza Gutiérrez y posteriormente se efectuó el trazado de la ruta de acuerdo al modelo determinado con ayuda del software ArcGis 10.5 (*ver anexo 1*).

2.1. Área de estudio y puntos estratégicos

El área de estudio está comprendida por las vías de acceso que se encuentran dentro de la zona urbana de la Ciudad de General Leonidas Plaza Gutiérrez la cual se encuentra dentro del Cantón Limón Indanza, perteneciente a la provincia de Morona Santiago, al sur de la región amazónica del Ecuador. La Ciudad de General Leonidas Plaza Gutiérrez se encuentra a una altura promedio de 1100 m.s.n.m, atravesada por el Rio Yungantza, adicionalmente la ciudad cuenta con una extensión de 3.32 km² que alberga un total poblacional de 3523 habitantes (*S.N.I. Territorial - Sistema Nacional de Información, s. f.*)

Se seleccionaron como zonas de estudio aquellas vías que dan cobertura al centro urbano de la ciudad, entre ellas las de primer y segundo orden tanto como avenidas principales y calles residenciales considerando el flujo vehicular y la población presente en el medio. Se identificaron las vías susceptibles a sufrir daños durante el recorrido, es decir las vías con carpetas asfálticas desgastadas, compuestas de un material liviano y en mal estado. Entre otros factores que determinaron a las vías como críticas tomando en cuenta la pendiente que posean las mismas y la existencia de puentes que dispongan de una resistencia al peso. De igual manera los puntos que

generen un volumen significativo de residuos sólidos, tales como talleres de cualquier tipo, mercados y locales comerciales y de salud.

Se consideraron los centros de salud y hospitales como puntos críticos debido a que, en ellos se generan los desechos peligrosos. En la siguiente figura se observa el área de estudio.

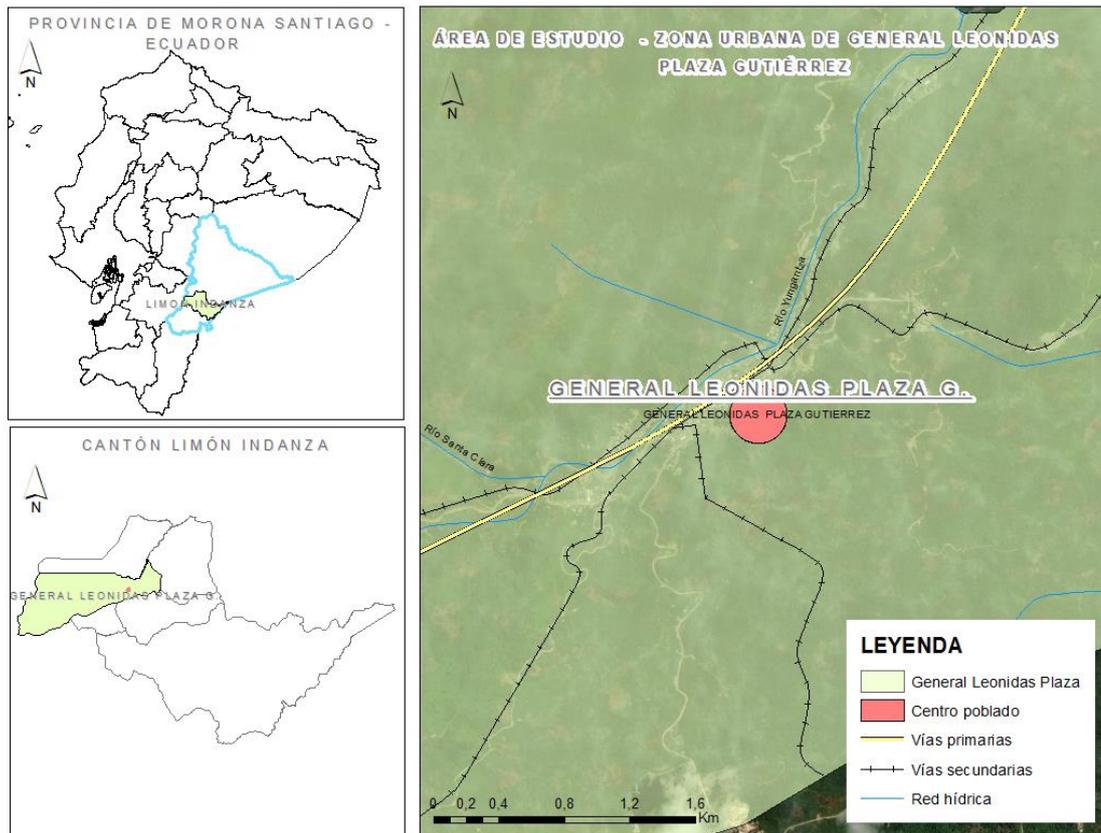


Figura 2.1 Zona Urbana de General Leonidas Plaza Gutiérrez.
Fuente: Elaboración propia en ArcGis 10.5

2.2. Diagnóstico de la situación actual

2.2.1. Recolección de residuos sólidos

Mediante la recopilación de información se determinó que, el Gobierno Autónomo Descentralizado GADMLI es el organismo que brinda los servicios que se detallan a continuación:

- a. Recolección de los residuos sólidos domiciliarios;
- b. Recolección de los residuos sólidos de locales y establecimientos, para ello es necesario disponer de recipientes con las respectivas etiquetas para residuos biodegradables y no biodegradables.

- c. Recolección de los residuos sólidos y escombros que se encuentren en las vías públicas desconociéndose su origen o a su vez conociendo a sus generadores.

2.2.2. Tipos de Residuos

A continuación, se presentan los tipos de residuos que se encuentra en la recolección de basura en el Cantón Limón Indanza (ver tabla 2.1).

Residuos orgánicos: son aquellos residuos biodegradables, de origen natural y tiene la capacidad de desintegrarse rápidamente y transformarse en otra materia orgánica.

Residuos inorgánicos: son aquellos residuos que hacen referencia a todos los desechos cuyo origen no es biológico, o de algún proceso no natural (ver anexo 2).

Residuos especiales: son residuos provenientes de establecimientos de atención a la salud, y contienen agentes patógenos que en cantidades suficientes puede causar daño a un ser vivo (ver anexo 3). Entre ellos tenemos los cortos punzantes, restos biológicos, muestras acumuladas, sangre y derivados. Según la Ordenanza Municipal, art. 23 (*Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.*), todo establecimiento de salud deberá llevar registros de sus desechos generados y la esterilización de los mismos previamente a ser entregados al personal de recolección con el fin de realizar la disposición final.

Residuos reciclables: son aquellos residuos que se pueden recuperar, es decir volver a utilizar o transformar, tales como: vidrios, plásticos, cartones, metales. Este tipo de residuos (cartón) son almacenados dentro del relleno sanitario en una zona de clasificación hasta su venta (ver anexo 4).

Para la recolección de los residuos sólidos se realiza previamente un aviso acústico (ver tabla 2.1), de manera que el vehículo recolector hace el recorrido de forma organizada mediante el siguiente cronograma (Lopes et al., 2014). La recolección de residuos sólidos especiales y reciclables se utiliza un vehículo recolector Chevrolet NPR 71L y se llevara de manera independiente a diferencia de los demás residuos, en un horario de 10:00 – 11:30 horas para los días lunes, miércoles y viernes, así como 14:00 – 16:30 horas para los días lunes y jueves respectivamente, establecido en el art. 19 de la Ordenanza Municipal (*Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.*).

Tabla 2.1 Horarios de recolección de los residuos sólidos del Cantón Limón Indanza

TIPO DE RESIDUO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
Orgánico	08:00 – 10:00 hrs	No hay recolección	08:00 – 10:00 hrs	No hay recolección	08:00 – 10:00 hrs	No hay recolección	No hay recolección
Especiales	10:00 – 11:30 hrs		10:00 – 11:30 hrs		10:00 – 11:30 hrs		
Inorgánicos	10:30 – 16:30 hrs		10:30 – 16:30 hrs		10:30 – 16:00 hrs		
Reciclables (PET, Cartón, varios).	14:00 – 16:30 hrs		No hay recolección		14:00 – 16:30 hrs		

Nota: Esta tabla representa los horarios establecidos para la recolección de residuos sólidos, con el fin de evitar desorden y aglomeración de desechos (*ver anexo 5*).

Fuente: (*Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.*)

2.2.3. Equipo de recolección

Para la recolección de los residuos sólidos en el área urbana se utiliza un vehículo recolector marca Chevrolet Kodiak, que lleva en operación aproximadamente trece años, puesto que, fue adquirido en el año 2007. Cuenta con una capacidad de carga de 12.3 m³. Para llevar a cabo la actividad de recolección el GAD Municipal cuenta con el personal conformado por tres personas distribuidos de la siguiente manera:

- Chofer del vehículo recolector;
- Dos recolectores.

2.2.4. Generación Per Cápita de la Zona Urbana

La generación Per cápita de la zona urbana de la Ciudad en estudio se determina a continuación en la Ecuación (2.1):

$$PPC \text{ (Kg/hab/dia)} = \frac{(A1/B1) * P1 + (A2/B2) * P2 + (A3/B3) * P3 + (A4/B4) * P4}{P1 + P2 + P3 + P4}$$

(Ecuación 2.1)

Dónde:

P1, P2, P3, P4 = Número de habitantes en las zonas de estudio

A1, A2, A3, A4 = Peso de la muestra (tres días) tomada de cada vivienda seleccionada (Kg/semana).

B1, B2, B3 y B4 = Número de habitantes correspondientes a la muestra global tomada en la zona de estudio.

A continuación, se visualiza el valor total de la producción per cápita (ver tabla 2.2) del Gobierno Autónomo Descentralizado GADMLI, con 3523 habitantes. Dato de importancia para el desarrollo de este trabajo de investigación (ver anexo 6).

