



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“OPTIMIZACIÓN LOGÍSTICA DE LAS RUTAS DE  
RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA ZONA  
URBANA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
DEL CANTÓN PASTAZA PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO  
OPERATIVO”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:** EVER ANTONIO VILLAMARIN SANTI

**DIRECTOR:** Ing. ALCIDES NAPOLEÓN GARCÍA FLORES

Riobamba-Ecuador

2020

**©2020, Ever Antonio Villamarin Santi**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Ever Antonio Villamarin Santi, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académicas de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de septiembre de 2020



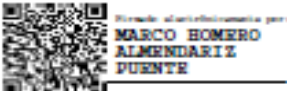
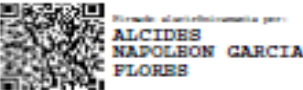

---

**Ever Antonio Villamarin Santi**

**160048085-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“OPTIMIZACIÓN LOGÍSTICA DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS EN LA ZONA URBANA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN PASTAZA PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO OPERATIVO”** realizado por el señor: **EVER ANTONIO VILLAMARIN SANTI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Almendáriz Puente <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		<u>02/09/2020</u>
Ing. Alcides Napoleón García Flores <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		<u>02/09/2020</u>
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		<u>02/09/2020</u>

## **DEDICATORIA**

Ésta Investigación dedico a Dios quien me dio fortaleza, paz y determinación a seguir en lucha para conseguir la meta deseada en mi vida, a mis padres Francisco Antonio Villamarin Santi e Isolina Elena Santi Gualinga, que han motivado a mantener la confianza para culminar exitosamente mi carrera profesional a pesar de las adversidades y tropiezos que he tenido que afrontar, siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento.

Mi hermana Cintia Pamela Villamarin Santi y su esposo Ricardo David Acurio Pillajo quienes me apoyaron en el transcurso de mi carrera. A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para poder cumplir una etapa de mi vida. A mi familia y amigos que fueron un apoyo incondicional en todo instante.

Ever

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis, primeramente, me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar a la culminación de un objetivo más en mi vida. El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, de manera especial a la Escuela de Ingeniería Industrial por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad. A mi director de tesis, Ing. Alcides Napoleón García Flores, a mi tutor de tesis, Ing. Ángel Guamán Lozano, por el esfuerzo y dedicación mostrado por ambos, quienes, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

A mis padres Francisco e Isolina por haberme comprendido en todo momento. A mis hermanos por la paciencia y generosidad. Familiares y amigos por su apoyo y comprensión

Ever

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.1.1. <i>Antecedentes de los desechos sólidos en el Ecuador</i> .....	2
1.1.2. <i>Antecedentes del SMSS-GADMP</i> .....	2
1.2. Planteamiento y análisis del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. <i>Justificación teórica</i> .....	4
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i> .....	4
1.3.3. <i>Justificación práctica</i> .....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Sistema logístico.....	6
2.1.1. <i>Evolución histórica de la logística</i> .....	6
2.2. Investigación operativa.....	6
2.2.1. <i>Evolución de la investigación operativa</i> .....	7
2.3. Programación lineal.....	7
2.4. Programación matemática.....	7
2.5. Problemas de optimización.....	8

<b>2.6.</b>	<b>Modelos de programación matemática</b> .....	9
<b>2.7.</b>	<b>Elementos de un modelo matemático</b> .....	9
<b>2.7.1.</b>	<i>Variables de decisión y parámetros</i> .....	9
<b>2.7.2.</b>	<i>Restricciones</i> .....	9
<b>2.7.3.</b>	<i>Función objetivo</i> .....	10
<b>2.8.</b>	<b>Google Maps</b> .....	10
<b>2.9.</b>	<b>Java</b> .....	10
<b>2.10.</b>	<b>Localhost</b> .....	10
<b>2.11.</b>	<b>Problemas de planeación de rutas</b> .....	11
<b>2.11.1.</b>	<i>Problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP)</i> .....	11
<b>2.11.2.</b>	<i>Formulación del problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP)</i> .....	11
<b>2.11.3.</b>	<i>Problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP)</i> .....	13
<b>2.11.4.</b>	<i>Modelo matemático del problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP)</i> .....	13
<b>2.11.5.</b>	<i>Agente viajero TSP</i> .....	14
<b>2.11.6.</b>	<i>Mochila múltiple</i> .....	17
<b>2.12.</b>	<b>Algoritmo</b> .....	17
<b>2.12.1.</b>	<i>Complejidad de un algoritmo</i> .....	17
<b>2.13.</b>	<b>Complejidad P y NP</b> .....	18
<b>2.14.</b>	<b>Metaheurística</b> .....	19
<b>2.15.</b>	<b>Métodos de resolución</b> .....	19
<b>2.15.1.</b>	<i>Búsqueda tabú</i> .....	20
<b>2.15.2.</b>	<i>Colonia de Hormigas (ACO)</i> .....	22
<b>2.15.3.</b>	<i>Simulated Annealing (Recocido simulado)</i> .....	27
<b>2.15.4.</b>	<i>Algoritmo heurístico Vecino más cercano</i> .....	28
<b>2.16.</b>	<b>Contabilidad</b> .....	29
<b>2.17.</b>	<b>Costos de operación</b> .....	29
<b>2.17.1.</b>	<i>Fundamentos de costos y gastos</i> .....	29
<b>2.18.</b>	<b>Tipos y Clasificación de los costos</b> .....	30
<b>2.18.1.</b>	<i>Costos directos e indirectos</i> .....	30
<b>2.18.2.</b>	<i>Costos primos y de conversión</i> .....	30
<b>2.18.3.</b>	<i>Costos para informes financieros</i> .....	31
<b>2.18.4.</b>	<i>Costos de producto y costos de período</i> .....	31
<b>2.19.</b>	<b>Importancia de los costos</b> .....	31
<b>2.20.</b>	<b>Clasificación de los gastos en la empresa</b> .....	31



## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	32
<b>3.1.</b>	<b>Descripción general del proceso</b> .....	32
<b>3.1.1.</b>	<i>Enfoque de la investigación</i> .....	32
<b>3.1.2.</b>	<i>Tipos de investigación</i> .....	32
<b>3.2.</b>	<b>Métodos lógicos, Técnicas e instrumentos para la recolección de datos</b> .....	32
<b>3.2.1.</b>	<i>Métodos lógicos</i> .....	32
<b>3.2.2.</b>	<i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	33
<b>3.2.3.</b>	<i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	33
<b>3.3.</b>	<b>Resultados de la entrevista</b> .....	33
<b>3.4.</b>	<b>Análisis de los Problemas de rutas</b> .....	34
<b>3.4.1.</b>	<i>Análisis del problema Agente viajero (TSP)</i> .....	34
<b>3.5.</b>	<b>Análisis de métodos utilizados para el desarrollo del TSP</b> .....	35
<b>3.5.1.</b>	<i>Análisis del Algoritmo colonia de hormigas ACO</i> .....	35
<b>3.5.2.</b>	<i>Análisis del algoritmo Búsqueda Tabú</i> .....	38

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>Desarrollo del sistema de rutas</b> .....	40
<b>4.1.</b>	<b>Descripción del área de estudio</b> .....	40
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de la situación actual</b> .....	40
<b>4.2.1.</b>	<i>Generalización del problema</i> .....	41
<b>4.2.2.</b>	<i>Características del vehículo</i> .....	44
<b>4.2.3.</b>	<i>Características del contenedor de basura</i> .....	45
<b>4.3.</b>	<b>Costo actual de recolección</b> .....	45
<b>4.4.</b>	<b>Propuesta</b> .....	55
<b>4.5.</b>	<b>Desarrollo del algoritmo colonia de hormigas (ACO)</b> .....	57
<b>4.5.1.</b>	<i>Parámetros utilizados</i> .....	62
<b>4.6.</b>	<b>Desarrollo del algoritmo búsqueda Tabú</b> .....	62
<b>4.6.1.</b>	<i>Proceso de programación</i> .....	63
<b>4.7.</b>	<b>Resultados de la programación</b> .....	63
<b>4.7.1.</b>	<i>Comparación de resultados expuestos por los algoritmos Colonia de Hormigas y Búsqueda Tabú</i> .....	63
<b>4.8.</b>	<b>Propuesta de nuevas rutas</b> .....	64
<b>4.8.1.</b>	<i>Horario de rutas de recolección propuesta</i> .....	67
<b>4.8.2.</b>	<i>Resumen de distancias</i> .....	68

