

Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga

Simulation model for the optimization of garbage collection transport routes in the city of Latacunga

Jaime Hernán Acurio Masabanda¹, Raúl Heriberto Andrango Guayasamín²

RESUMEN:

Las redes logísticas y la simulación matemática en su conjunto permiten desarrollar procesos y estructuras analíticas factibles al momento de diseñar rutas óptimas de transporte, la reducción de tiempos y el costo se verán reflejadas en beneficiar a la oferta y demanda en la prestación de servicios al consumidor final. Con la finalidad de reducir costos en la recolección de basura hay que tomar en cuenta los procesos secuenciales iniciales a través de un muestreo. Las características que tienen como la distancia geográfica, el traslado, los horarios de uso, el mantenimiento preventivo y/o correctivo entre otros que se ejecutan periódicamente y de forma cotidiana en donde intervienen estudios y asesoramiento técnico. Con este estudio técnico se garantiza mejorar el problema para un cambio significativo en las variables y/o errores de rutas posibles encontrados que arroje el muestreo inicial; siendo el punto base de los procesos correctivos a tomar que se ven enfocados en la afectación de servicios lo cual impide un proceso óptimo al consumidor final. Finalmente se propone diseñar una simulación desde un punto de vista técnico afianzando las variables en función de un modelo matemático que permita corregir los errores reales antes detectados y entregar un modelo documentado de rutas óptimas de transporte factibles para poner en evidencia las conclusiones y recomendaciones en su uso y manejo.

Palabras claves: Optimización de productos, simulación, errores, variables.

Recibido febrero 2018

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, jaime.acurio@utc.edu.ec

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, raul.andrango@utc.edu.ec

ABSTRACT:

The logistics networks and the mathematical simulation as a whole allow the development of feasible analytical processes and structures when designing optimal transport routes, the reduction of time and cost will be reflected in benefiting the supply and demand in the provision of services to the consumer final. In order to reduce costs in garbage collection, the initial sequential processes must be taken into account through sampling. The characteristics they have such as geographical distance, transfer, hours of use, preventive and / or corrective maintenance, among others that are carried out periodically and on a daily basis where studies and technical advice are involved. With this technical study it is guaranteed to improve the problem for a significant change in the variables and / or errors of possible routes found that the initial sampling yields; being the base point of the corrective processes to be taken that are focused on the affectation of services which prevents an optimal process for the final consumer. Finally, it is proposed to design a simulation from a technical point of view, consolidating the variables based on a mathematical model that allows correcting the real errors previously detected and delivering a documented model of optimal feasible transport routes to highlight the conclusions and recommendations in its use and handling.

Keywords: *Clay, mechanical properties, compressive strength, granulometry.*

Recibido 10 de enero de 2021; revisión aceptada 22 de abril de 2021

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de recolección de basura en la Ciudad de Latacunga ha evolucionado paralelamente con la urbanización y el crecimiento económico. Para abordar el manejo de residuos generados no es suficiente conocer los aspectos técnicos de recolección, limpieza de calles. Se requiere aplicar nuevos conceptos relacionados con la optimización de rutas de recolección de basura el cual mediante simulaciones y la implementación pretende mejorar este sistema y poder brindar un servicio adecuado.

La basura generada por la población de la ciudad de Latacunga tiene un peso muy importante en el coste total de la gestión de estos residuos. El objetivo optimizar las rutas de transporte por los diferentes sectores de la ciudad de Latacunga (RUTA ORIENTAL Y OCCIDENTAL) lo cual reducirá los costos directos que intervienen.

A pesar del esfuerzo realizado por el personal operativo para brindar un servicio adecuado a la ciudad, surgen problemas a nivel de planificación, logística, afectación ambiental y social, como son los residuos dispersos en las vías públicas, impuntualidad del servicio, mal estado de los camiones de recolección, pocos vehículos de recolección y escasos tachos contenedores en diferentes lugares o mal distribuidos. La cantidad de maquinaria empleada y las rutas de recolección se definieron de forma empírica y se ha modificado a lo largo de los años conforme la ciudad fue creciendo, pero siempre bajo un modelo carente de un respaldo teórico. A pesar que la tarea de recolección de basura se cumple, existen inconvenientes que impiden ofrecer el servicio de forma eficiente.