Tabla 2.2 Producción per cápita del centro urbano del Cantón Limón Indanza.

Categorías	Peso [KG]	Número Hab	Generación Per cápita
HOGARES	30.61	56	0.55
RESTAURANTE	5.85	20	0.29
INT PÚBLICA	5.38	30	0.18
MERCADO	191.59	200	0.96
HOSPITALES	18.08	77	0.23
TOTAL	251.51	383	
Producción Per cápita	0.66		Kg/Hab/Día

Nota: Esta tabla representa los desechos promedios generados por cada persona en una unidad de tiempo. Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.)

La generación per cápita por habitante es de 0.66 kg/hab/día. Por lo tanto, la generación de la población total es de 2234.51 kg/día, expresado en toneladas por día [Ton/día] corresponde a 2.23.

Para el caso de los residuos especiales que se generan en la cabecera cantonal se consideraron los registros de los meses más recientes del Hospital Básico de Limón Indanza (ver anexo 6), a continuación, se detallan los valores en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Producción de residuos especiales del Hospital Básico de Limón Indanza.

Mes/2020	Producción residuos especiales	
	Kg/día	Kg/mes
Junio	6.17	185
Julio	6.45	200
Agosto	9.03	280
Total	21.65	665
Promedio	7.22	221.67
Producción per cápita	0.23 kg/hab/día	

Nota: Esta tabla muestra la producción de residuos biopeligrosos (especiales) generados por día. Fuente: (*Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.*).

2.2.5. Análisis de tiempo de recolección de basura

El análisis de tiempo de la recolección de basura (*ver anexo 7*), ayuda a verificar el tiempo recorrido y tiempo muerto generado durante el recorrido dado: pasar por el mismo punto dos veces, estacionarse en lugares poco estratégicos, conversar entre compañeros, etc. (*ver tabla 2.4*).

Así mismo se identifica los tramos de recolección (barrios) que posteriormente serán analizados mediante el análisis de tiempo recorrido, (ver figura 2.2).

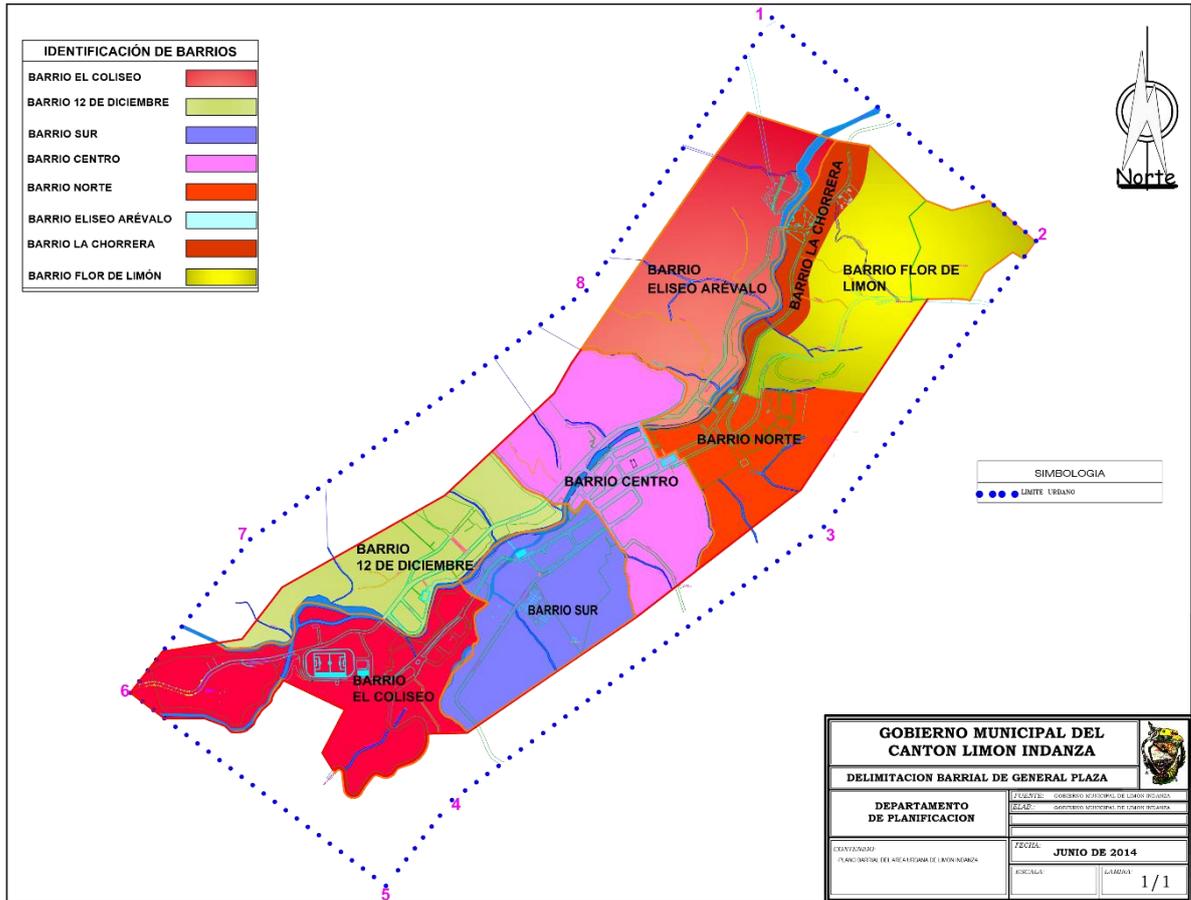


Figura 2.2 Mapa de identificación de barrios del Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza.

Nota: En este mapa se observa la clasificación de los barrios correspondientes al Cantón Limón indanza (ver anexo 8). Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.).

En la siguiente tabla se presenta el análisis del tiempo recorrido tanto para la ruta orgánica e inorgánica, así como el cálculo de tiempo muerto en cada uno de los barrios.

Tabla 2.4 Tiempo empleado en la recolección de basura.

BARRIOS	TIEMPO RECORRIDO [min]		TIEMPO MUERTO [min]	NOTA
	Orgánico	Inorgánico		
BARRIO NORTE	35	10	-	Tiempo muerto:
BARRIO CENTRO	50	50	11	-
BARRIO SUR	16	16	2	Conversando entre

BARRIO FLOR DE LIMÓN	24	-	4	trabajadores. - Pasar dos veces por el mismo lugar. - Mal estacionado
BARRIO COLISEO	12	45	14	
BARRIO 12 DE DICIEMBRE	14	19	-	
BARRIO ELISEO ARÉVALO	14	19	4	
BARRIO LA CHORRERA	-	8	-	
BARRIO LA MERCED	4	9		
LIMÓN - RELLENO SANITARIO	9			
SUBTOTAL	169 – 2H 49min	176 – 2H 56min	35	
TOTAL	5H 45min			
SUBTOTAL	5H 19 min		-	

Nota: Esta tabla representa los tiempos empleados a lo largo del recorrido.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la actual ruta de recolección de basura del Cantón Limón Indanza, la cual fue expuesta a criterios de problemas de ruteo y en la cual se basó este proyecto.

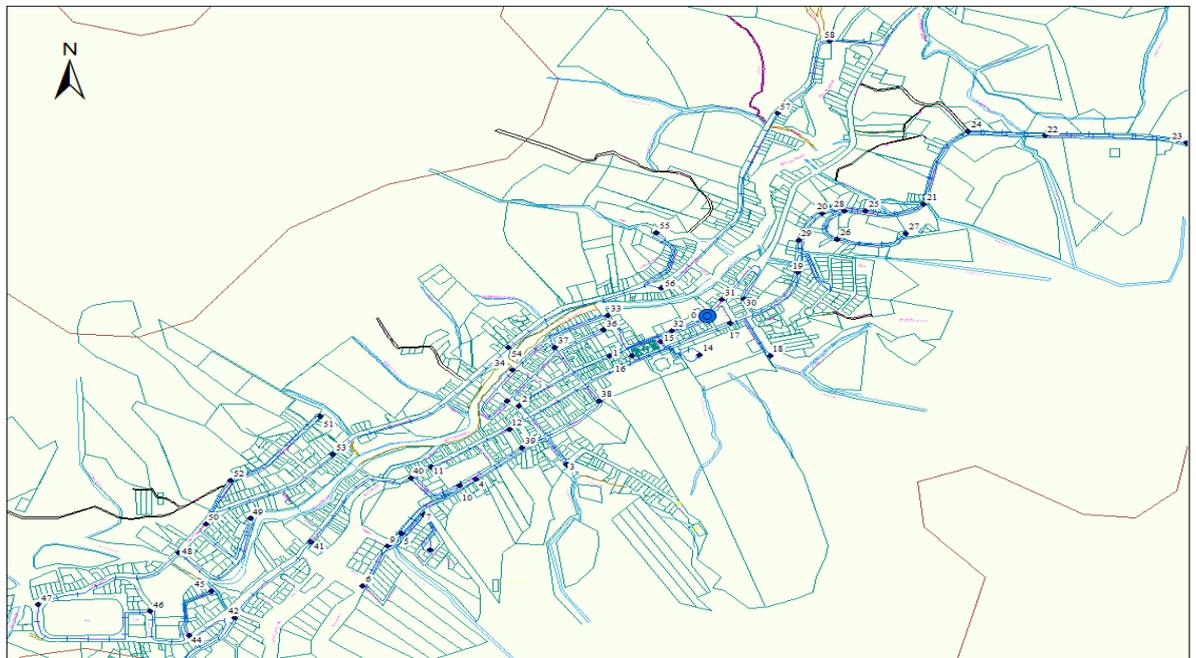


Figura 2.3 Ruta actual del Cantón Limón Indanza.

Nota: En la imagen se aprecia el diseño de la ruta actual correspondiente al Cantón Limón Indanza.

Fuente: Elaboración propia utilizando ArcGis 10.5.