El vacío de información amerita organizar, planificar y proyectar las necesidades del servicio. Sumada a la descoordinación en cobertura geográfica de cada una de las rutas de recolección, así como la cantidad de residuos recolectados en cada ruta, el tiempo empleado y el incumplimiento de los horarios, entre otros factores que impiden la recolección de basura. [1], [2].

Objetivo

Implementar un modelo de simulación matemática para optimizar las rutas de transporte que permitan soluciones óptimas en la reducción de costos de transportación y procesos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Programación Lineal

A través de la metodología matemática se busca que la situación real pueda ser modelada en un sistema de ecuaciones, utilizando la programación lineal. Este sistema se encuentra compuesto principalmente por una función objetiva que busca minimizar los costos de transporte o la distancia recorrida, para definir una serie de restricciones matemáticas que permite adaptar la formulación del problema a las diferentes situaciones particulares del sistema del transporte como la capacidad del vehículo, velocidad, números de clientes a atender, horario de operación de recolectores de basura.

2.2. Rutas

Para levantar información y analizar el estudio investigativo se aplicó una encuesta a clientes y miembros responsables de la comunidad San José El Ejido – Cotopaxi Latacunga Eloy Alfaro quienes ratificaron los resultados obtenidos de forma hipotética; el grupo de investigadores ha tomado como fundamento el diseño metodológico científica – experimental, la técnica de

observación directa asociada al método de transporte y modelos de optimización de rutas en el marco de la Investigación de Operaciones los cuales en su conjunto nos permitirán cumplir con los objetivos y actividades propuestas en el presente proyecto de investigación [3].

2.3. Estudios Técnicos de Rutas

Como parte de la metodología es necesario determinar la demanda actual establecer proyecciones futuras del sistema, y cubrir su demanda; es decir, analizar la oferta actual y la necesaria para brindar un servicio eficiente, cómodo, insumos que permiten realizar un diagnóstico adecuado. Estudios, sustentados en la metodología de demanda de transporte como respuesta a la necesidad en la zona [4].

El software ArcGis 10.5 es un sistema de información geográfica diseñado para trabajar a nivel multiusuario incorporando información para capturar, editar, analizar, publicar redes de transporte la cual funciona con modelos matemáticos como el algoritmo de Dijkstra [4].

2.4. Diseño metodológico

La investigación que se basa en la simulación para la optimización de rutas de recolección presenta antecedentes de estudio que se realizaron en la ciudad de Cuenca (2015) por los Ings. Jorge Willan Cusco y Kristoffer Efraín Picón en donde explican sobre los sistemas de recolección y transporte de residuos domiciliarios, realizados mediante redes de contenedores que son levantados de forma lateral por el recolector.

La metodología permite innovar la ruta en distancia (metros) del vehículo recolector reduciendo los costos de mano de obra y combustible. Se utilizó un software de enrutamiento de redes de transporte disponible de manera gratuita en los mercados informáticos, con el nombre de ARCGIS 10.5 simultáneamente se utilizó las extensiones de ArcMap 10.5, ArcCatalog 10.5 y Network Analyst que representan algoritmos de Dijkstra llamados también algoritmos de la ruta mínima para poder determinar la ruta más corta de la red vial y así poder dar solución al proyecto.

Las características de la extensión Network Analyst en particular son convenientes en el empleo de cartografía a nivel de calles en forma de datos de red, permitiendo obtener rutas detalladas para calcular y replicar ciertas características (MA10B.pdf, s. f., lib. 14).

Se concluyó que con la elaboración de un SIG. Se puede proporcionar información necesaria para que el programa ArcGis 10, mediante la extensión Network Analyst pueda simular una ruta óptima para la recolección de la basura.

Finalmente se procedió a buscar información sobre antecedentes que faciliten el manejo de este software ya que es indispensable para la realización de este proyecto. Para esto nos basamos en un manual elaborado por la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Perú el año 2011 donde permitió acceder a la aplicación, entender cada una de las extensiones que tiene y poder simular la ruta óptima de recolección.

2.5. Tipo de investigación

2.5.1 Investigación fundamental

A partir de la muestra de sujetos, las conclusiones de la investigación se hacen extensiva a la población y se orientan a las conclusiones. Su objetivo se centra en el aumento de información teórica y se relaciona con la investigación pura (básica).