2.2.6. Georreferenciación

El autor de este estudio se basó en el levantamiento de datos para la identificación de la ruta de recolección otorgado por el GAD municipal del Cantón Limón Indanza. Datos tomados desde la salida del vehículo recolector del garaje, hasta la culminación de la ruta asignada.

Los datum utilizados en el Ecuador son el Provisional para Sudamérica en 1956 (Provisional South American 1956 o PSAD56), el WGS84 (World Geodetic System) y el SIRGAS95 (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). El datum que se utilizó para este estudio es el WGS84.

2.2.6.1. Elaboración del mapa de la ruta actual

Para la creación del mapa temático de la ruta actual se utilizó el programa ArcGis 10.5. En el cual se cargó el mapa del Cantón, información facilitada por el GAD municipal, seguido se procedió a graficar la ruta actual. En la ruta se dibujó puntos con el fin de indicar el sentido de la ruta.

2.2.6.2. Determinación de ruta óptima de recolección de RSM del Cantón Limón Indanza

Para el análisis de red vial se procede a realizar dos tipos de shapes; uno de puntos y otro de líneas para hacer la vía de Cantón mediante nodos y enlaces. Primero se debe crear un shape de puntos o nodos, los mismos que representan un punto de intersección o conexión entre vías, posteriormente se procede a realizar el segundo shape de líneas para crear la ruta mediante la unión de nodos, cada nodo se entrelaza mediante líneas (rectas), las mismas que se convertirán en la vía (ruta).

Para dibujar nodos y líneas, se debe hacer partiendo de un mapa base, para este estudio se utilizó la información otorgada por el GAD municipal.

2.2.6.3. Creación de un archivo shape de puntos (nodos)

La creación de un archivo shape de nodos sirve para dibujar puntos de intersección entre vías y trazar calles, mediante la herramienta de ArcGis.

Para proceder a crear este shape, se dirige a la barra de herramientas *Catálogo* en donde seleccionamos la carpeta de trabajo y mediante clic derecho se escoge la opción *New Shape File* de características punto y se le asigna el nombre de “Nodos”. Como

siguiente paso, se proyectan a las coordenadas del mismo formato que los demás archivos “WGS 1984 UTM Zone 17S”.

2.2.6.4. Creación de un archivo shape de líneas (ruta)

Un nuevo shape con es creado con la diferencia que es de tipo línea, para facilitar la digitalización de las vías a partir de un nodo inicial hasta un nodo final, generándose así el sentido de la vía, para la creación de las vías se tomó como referencia el plano catastral del GAD de Limón Indanza.

El procedimiento para crear este nuevo shape, es el mismo seguido para el de los Nodos, con la diferencia que al inicio de su creación se debe seleccionar sus características de líneas y no de puntos. Se procede a proyectar al mismo sistema de coordenadas “WGS 1984 UTM Zone 17S”.

2.2.6.5. Edición de la capa de puntos (nodos)

Para el desarrollo de los nodos es necesario hacer la edición de la capa de puntos se usa la herramienta “*Editor*” y se ubica en la capa a editar, es decir, el shape de puntos que fue creado anteriormente.

En la parte derecha luego de activar la herramienta “*Editor*”, se activa una nueva barra de opciones en la cual se selecciona “*Create Features*” y en la nueva ventana “*Construction Tools*” se elige la opción *point* y se da inicio a graficar los puntos (nodos). Es necesario aclarar que los nodos se deben dibujar en los sitios de intersección de las vías.

Luego de terminar con el gráfico de los nodos se debe dar un detener a la edición, por lo tanto, se dirige a la herramienta “*Editor*” y se selecciona la opción “*Stop Editing*” y guardar los cambios.

2.2.6.6. Edición de la capa de líneas (vías)

El proceso para el trazado de las vías que recorre el camión es similar al de los puntos (nodos), con la diferencia que al momento de editar se debe seleccionar el shape de vías y en “*Construction Tools*” se debe elegir “*line*”.

De igual manera, cuando se finalice la edición de las vías se debe ubicar en la herramienta “*Editor*” y detener la edición con la opción “*Stop Editing*” y guardar los cambios.

CAPÍTULO 3 : RESULTADOS

Para el desarrollo de la nueva ruta se consideró la metodología del Cartero Chino, debido a que, sus directrices son las que mejor se adaptan a las condiciones de la zona y modelo de las redes viales que posee el centro urbano de Limón Indanza.

De acuerdo con la metodología del problema del cartero chino, se indica que el diseño de rutas se debe trazar de manera ordenada y pasando en lo posible por todas las vías de manera que se llegue al punto final en un tiempo mínimo. Para aplicar estas indicaciones al caso de estudio se utilizaron las herramientas del software ArcGis 10.5 (*ver anexo 9*), entre ellas el Network Analyst que ofrece una solución más cercana a la que propone el modelo empleado. Sin embargo, el estado de las redes viales del centro urbano de Limón Indanza dificulta que se obtenga un resultado más favorable, debido a que, la mayoría de las vías son de un solo sentido. Únicamente las vías principales permiten circular en dos sentidos y las mismas son escasas para una alta afluencia y tránsito vehicular. Adicionalmente, el crecimiento urbano tiende a extenderse de acuerdo al curso del río, por lo tanto, las dos vías principales no cuentan con suficientes cruces entre sí, de tal manera que limitan las alternativas para lograr un diseño óptimo.

Finalmente se procede a realizar al trazo de la ruta de la zona asignada, mediante la metodología del Problema del Cartero Chino:

Paso 1: Se empieza haciendo una transformación del mapa del área de estudio en nodos y arcos. En las esquinas de cada una de las calles se ubica un nodo y los arcos (calles) conectan a los nodos.

Tabla: 3.1. Simbología

	Nodos
	Arco no dirigido
	Arco dirigido

Nota: Simbología para la representación de nodos y arcos. Fuente: elaboración propia.

Paso 2: Se debe identificar arcos (calles) entre cada uno de los nodos. Tomado como referencia un tramo de la zona de estudio.

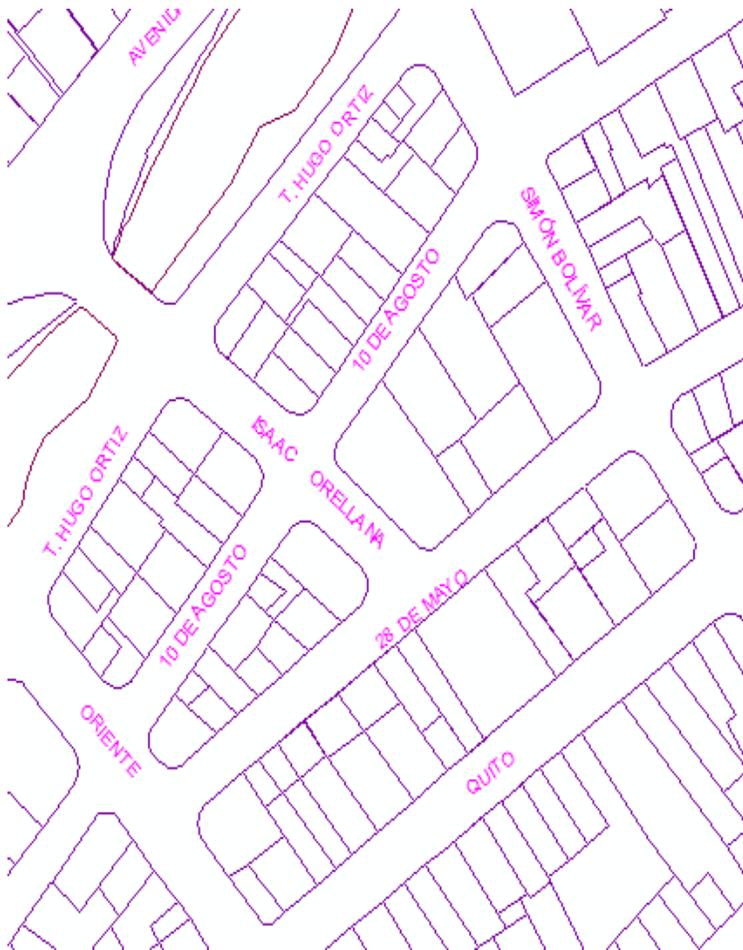


Figura 3.1 Identificación de la zona.
Nota: Apreciación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

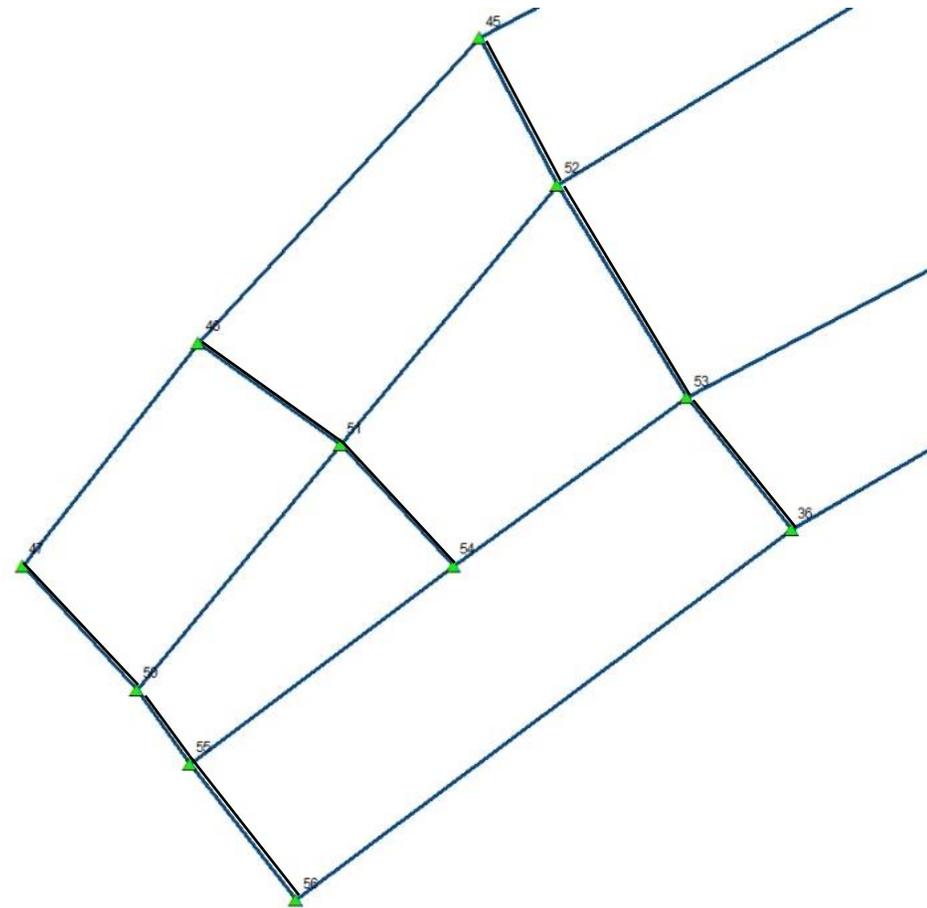


Figura 3.2 Creación de arcos.
Nota: Realización e identificación de arcos.
Fuente: Elaboración propia

Paso 3: identificación del número de arcos que conectan a los nodos.



Figura 3.3 Paridad (pares) de nodos.

Nota: Número de arcos (grado del nodo) que se conectan a cada uno de los nodos. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el número de arcos que conectan en el nodo es dos (2), esto quiere decir que se trata de un nodo par.

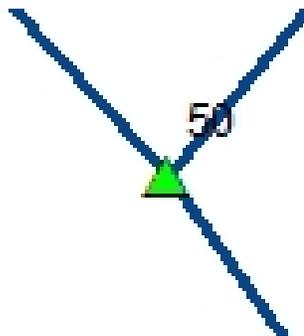


Figura 3.4 Paridad (pares) de nodos.

Nota: Número de arcos (grado del nodo) que se conectan a cada uno de los nodos. Fuente: Elaboración propia.

Para este caso se aprecia que el número de arcos que conectan en el nodo es tres (3), por consiguiente se trata de un nodo impar. Así, se realiza el mismo proceso para cada uno de los nodos.

Tabla 3.2. Nodos y arcos correspondientes.

Nodo	Número de arcos
45	3
46	3
47	2
50	3
51	4
52	3
53	3
54	3
55	3
56	2

Nota: Nodos y arcos que conectan entre sí. Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: En caso de encontrar nodos impares, se debe realizar una tabla con nodos impares.

Tabla 3.3. Nodos impares con sus arcos correspondientes.

Nodo impares	Número de arcos
45	3
46	3
50	3
52	3
53	3
54	3
55	3

Nota: Nodos impares y arcos correspondientes conectados entre sí. Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Una vez finalizado la representación de los arcos, se procede a realizar el trazado de la ruta, tomando en cuenta todos los arcos y nodos creados anteriormente.

A continuación se visualiza el cambio de ruta actual con respecto al nuevo diseño haciendo énfasis al recorrido independiente de cada una.

3.1. Desarrollo de la ruta

Ruta actual

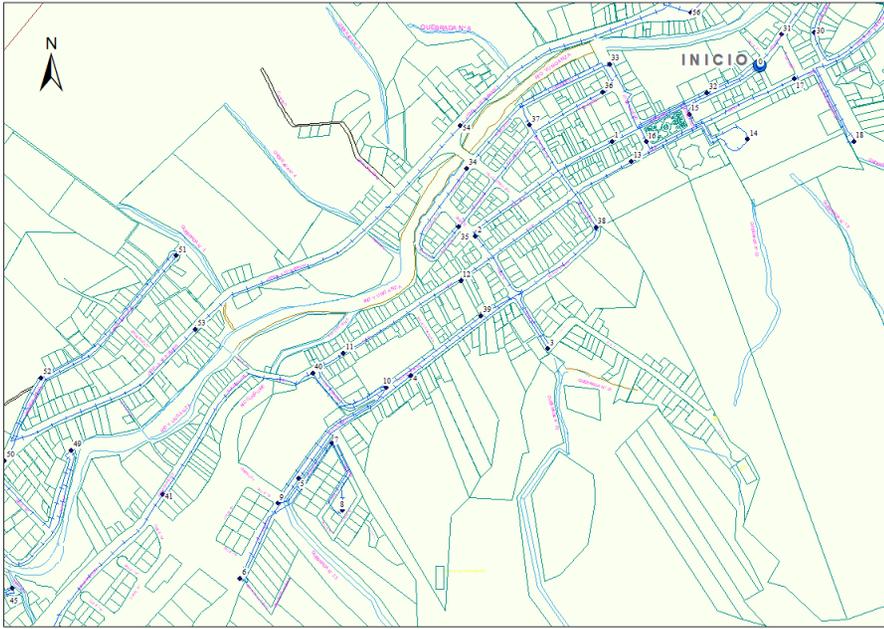


Figura 3.5 Inicio de la ruta actual.

Nota: Este mapa representa el primer tramo de la ruta actual del Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En la figura 3.5 se observa el inicio del recorrido empieza a una cuadra del parque central de Limón Indanza, ubicado en el mercado norte del mismo. Un recorrido complejo el cual genera puntos muertos al retornar por zonas ya recolectadas volviéndose un problema para la circulación vehicular y población en general.

Cabe mencionar que el punto de partida para la ruta óptima cambia con respecto al punto de partida de la actual, debido a que el diseño de la ruta considera su punto inicial el estacionamiento (garaje).

Ruta óptima

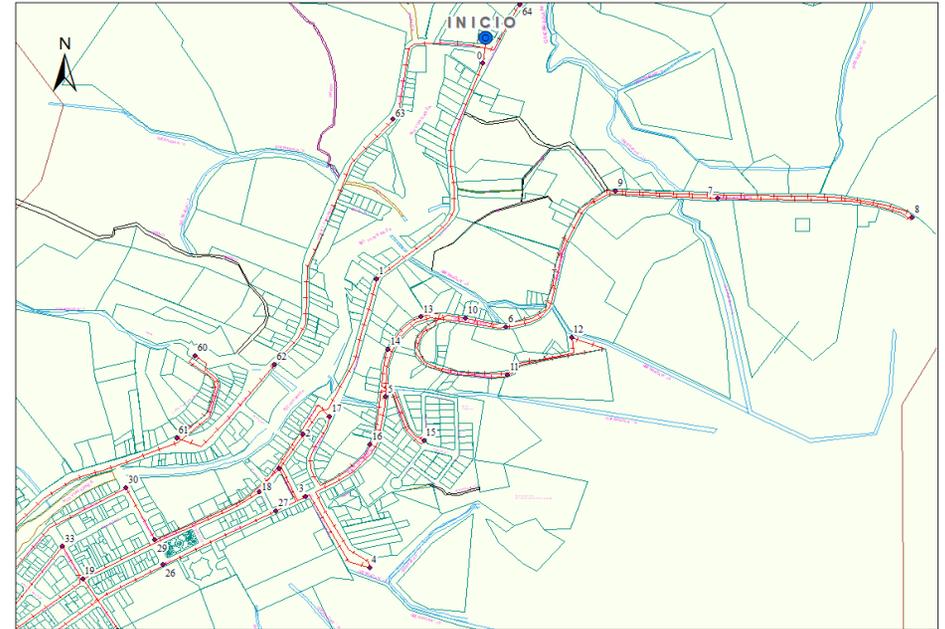


Figura 3.6 Inicio de la ruta óptima.

Nota: Este mapa representa el primer tramo de la ruta óptima propuesta para el Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En la figura 3.6 se aprecia que el primer segmento es de naturaleza ordenada, empezando por las zonas cercanas al punto de salida del camión recolector, abarcando la mayor extensión posible de manera de evitar el retorno a las calles recolectadas aprovechando así los recursos.

Ruta actual

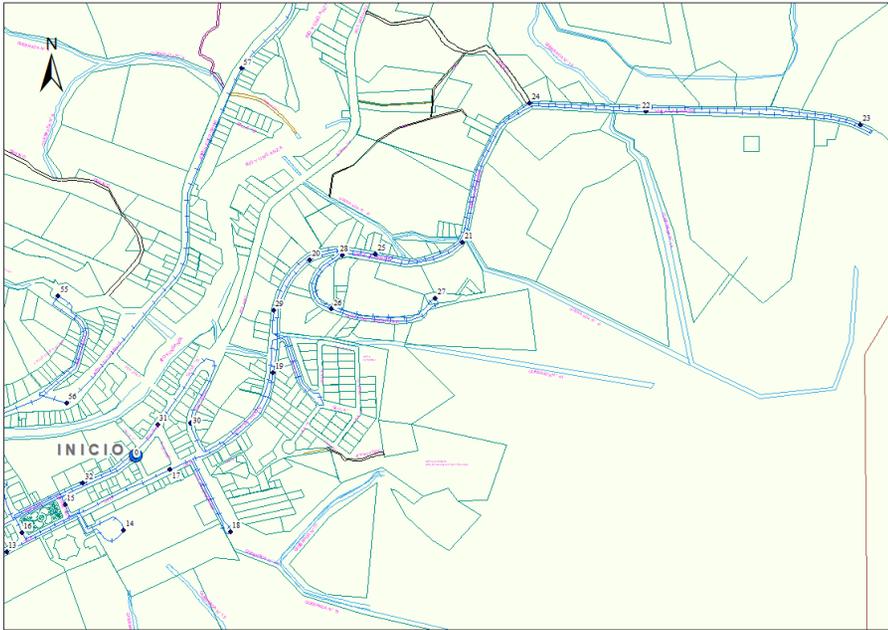


Figura 3.7 Segundo tramo de la ruta actual.