2.5.2 Metodología cuantitativa

Para cualquier campo se aplica la investigación de las Ciencias Físico-Naturales. El objeto de estudio es externo al sujeto que lo investiga tratando de lograr la máxima objetividad. Intenta identificar leyes generales referidas a grupos de sujeto o hechos. Sus instrumentos suelen recoger datos cuantitativos los cuales también incluyen la medición sistemática, y se emplea el análisis estadístico como característica resaltante.

2.5.3 Investigación bibliográfica

Es la revisión bibliográfica del tema para conocer el estado de la cuestión. La búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica e información bibliográfica sobre un tema específico tiene un valor, pues evita la dispersión de publicaciones o permite la visión panorámica de un problema.

2.5.4 Investigación de campo

La investigación se centra en hacer el estudio donde el fenómeno se da de manera natural, de este modo se busca conseguir la situación lo más real posible. Se pueden incluir experimentos de campo y la investigación ex post facto empleando metodología cualitativa.

2.6. Población

Una de las preocupaciones que se presentan en el cantón Latacunga es la cantidad de basura que origina la población, esto conlleva a que el sistema actual de recolección sea ineficiente en las zonas urbanas de la ciudad ya que existen desechos provenientes de hospitales,

empresas y otros. Dicha preocupación exige atención y soluciones urgentes, para la protección de la salud pública y el medio ambiente.

El Cantón Latacunga tiene 5 parroquias urbanas: Eloy Alfaro, Ignacio Flores, Juan Montalvo, La Matriz, San Buenaventura y 10 parroquias rurales: Aláquez, Belisario Quevedo, Guaytacama, Joseguango Bajo, Mulaló, 11 de noviembre, Poaló, San Juan de Pastocalle, Tanicuchi, Toacaso.

La zona de estudio de este proyecto abarca todas las parroquias urbanas las cuales poseen una superficie de aproximadamente 1.4 mil km².

2.7. Técnicas e instrumentos

Para ubicar los contenedores de basura en las rutas de estudio se necesitó tomar las coordenadas de cada uno de los contenedores de las rutas oriental y occidental con la ayuda de un GPS para posteriormente subirlos a la Geodatabase del proyecto.

Este procedimiento se realizó con un vehículo, identificando cada contenedor y tomando la coordenada respectiva.

Existen 301 contenedores distribuidos en toda la ciudad de Latacunga, en las cuales están distribuidas en 151 contenedores en la ruta oriental y 150 en la ruta occidental, cada contenedor de basura contiene una capacidad de almacenamiento de 2400 litros (200 kg). (*Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental de Latacunga*, 2019).

Se identificaron los 301 contenedores distribuidos en dos rutas oriental y occidental, “los contenedores son estacionarios, tienen un pedal de apertura y tapa con cierre amortiguado. Estos contenedores brindan mayor seguridad y eficiencia al momento de la recolección de los residuos sólidos”. (Abalco, septiembre)

Según la ordenanza metropolitana de Quito, sección V literal 23 dice que “En el sistema de recolección contener izado no existirá manipulación directa de los residuos sólidos por parte de personas que operan, la misma solo se llevará a cabo con los vehículos especializados para este tipo de recolección”. (*ORDENANZA METROPOLITANA No. 332*, 2010)

Este tipo de recolección se realiza mediante vehículos de carga lateral, los mismos que están equipados con un sistema de levantamiento de contenedores. Este proceso se realiza a contenedores que poseen un mecanismo para abrir y cerrar la tapa mediante pedal, la basura es almacenada en estos contenedores, el mismo que deben tener distancias entre 200 metros para evitar largas caminatas por parte del usuario.

Con este servicio se recolectan 2678,214 toneladas de basura por mes en la ciudad de Latacunga, este servicio se realiza los 354 días del año.

Entre las ventajas que existen de este sistema de recolección están:

- Es necesario menos cantidad de personal que el sistema de puerta a puerta.
- Mejora las condiciones laborales del personal de recolección.
- Existen menos riesgos para el personal de recolección.
- Dificulta que los animales tengan acceso a la basura y rompan las fundas de alimentos.
- Menor costo operativo.

Dentro de las ventajas existentes en este sistema de recolección se encuentran:

- Los contenedores ocupan poco espacio en las veredas lo que reduce el espacio para los peatones.
- Los residuos son agrupados en un solo lugar lo que limita el reciclaje a menos que se cuente con una isla ecológica cercana.
- Generan malos olores y que el tacho recibe desechos al no ser recogido con la frecuencia normal.