Nota: Este mapa representa el segundo tramo de la ruta actual del Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En la imagen 3.7 se presenta el segundo tramo de la ruta actual, a la que hace su recorrido apartándose del centro de la ciudad, el cual al momento de realizar su recorrido se ve obligado a pasar por puntos ya transitados y retornando a zonas cercanas al punto de partida que pudieron aprovecharse y recolectar desde el comienzo, lo cual genera puntos muertos, volviéndola no óptima.

Ruta óptima

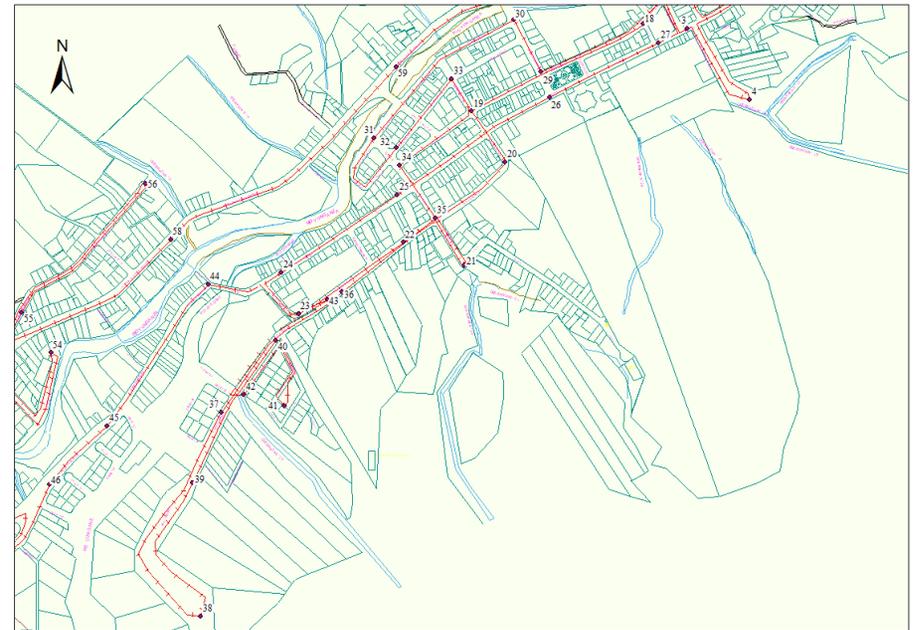


Figura 3.8 Segundo tramo de la ruta óptima.

Nota: Este mapa representa el segundo tramo de la ruta óptima propuesta para el Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En la imagen 3.8 se aprecia el segundo tramo de la ruta óptima, donde se hizo cambios estratégicos al tratar de no generar puntos muertos, ya que con un recorrido no tan extenso se llegó a brindar mayor cobertura para zonas residenciales y comerciales.

Ruta actual

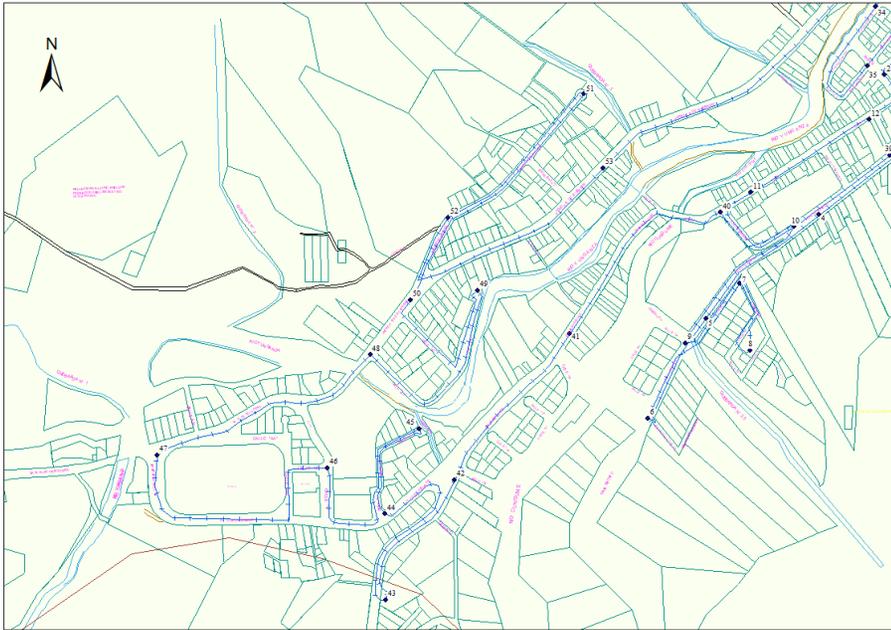


Figura 3.9 Tercer tramo de la ruta actual.

Ruta óptima

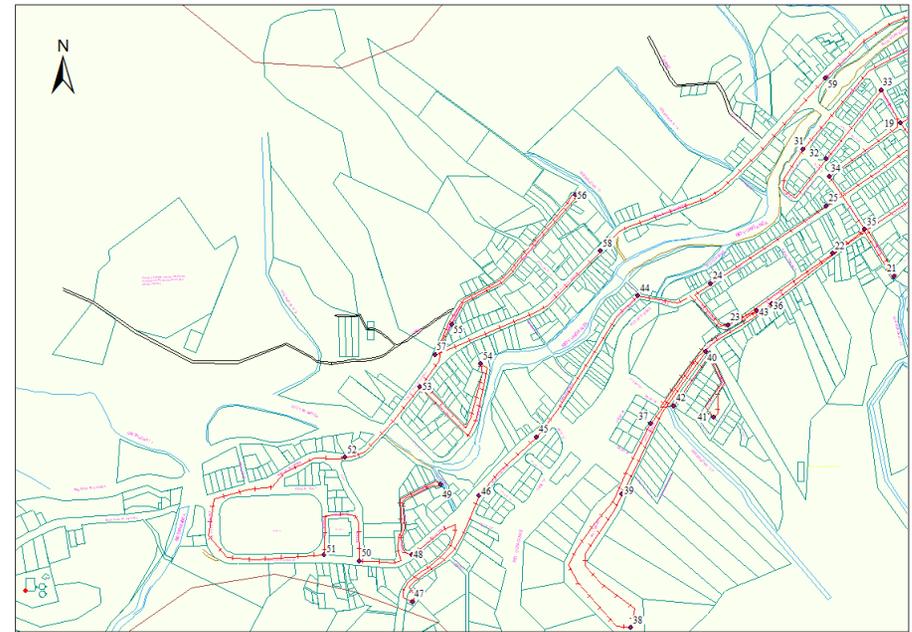


Figura 3.10 Tercer tramo de la ruta óptima.

Nota: En los mapas expuestos representan el tercer tramo de ambas rutas para el Cantón Limón Indanza.

Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En las imágenes 3.9 y 3.10 que se presentan a continuación, se mantiene la estructura de la ruta debido al bajo rendimiento de la planificación del desarrollo urbano que deriva en la falta de vías alternas que permitan un diseño estratégico. En los tramos de las imágenes 3.11 y 3.12 que dan continuidad a la ruta, se mantiene el diseño de la misma por las razones antes mencionadas.

Ruta actual

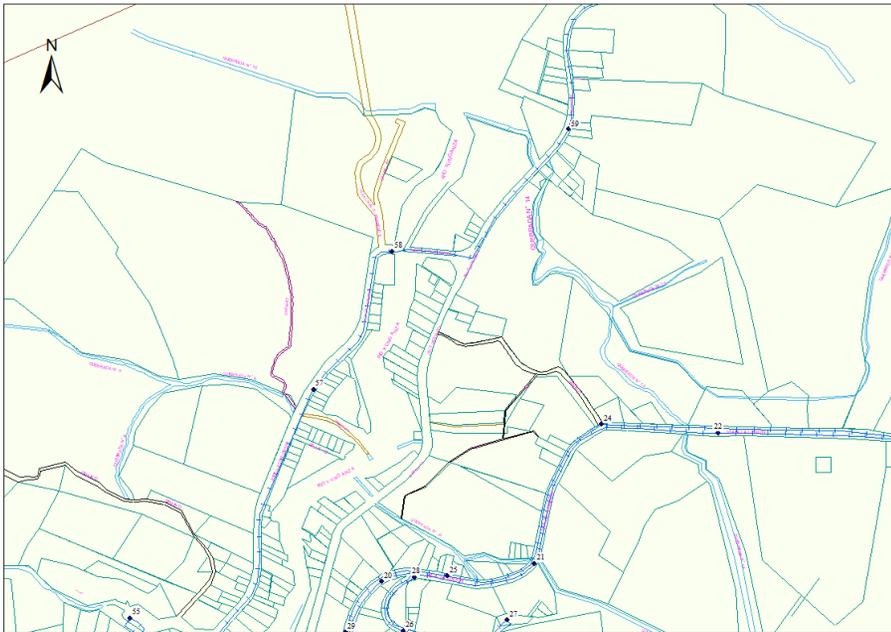


Figura 3.11 Cuarto tramo de la ruta actual.