Tabla 1. Técnicas e instrumentos.

No.	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Geo referencia	GPS
2	Modelos de rutas	MALLA PERT
3	Mapeo de rutas	ARCGIS
4	Checklist	TABLAS
5	Modelo genérico	OpenStreerMap
6	Modelo matemático	VRP

Fuente. [5].

2.8. Elaboración del mapa temático del eje vial de la ciudad de Latacunga.

El mapa de vías de la ciudad se realizó mediante las herramientas de ArcGis que permite trabajar con datos de mapa base de OpenStreetMap, el cual sirvió de guía para dibujar los puntos y las líneas, mediante la creación de los shapefile correspondientes a los mismos, que sirven para el análisis de la red de transporte.

En esta herramienta se cargó el mapa de la zona urbano de la ciudad de Latacunga, información facilitada por el departamento de riesgos y catastros de la ciudad, después se procedió a graficar las rutas actuales, basándonos en la recopilación de datos tomados anteriormente. En cada una de las vías se dibujan flechas las mismas que indicaron el sentido de las mismas así también se debe conocer varios parámetros para la creación del eje vial.

- Lugar de centro de operaciones o base
- Lugar de disposición final de los residuos (Botadero)
- Tiempo disponible para la operación
- Tipo de vías.

Estos parámetros se rigen a los elementos de análisis de VRP (Vehicle Routing Problem) problema de ruta del vehículo de la extensión Network Analyst para el diseño de rutas de una red de transporte por lo tanto el VRP que se basa en el algoritmo de caminos mínimos (Dijkstra) ya que determina la ruta más corta en la red.

Adicionalmente se utilizó la información de la agencia nacional de tránsito del ecuador (ANT) la misma que ha establecido los límites de velocidad para vehículos los cuales se muestran en la tabla.

Tabla 2. Límites de velocidad.

Tipo de vía	Límite máximo (km/h)	Rango moderado (km/h)	Fuera de rango moderado (km/h)
Urbana	40	De 40 hasta 50	Mayor a 50
Perimetral	70	De 70 hasta 95	Mayor a 95
Rectas en carreteras	70	De 70 hasta 100	Mayor a 100
Curvas de la vías	40	De 40 hasta 60	Mayor a 60

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Fundamentos teóricos

Para el análisis de la ruta óptima en base al valor de la distancia y no del tiempo, se escogió en IMPEDANCE meters (metros), para agilizar el proceso de recolección en tiempo y distancia se tomó en cuenta el punto de inicio como el contenedor más cercano a la ruta de

origen del vehículo recolector, por lo que se especificó que se reordene las paradas para encontrar la ruta óptima manteniendo la primera parada, para evitar que el programa realice una vuelta en U en vías muy estrechas, se especificó que solo se realicen vuelta en U en caso de una vía sin salida, se seleccionó que se tome en cuenta la jerarquía especificada y las restricciones del sentido de vía.

Una vez que se agregó todos los parámetros de análisis y realizado las configuraciones necesarias en las propiedades se generó los resultados, activando el botón “Solver Analyst” (resolver análisis). Después de realizar este procedimiento se obtuvo como resultado las siguientes rutas.

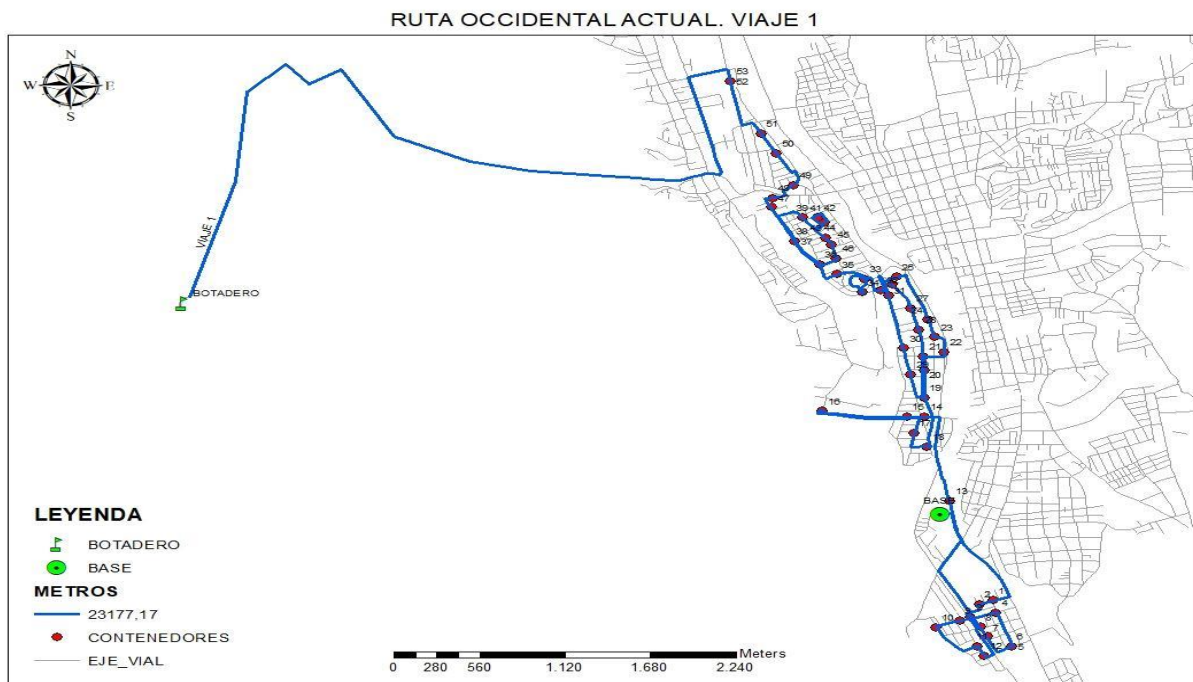


Figura 1. Ruta Actual del viaje 1 de recolección de basura.

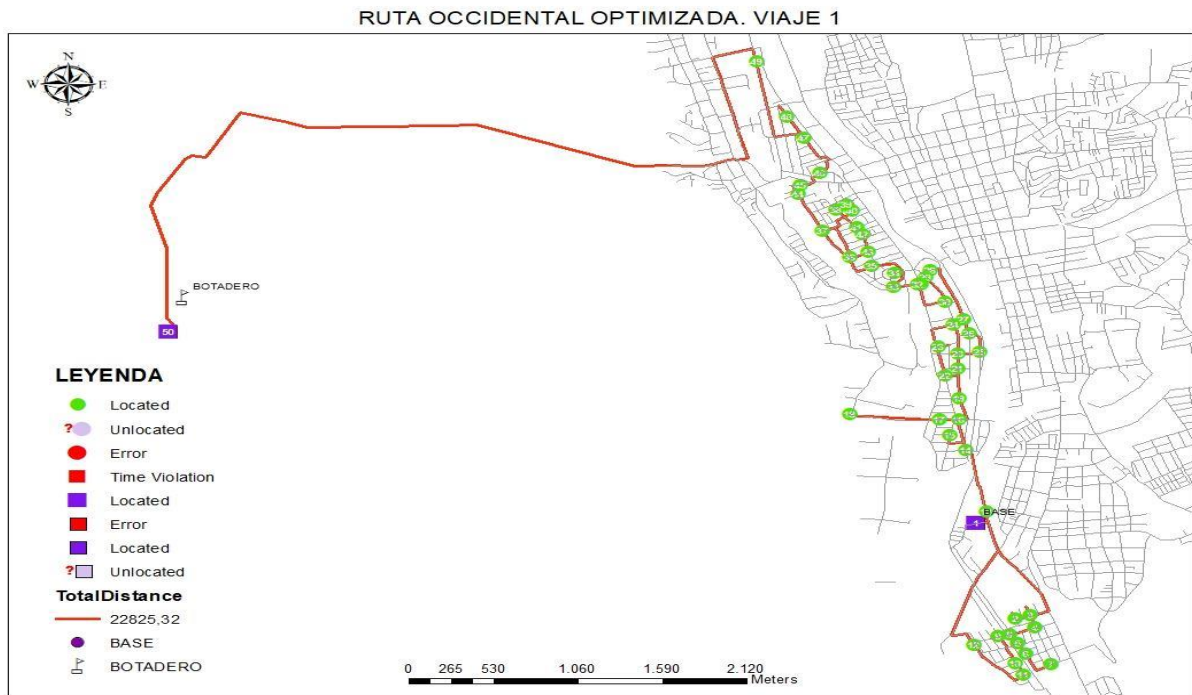


Figura 2. Ruta del viaje 1 optimizado

Este procedimiento se realizó para el primer viaje de recolección de la zona occidental así que se procedió a hacer el mismo procedimiento en los siguientes viajes de recolección de la zona occidental y oriental.