Nota: Este mapa representa el cuarto tramo de la ruta actual del Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

Ruta óptima

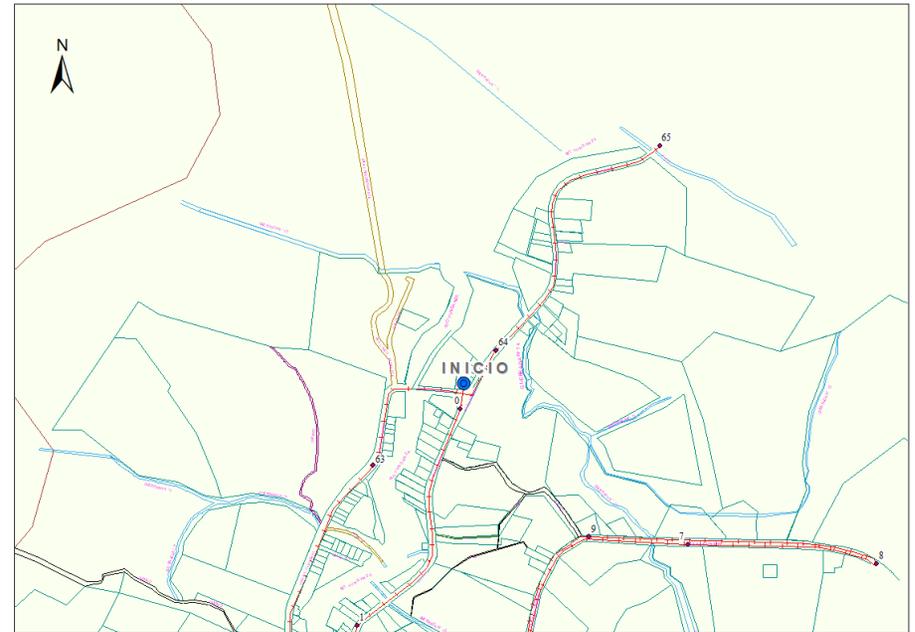


Figura 3.12 Cuarto tramo de la ruta óptima.

Nota: Este mapa representa el cuarto tramo de la ruta óptima propuesta para el Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

3.2. Diseño definitivo de la ruta

En base a la aplicación de datos georreferenciados y de herramientas de software AutoCAD y ArcGis 10.5, se desarrolló la ruta más viable para la zona urbana de la Ciudad en estudio considerando varios factores como, los tiempos actuales de recorrido (ver figura 3.14), la generación per cápita, la vialidad de la ciudad y la ruta actual. Con la cual se determina el tipo de camión, los nuevos tiempos de recorrido y puntos de generación masiva.

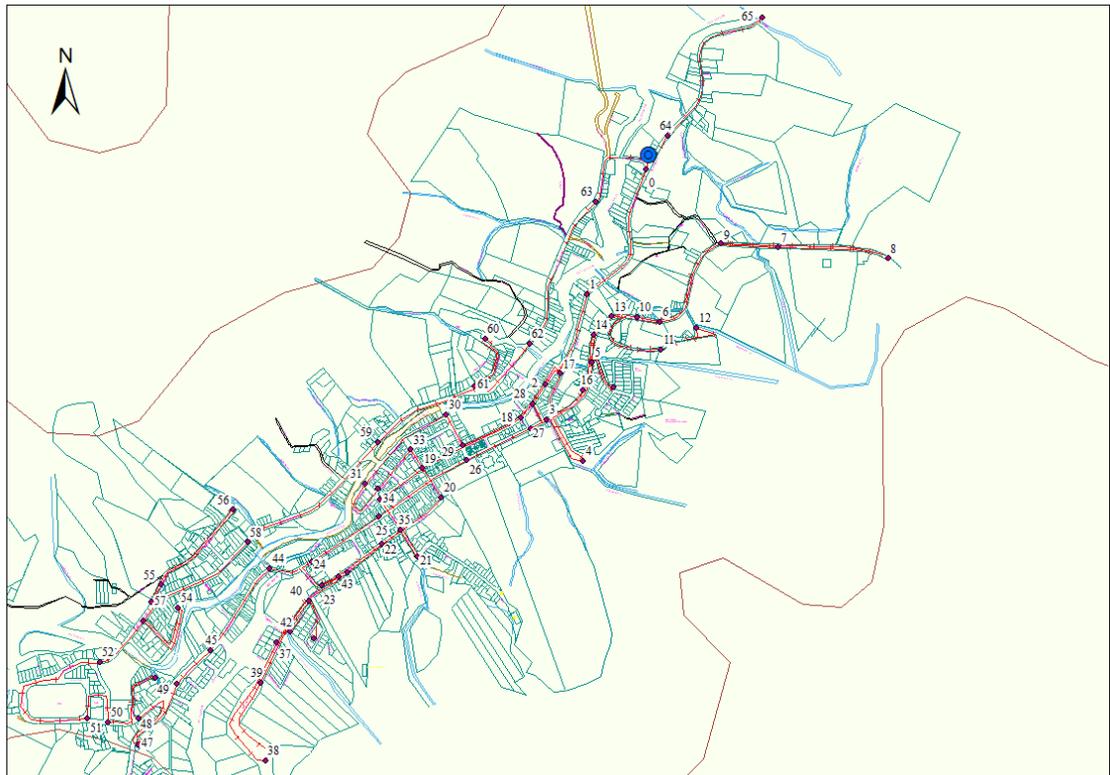


Figura 3.14 Diseño definitivo de la ruta óptima.

Nota: Este mapa representa la ruta óptima en su totalidad propuesta para el Cantón Limón Indanza. Fuente: Elaboración propia basándonos en el plano catastral del centro urbano del Cantón utilizando ArcGis 10.5.

En esta figura se aprecian en conjunto los tramos en los cuales se implementaron las mejoras en el diseño de la ruta de recolección de residuos sólidos para el centro urbano del Cantón Limón Indanza.

3.3. Análisis de Resultados

La ruta actual recorre 16.83 km/día a comparación de la ruta propuesta que minimiza su distancia a 15.20 km/día (ver tabla 3.4), lo cual representa una disminución en recursos y combustible (ver figura 3.15).

Tabla 3.1 Distancia recorrida (km/día).

KILÓMETROS RECORRIDOS	
(km/día)	
Ruta actual	16,83
Ruta óptima	15,20

Nota: Esta tabla de ven reflejado la comparación de distancia recorrida (km/día) entre la ruta actual y la ruta propuesta. Fuente: elaboración propia utilizando ArcGis 10.5.

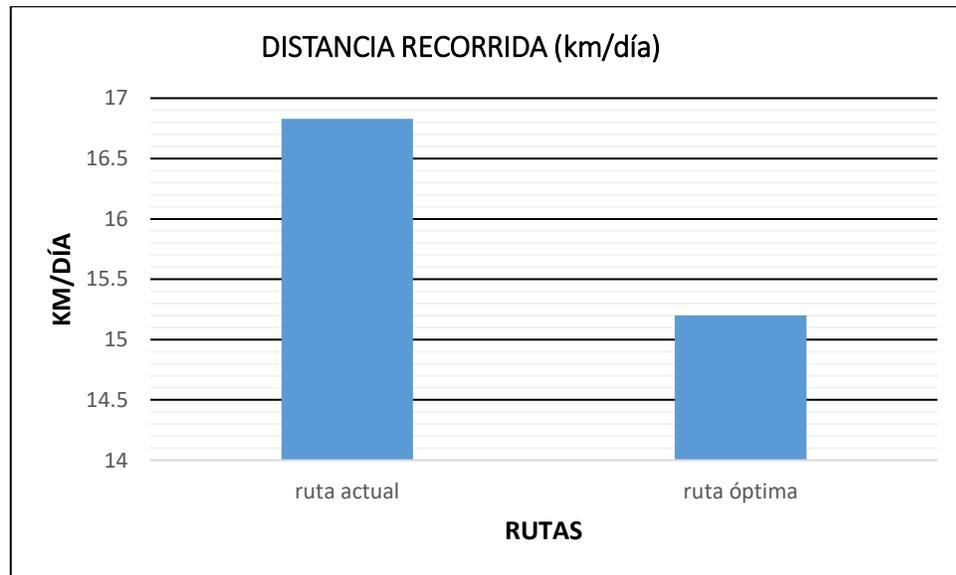


Figura 3.15 Comparación de la distancia entre la ruta actual y la ruta óptima.

Nota: La figura muestra una comparación de kilómetros/día recorridos entre la ruta actual y la ruta óptima. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.16 se observa el análisis de combustible gastado tanto para las distancias de la ruta actual como de la ruta propuesta, esta última demuestra un considerable ahorro de combustible. De manera que, la ruta actual posee una distancia de recorrido de 16.83 km consumiendo 14 lt/día, a diferencia, la ruta propuesta se estima el consumo de 12.64 lt/día debido a que su diseño incluye mejoras en su recorrido y optimización de distancias que

se reduce a 15.2 km (ver tabla 3.5). Dado que el precio del combustible por cada galón es de \$ 1.40, consumiendo 26 galones a la semana con costos anuales de \$ 1.890,7 y \$ 1.707,03 para la ruta propuesta.

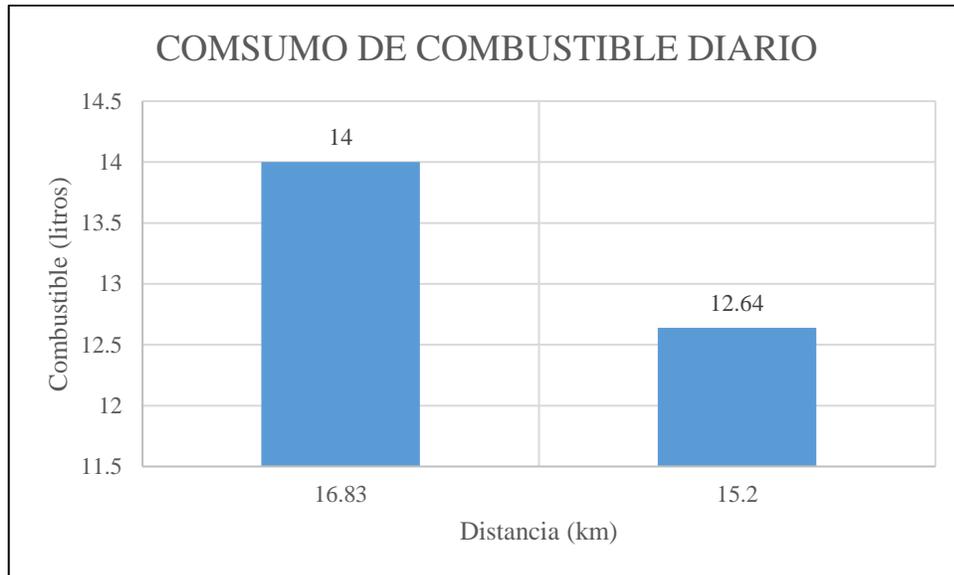


Figura 3.16 Consumo de combustible de recorrido por día.