3.1.1 Identificación de variables.

Variable independiente: MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Variable dependiente: RUTA DE TRANSPORTE PARA RECOLECTORES DE BASURA

Cálculo de la Muestra y Determinación de Cálculo de la Muestra

n: Tamaño de Muestra

Z: Nivel de confiabilidad 1.96

P: Probabilidad de ocurrencia 0.5

Q: Probabilidad de no ocurrencia 0.5

N: Población 450

E: Error de la muestra 5% = 0.05

3.2. Fundamentos matemáticos.

Debido a la complejidad de los problemas en la operación del transporte, existe un efecto combinado de variabilidad, incertidumbre, dinámica y complejas interdependencias entre los elementos del sistema ya que se pueden recrear desde un modelo matemático el mismo que propone optimizar las rutas de transporte de los recolectores de basura que tiene por objeto

integrar cadenas logísticas de rutas críticas mediante un sistema de información geográfico y su aplicación informática capaz de calcular modelos matemáticos de optimización de rutas.

3.2.1 Ecuación

Los datos obtenidos serán reemplazados en la siguiente fórmula para determinar el tamaño de la muestra de la población finita.

Ecuación 1: Tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z^2 pq N}{E^2(N-1) + Z^2 pq}$$

$$n = \frac{1.96^2(0.5) * (0.5)(450)}{0.05^2(450 - 1) + 1.96^2(0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{432.18}{2.0829}$$

$$n = 207$$

3.3. Rutas óptimas

Para realizar el análisis de las rutas de recolección actuales y las propuestas se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: distancia recorrida en cada una de las rutas, cuantos viajes hacen al botadero, el tiempo empleado en la recolección y el consumo de combustible.

Las rutas establecidas por (EPAGAL) están referidas en las tablas (), donde se muestra la cantidad de viajes y contenedores presenta cada calle por ruta con esta información las tablas () comparar cada una de las rutas de acuerdo al análisis que se realizó en ArcGis.

Tabla 3. Análisis de distancia y tiempo en la ruta Occidental

Ruta Occidental	Carro recolector	Rutas actuales		Rutas propuestas	
		Distancia (Km)	Tiempo	Distancia (Km)	Tiempo
Viaje 1	DAF CF75	23,18	2:12:02	22,83	1:46:02
Viaje 2	DAF CF75	23,46	1:49:05	22,99	1:38:02
Viaje 3	DAF CF75	33,63	2:50:14	31,21	2:41:28
Viaje 4	DAF CF75	9,85	0:45:11	9,62	0:21:55
Total		90,11	7:47:55	86,65	6:27:27

Tabla 4. Análisis de distancia y tiempo en la ruta oriental

Ruta Oriental	Carro recolector	Rutas actuales		Rutas propuestas	
		Distancia (Km)	Tiempo	Distancia (Km)	Tiempo
Viaje 1	Mercedes Benz	37,52	3:11:59	36,31	3:01:44
Viaje 2	Mercedes Benz	39,77	2:51:25	39,70	2:49:52
Viaje 3	Mercedes Benz	10,43	0:30:10	9,96	0:25:34
Total		87,71	6:33:34	85,97	6:17:10

A partir de estos datos se calculó el consumo del combustible y su valor en dólares de acuerdo a los resultados encontrados en la simulación, tomando en cuenta que tanto para la ruta occidental y oriental se dividió en viajes.

Tabla 5. Consumo de Combustible propuesto con la ruta occidental optimizada.

Recolector DAF CF75 XEI-1200	Ruta	Km	Costo diario	Costo semanal	Costo mensual	Costo anual
Viaje 1	Occidental	22,83	\$16,46	\$82,32	\$329,30	\$3.951,56
Viaje 2	Occidental	22,99	\$16,59	\$82,93	\$331,71	\$3.980,48
Viaje 3	Occidental	31,21	\$22,52	\$112,58	\$450,33	\$5.403,99
Viaje 4	Occidental	9,62	\$6,94	\$34,69	\$138,75	\$1.664,95
Total		86,65	\$62,50	\$312,52	\$1.250,08	\$15.000,98

Tabla 6. Consumo de combustible propuesto con la ruta oriental optimizada.