Nota: La figura representa la comparación del consumo de combustible por día entre la ruta actual y la ruta propuesta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2 Ahorro de combustible de la ruta propuesta para los residuos orgánicos e inorgánicos al año.

	DÍA	MES	AÑO	GASTO TOTAL
Actual	14 l/d	420 l/d	5110 l/d	\$ 1.890,7
Propuesta	12,64 l/d	397,2 l/d	4613,6 l/d	\$ 1.707,03

Nota: l/d significa litros al día. La tabla presentada, muestra el ahorro de gastos en combustible al año.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se realiza el análisis del consumo de combustible para los desechos especiales y reciclables tanto semanalmente como anualmente (ver tabla 3.6). El consumo semanal para los residuos reciclables es de 10 gal teniendo un costo de \$12,78 y para los residuos especiales el consumo semanal es de 8 gal con un costo de \$10,22. El recorrido para la categoría de los especiales es simple ya que tiene un solo punto de recolección y disposición final en una celda. Para el caso de los residuos reciclables sigue el mismo recorrido que la ruta actual, pero en distinto horario.

Tabla 3.3 Consumo de combustible de los desechos reciclables y especiales.

	DÍA	MES	AÑO	GASTO TOTAL
Reciclables	5,4 l/d	162 l/d	1931 l/d	\$ 714,47
Especiales	4,32 l/d	129,6 l/d	1.576,8 l/d	\$583,42

Nota: Aquí se muestra el consumo semanal de combustible empleado para los residuos especiales y reciclables. **Fuente:** (Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza, s. f.).

Por último, se considera el gasto anual de los residuos especiales \$ 583,42 como también de los reciclables, tomando en cuenta que la ruta para los reciclables es la misma que de los orgánicos e inorgánicos. La nueva ruta propuesta es de 15.2 km, que se obtiene un gasto anual de combustible igual a \$645,27 para los reciclables y \$ 1.707,03 para los orgánicos e inorgánicos, sumando un total de \$2.935,72.

Finalmente presenta el ahorro del total de combustible para la ruta propuesta en comparación de la ruta actual.

Tabla 3.4 Ahorro de combustible de la ruta propuesta al año.

	GASTO TOTAL
Actual	\$ 3.188,59
Propuesta	\$ 2.935,72

Nota: La tabla presentada, muestra el ahorro de gastos en combustible al año.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método del cartero chino permitió el desarrollo de una ruta ordenada al abarcar la mayor área del centro urbano priorizando zonas cercanas, evitando pasar por un punto dos veces (puntos muertos), y cumpliendo con los requisitos generales para la elaboración de un diseño de enrutamiento.

Los cambios que se realizaron en la ruta de recolección de basura corresponden en una gestión integrada basada en la clasificación, recolección de RSU, disposición final y además cuenta con el servicio de barrido de calles en zonas mayor generación de residuos sólidos.

Los SIG permiten detectar anomalías en rutas permitiendo implementar mejoras para futuros diseños basados en la optimización de recursos. Para el desarrollo del diseño de la ruta se utilizó información otorgada por el Gad Municipal de Limón Indanza mediante sistemas de información geográfica SIG lo cual ha permitido presentar la situación actual. Posteriormente se implementó mejoras en la ruta identificada.

Estadísticamente se encontraron diferencias de consumo de combustible debido a que, en la ruta actual, al recorrer 16,83 km/día con un gasto de combustible de 14 l/d, mientras para la ruta propuesta se requiere 12,64 l/d para ejecutar el recorrido de 15,20 km/día. Por lo tanto, los valores estimados del presupuesto al año son de 3.188,59 dólares y 2.935,72 dólares, para ruta actual y la ruta propuesta, respectivamente.

Es primordial el levantamiento de información de la línea base de la red vial de acuerdo a las necesidades actuales, ubicación en puntos fijos de almacenamiento temporal (dumpster diving) para la agilización del proceso de recolección. Ello evitaría la presencia de roedores, problemas ambientales y sociales. Así mismo la adquisición del vehículo recolector adecuado para la recolección de RSM.

Implementación y ejecución de campañas de concientización dirigidos a escuelas, colegios, entidades privadas y públicas, así como para la población en general. Lo cual contribuiría al ordenamiento de la ciudad el buen manejo del sistema de recolección de RSUM.

REFERENCIAS

- Afon, A. O. y Okewole, A. I. (2007). Estimating the quantity of solid waste generation in Oyo, Nigeria. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*.
<https://doi.org/10.1177/0734242X07078286>
- Ahr, D. y Reinelt, G. (2002). New Heuristics and Lower Bounds for the Min-Max k-Chinese Postman Problem. En R. Möhring & R. Raman (Eds.), *Algorithms—ESA 2002* (pp. 64-74). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45749-6_10
- Akhtar, M., Hannan, M. A., Begum, R. A., Basri, H. y Scavino, E. (2017). Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization. *Waste Management*, 61, 117-128.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.022>
- Cardona, M. J., Castrillón, O. D. y Tinoco, H. A. (2017). Determinación del Método Óptimo de Operaciones de Ensamble Bimanual con el Algoritmo de Dijkstra (o de Caminos Mínimos). *Información tecnológica*, 28(4), 125-134.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400015>
- Carlos, M., Gallardo, A., Edo-Alcón, N. y Abaso, J. R. (2019). Influence of the Municipal Solid Waste Collection System on the Time Spent at a Collection Point: A Case Study. *Sustainability*, 11(22), 6481.
<https://doi.org/10.3390/su11226481>
- Flores Salazar, M. G., Guardado Alvarado, A. M. y Romero García, C. A. (2008). *Diseño de una metodología para la logística de recolección de desechos sólidos en los distritos 4 y 5 del municipio de San Salvador* [Engd, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4224/>
- García Rodríguez, C. (2018). *Diseño de la ruta de recolección de residuos sólidos urbanos de la zona comunal # 1 del municipio de Santa Clara* [Thesis, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial].
<http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/9738>

- Gobierno Municipal del Cantón Limón Indanza.* (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2020, de <http://gadlimon2020.limonindanza.gob.ec/index.php>
- Guevara, Y., Craig, M., Tordecilla, C. y Ibañez, L. (2017). *PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (TSP) PARA LAS PRINCIPALES DISCOTECAS DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA. WORKING PAPER.*
- Hannan, M. A., Abdulla Al Mamun, Md., Hussain, A., Basri, H. y Begum, R. A. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*, 43, 509-523. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.033>
- Lopes, R. B., Plastria, F., Ferreira, C. y Santos, B. S. (2014). Location-arc routing problem: Heuristic approaches and test instances. *Computers & Operations Research*, 43, 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.10.003>
- López López, M. A. (2017). *Caracterización y propuesta de manejo de desechos sólidos, diagnóstico y servicios en la cabecera Municipal de Esquipulas, Departamento De Chiquimula, Guatemala, C. A.* [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8061/>
- Malakahmad, A., Bakri, P. M., Mokhtar, M. R. M. y Khalil, N. (2014). Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia. *Procedia Engineering*, 77, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.023>
- Martí, R., Operativa, D. D. I. I. y Matemàtiques, F. D. (s. f.). *Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria.*
- Nguyen-Trong, K., Nguyen-Thi-Ngoc, A., Nguyen-Ngoc, D. y Dinh-Thi-Hai, V. (2017). Optimization of municipal solid waste transportation by integrating GIS analysis, equation-based, and agent-based model. *Waste Management*, 59, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048>
- Noche, B., Rhoma, F. A., Chinakupt, T. y Jawale, M. (2010). Optimization model for solid waste management system network design case study. *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, 5, 230-236. <https://doi.org/10.1109/ICCAE.2010.5451476>

- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H. y Bräysy, O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications*, 30(2), 223-232. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.009>
- Pérez, M. y Nelson, J. (2010). *Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales*. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/299>
- Poser, I. von y Awad, A. R. (2006). *Optimal Routing for Solid Waste Collection in Cities by using Real Genetic Algorithm*. 2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies.
- Shupingahua, R. y Roger, S. (2014). Uso de la dinámica de sistemas para optimizar las rutas de recojo de Residuos Sólidos en el distrito de TARAPOTO. *Universidad Nacional de San Martín*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1880>
- Shuster, K. A. y Schur, D. A. (1974). *Heuristic Routing for Solid Waste Collection Vehicles*. U.S. Environmental Protection Agency.
- S.N.I. Territorial—Sistema Nacional de Información*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2020, de https://sni.gob.ec/sni_territorial
- Solano-Charris, E., Prins, C. y Santos, A. C. (2015). Local search based metaheuristics for the robust vehicle routing problem with discrete scenarios. *Applied Soft Computing*, 32, 518-531. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.03.058>
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. y Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29(3), 1176-1185. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.013>
- Tchobanoglous, G., Vigil, S. y Theisen, H. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill Interamericana de España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=86065>
- Tin, A. M., Wise, D. L., Su, W.-H., Reutergardh, L. y Lee, S.-K. (1995). Cost—Benefit analysis of the municipal solid waste collection system in Yangon, Myanmar. *Resources, Conservation and Recycling*, 14(2), 103-131. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(95\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(95)80004-2)
- Yazdani, M., Kabirifar, K., Frimpong, B. E., Shariati, M., Mirmozaffari, M. y Boskabadi, A. (2021). Improving construction and demolition waste collection service in an urban area using a simheuristic approach: A case study in Sydney,

Australia. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124138.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124138>

Zsigraiova, Z., Semiao, V. y Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management*, 33(4), 793-806. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.015>

ANEXOS

Anexo 1. Plano (mxd) del Cantón Limón Indanza.