Recolector DAF CF75 XBB-1274	Ruta	Km	Costo diario	Costo semanal	Costo mensual	Costo anual
Viaje 1	Oriental	36,31	\$20,47	\$102,33	\$409,30	\$4.911,62
Viaje 2	Oriental	39,70	\$22,38	\$111,88	\$447,50	\$5.370,03
Viaje 3	Oriental	9,96	\$5,61	\$28,07	\$112,29	\$1.347,45
Total		85,97	\$48,45	\$242,27	\$969,09	\$11.629,10

3.4. Comparación de resultados

Comparando los resultados de las rutas actuales y las rutas nuevas optimizadas mediante análisis de redes realizado en este estudio, tomando en cuenta los aspectos de la distancia, el tiempo, y el combustible de cada carro recolector se obtuvo la siguiente información detallada.

Tabla 7. Comparación de los resultados de la ruta occidental.

COMPARACIÓN DE LA RUTA OCCIDENTAL			
Distancia (km)			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
90,11 km	86,65 km	3,45 km	3,84 %
Tiempo de recolección			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
7:47:55 h	6:27:27 h	1:20:28 h	17,20 %
Consumo de combustible			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
\$ 15.600,00	\$15.000,98	\$599,02	2,53 %

En la tabla 7 se puede apreciar que con las rutas optimizadas se obtiene un 3,84 % de disminución en el recorrido de la ruta occidental además el tiempo disminuyó en un 17,20 % para así ahorrar un 2,53 % en combustible.

Tabla 8. Comparación de resultados de la ruta oriental.

COMPARACIÓN DE LA RUTA ORIENTAL			
Distancia (km)			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
88,71 km	85,97 km	2,74 km	3,09 %
Tiempo de recolección			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
6:33:34 h	6:17:10 h	0:16:24 h	4,17 %
Consumo de combustible			
Rutas actuales	Rutas optimizadas	Diferencia	Porcentaje
\$12.000	\$11.629,10	\$370,90	3,09 %

En la tabla 8 se puede observar que con el análisis de rutas se logró optimizar en un 3,09 % el recorrido de la ruta oriental disminuyendo así 2,74 km en toda la ruta, además que el tiempo se disminuyó en un 4,17 % con un ahorro del 3,09 % en combustible.

4. CONCLUSIONES

- Mediante la revisión bibliográfica de los antecedentes de la recolección de basura, datos estadísticos y de las formas de recolección, las leyes, normas y ordenanzas se concluyó que existe desorganización en todo el proceso de recolección lo cual permitió la realización de este proyecto
- Mediante la obtención de información de campo de los tiempos, distancias y vías de acceso de recolección realizada en los 5 días se pudo analizar el proceso actual de recolección para su posterior simulación manteniendo la misma ubicación de los contenedores y obteniendo una mejor ruta que reduzca los costos (Combustible) y distancia recorrida.
- Con la selección del Software ARCGIS para la simulación de las rutas oriental y occidental y la correcta utilización de todas sus extensiones y herramientas nos permite calcular la mejor ruta de acuerdo a los tiempos y distancias que recorre el vehículo en cada ruta así se pueden obtener rutas más cortas que reduzcan los gastos de recolección al disminuir el tiempo y la distancia del servicio mejorando el proceso.
- Con el análisis de la ruta actual con la ruta optimizada se puede observar la reducción en un 3.84% (3.45 Km) y 3.09% (2.74 Km) en la distancia total recorrida en la ruta occidental y oriental respectivamente así también se redujo el consumo de combustible en un 2.57% (\$599,02) y 4.17% (\$370,90) anualmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Vidal, L. San Fe y C. Fuente, «Resistencia mecánica y soportes para revestimientos cerámicos,» *Materiales de Construcción*, vol. 15, nº 2, pp. 28-32, 2000.
- [2] G. Benveniste, C. Gazulla, P. Fullana, I. Celades, T. Ros y V. Zaera, «Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. el caso de las baldosas cerámicas,» *Informes de la Construcción*, vol. 63, nº 3, pp. 71-81, 2011.
- [3] U. o. Arkansas, Investigación de transporte, México: Taha Hamdy A., 2004.
- [4] C. A. G. C. John Jairo Posada Henao*, «Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales,» Medellín, 2010.
- [5] W. C. P. 2. ASTM C1167 International, «www.astm.org, » 2003. [En línea]. Available: <https://www.astm.org> > Standards & Publications.