Anexo 2. Recolección y traslado al relleno sanitario , para los residuos solidos.



Anexo 3. Recolección y traslado al relleno sanitario , para los residuos especiales.



Anexo 4. Almacenamiento de residuos reciclables



Anexo 5. Horarios de recolección de residuos por categorías en la cabecera Cantonal.

HORARIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS							
TIPO DE DESECHO /DÍA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Orgánicos	08:00-10:00 hrs	No hay recolección	08:00-10:00 hrs	No hay recolección	08:00-10:00 hrs	No hay recolección	No hay recolección
Especiales	10:00-11:30 hrs		10:00-11:30 hrs		10:00-11:30 hrs		
Inorgánicos	10:30-16:30 hrs		10:30-16:30 hrs	10:30-16:30 hrs	16:00-21 hrs		
Reciclables (PET, Cartón, varios)	14:00-16:30 hrs		No hay recolección	14:00-16:30 hrs	No hay recolección		No hay recolección

Fuente: GAD Municipal de Limón Indanza.

Anexo 6. Producción per cápita en General Leónidas Plaza G.

PRODUCCIÓN PERCAPITA DE HOSPITAL				
No. de personas	Actividad	Peso desechos comunes (Kg)	Producción pe cápita	Categoría
77	INT. PUBLICA	18.08	0.23	PUBLICA
Producción Percápita de Hospital			0.23	Kg/hab/día

Categorías	Peso (KG)	Numero Hab	Generación Percápita
HOGARES	30.61	56	0.55
RESTAURANTE	5.85	20	0.29
INT PÚBLICA	5.38	30	0.18
MERCADO	191.59	200	0.96
HOSPITALES	18.08	77	0.23
	<u>TOTAL</u>	383	
<u>Producción Per cápita</u>	0.66		Kg/Hab/Día

Anexo 7. Análisis de tiempos recorrido.

ANÁLISIS DE TIEMPOS "RECOLECTOR DE BASURA"			
BARRIOS	TIEMPO RECORRIDO	TIEMPO MUERTO	
Barrio Norte	8:15-8:27 8:55-9:05 9:29-9:45	11:26-11:40 12:13-12:19	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO (DATO)
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Centro	8:27-8:36 8:48-8:58 9:45-10:12 10:42-10:48 11:00-11:20	11:40-11:50 12:02-12:17 12:19-12:21 12:35-1:56 3:09-3:09	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Sur	8:36-8:48 10:12-10:16	11:50-12:02 1:56-2:00	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Flor de Limón	9:05-9:29		IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio el Coloso	10:16-10:28	2:00-2:45	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio 12 de Diciembre	10:25-10:42	2:45-3:04	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Glisco Huevo	10:46-11:00	3:09-3:28	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio la Chorrera LIMÓN	11:00-11:00	11:31-11:36 3:28-3:31	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO
Barrio la Merced LIMÓN- RELLENO	11:02-11:06	3:57-3:42	IMPREVISTOS
			CONVERSANDO
			MISMO TRAMO
			DESEMPEÑO
			PERDIDA DE TIEMPO

orden de combustible 2min y 36sg
 2min (Fue a vivir a otro)

2min Arriague 2min:35sg; 2min (mal estimado)

no sacan la basura a la izquierda 1min:15sg
 2min:30sg

(Cero mal estimado)

Sube sin recoger y baja recogiendo
 05min y 53sg

Carga Diesel 12min y 16sg (y conversado)

2min (gute no saca a tiempo la basura)

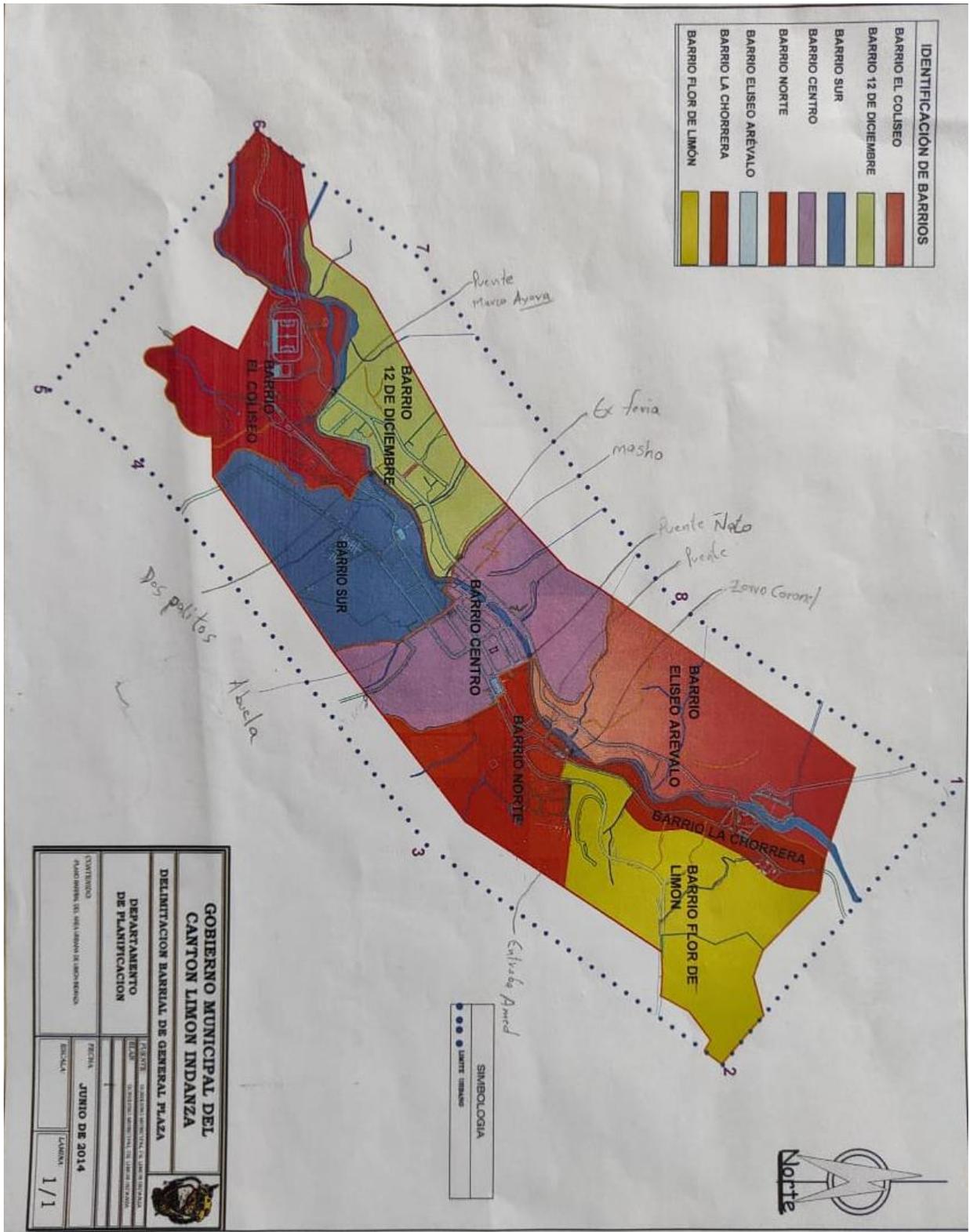
1min y 12sg (gute no saca basura) 2min
 Fue a orinar 2min (obras)

no hay orgánico para rápido

Toda la gute usa los 0 para sus lotes.

ANALISIS DE TIEMPOS "RECOLECTOR DE BASURA"			
BARRIOS	TIEMPO RECORRIDO	TIEMPO MUERTO	
Barrio Norte	8:15-8:27 8:55-9:05 9:29-9:45	11:36-11:40 12:13-12:14	IMPREVISTOS CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO (DATO) PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Centro	8:27-8:36 8:46-8:58 9:46-10:12 10:42-10:48 11:00-11:20 12:11-12:30	11:40-11:50 12:02-12:13 12:14-12:21 1:35-1:56 3:01-3:09	IMPREVISTOS orden de Combustible 2min y 36sg CONVERSANDO 2min (Fue a orinar a la casa) MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO daño arranque 2min: 35sg; 2min (mal estacionado)
Barrio Sur	8:36-8:48 10:12-10:16	11:50-12:02 1:56-2:00	IMPREVISTOS no sacan la basura a la espuera 1min: 20sg CONVERSANDO 2min: 35sg MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO 2min (como mal estacionado)
Barrio Flor de Limon	9:05-9:29		IMPREVISTOS Sube sin recoger y deja recogiendo asmin y 53sg CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO
Barrio el Coliseo	10:16-10:28	2:00-2:45	IMPREVISTOS Cambio Diesel 12 min y 16sg (y conversado) CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO 2min (gente no saca tiempo la basura)
Barrio 12 de Diciembre	10:25-10:42	2:45-3:04	IMPREVISTOS CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO
Barrio Elisco Huevo	10:46-11:00	3:09-3:28	IMPREVISTOS 1min y 12sg (gente no saca basura) = 2min CONVERSANDO Fue a orinar 2min (aburo) MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO
Barrio la Choneva LIMON	11:00-11:00 existe un salto de 2min entre barrios.	11:31-11:36 3:28-3:31	IMPREVISTOS no hay organica para rapido CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO
Barrio la Percepcion LIMON- BELLENO	11:02-11:16 9min y 16sg	3:57-3:42	IMPREVISTOS Taba lo gente usa b) 0 pero sus lats. CONVERSANDO MISMO TRAMO DESEMPEÑO PERDIDA DE TIEMPO

Anexo 8. Mapa de delimitación barrial de General Leónidas Plaza del Cantón Limón Indanza.



Anexo 9. Elaboración de la ruta de recolección mediante la herramienta ArcGis 10.5.