<b>4.9. Análisis de costo operativo propuesto .....</b>	<b>69</b>
<b>4.10. Costo estimado.....</b>	<b>72</b>
<b>4.11. Producción estimada de desecho sólidos .....</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Desarrollo histórico de la Investigación Operativa .....	7
<b>Tabla 2-2:</b> Evolución del TSP .....	14
<b>Tabla 3-2:</b> Ventajas e inconvenientes que expone el métodos metaheurístico .....	19
<b>Tabla 4-2:</b> Matriz, distancia de ciudades .....	23
<b>Tabla 5-2:</b> Matriz heurística.....	23
<b>Tabla 6-2:</b> parámetros .....	24
<b>Tabla 7-2:</b> Rutas y distancias .....	26
<b>Tabla 8-2:</b> Matriz de feromonas.....	27
<b>Tabla 1-3:</b> Escala de consideración.....	34
<b>Tabla 2-3:</b> Método de solución .....	34
<b>Tabla 3-3:</b> Métodos de solución.....	35
<b>Tabla 1-4:</b> Contenedores de Basura en la ciudad.....	41
<b>Tabla 2-4:</b> Cantidad de contenedores.....	44
<b>Tabla 3-4:</b> Características del vehículo recolector .....	44
<b>Tabla 4-4:</b> Detalles del Contenedor de Basura.....	45
<b>Tabla 5-4:</b> Detalle de costos.....	45
<b>Tabla 6-4:</b> Rutas de recolección.....	53
<b>Tabla 7-4:</b> Generación de Desechos sólidos .....	54
<b>Tabla 8-4:</b> Distribución de contenedores .....	55
<b>Tabla 9-4:</b> Geolocalización de contenedores .....	57
<b>Tabla 10-4:</b> Parámetros .....	62
<b>Tabla 11-4:</b> Rutas Colonia de Hormigas, Búsqueda Tabú.....	64
<b>Tabla 12-4:</b> Horario de rutas propuesta.....	67
<b>Tabla 13-4:</b> Resumen de distancias.....	68
<b>Tabla 14-4:</b> Costos de recorrido del sistema logístico .....	70
<b>Tabla 15-4:</b> Costos de recorrido del sistema logístico .....	71
<b>Tabla 16-4:</b> Costo estimado .....	72
<b>Tabla 17-4:</b> Costo estimado actual vs propuesto.....	73
<b>Tabla 18-4:</b> Pronóstico .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Problema del agente viajero en un grafo G.....	15
<b>Figura 2-2:</b> Variante del TSP según la dirección del recorrido .....	16
<b>Figura 3-2:</b> Relación entre los problemas N, NP, NP completo, NP duro.....	19
<b>Figura 4-2:</b> Técnicas de optimización.....	20
<b>Figura 5-2:</b> Algoritmo Búsqueda Tabú simple .....	22
<b>Figura 6-2:</b> Hormigas y transferencia de datos .....	22
<b>Figura 7-2:</b> Grafo .....	24
<b>Figura 8-2:</b> Grafo .....	25
<b>Figura 9-2:</b> Algoritmo SA.....	28
<b>Figura 10-2:</b> Algoritmo del vecino más próximo .....	28
<b>Figura 11-2:</b> Clasificación de Costos Primos y de conversión .....	30
<b>Figura 1-3:</b> Pseudocódigo Algoritmo Colonia De Hormigas .....	36
<b>Figura 2-3:</b> Pseudocódigo tabú .....	39
<b>Figura 1-4:</b> Zona de estudio.....	40
<b>Figura 2-4:</b> Ruta 1.....	46
<b>Figura 3-4:</b> Ruta 2.....	47
<b>Figura 4-4:</b> Ruta 3.....	48
<b>Figura 5-4:</b> Ruta 4.....	49
<b>Figura 6-4:</b> Ruta 5.....	50
<b>Figura 7-4:</b> Ruta 6.....	51
<b>Figura 8-4:</b> Ruta 7.....	52
<b>Figura 9-4:</b> Ruta 8.....	53
<b>Figura 10-4:</b> Zonificación de rutas.....	56
<b>Figura 11-4:</b> Código Matriz .....	58
<b>Figura 12-4:</b> Código asignación de parámetros .....	59
<b>Figura 13-4:</b> Posibles rutas .....	59
<b>Figura 14-4:</b> Selección De Rutas Por Hormiga.....	60
<b>Figura 15-4:</b> Formulación de probabilidad .....	60
<b>Figura 16-4:</b> Formulación de probabilidad .....	61
<b>Figura 17-4:</b> Ruta final.....	61
<b>Figura 18-4:</b> Rutas .....	63
<b>Figura 19-4:</b> Ruta 1 Propuesta .....	65
<b>Figura 20-4:</b> Ruta 2 Propuesta .....	66
<b>Figura 21-4:</b> Ruta 3.....	67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Probabilidad.....	25
<b>Gráfico 2-2:</b> Probabilidad.....	26
<b>Gráfico 1-4:</b> Resumen de contenedores por calle .....	43
<b>Gráfico 2-4:</b> Diagrama de flujo ACO .....	58
<b>Gráfico 3-4:</b> Diagrama de flujo búsqueda tabú .....	62
<b>Gráfico 4-4:</b> Distancias, algoritmo búsqueda tabú vs colonia de hormigas .....	64
<b>Gráfico 5-4:</b> Sistema de ruta actual vs propuesta.....	69
<b>Gráfico 6-4:</b> Costo estimado actual vs propuesto .....	73

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: FORMATO DE RECOLECCIÓN**

**ANEXO B: ENCUESTA**

## RESUMEN

El presente proyecto aborda la temática del ruteo de vías de los camiones recolectores de basura del GAD Municipal cuyo objetivo se enfoca en reducir los costos operativos mediante la optimización de rutas, debido al alto índice de basura generada en la población y los gastos producidos por la recolección de estos, para ello se ha realizado un análisis preliminar de campo recopilando información en el GAD Municipal de Pastaza, para el respectivo análisis se ha empleado herramientas que permita recopilar información, estas son la entrevistas y la utilización de información de libros físicos y digitales, empleando métodos como análisis deductivo e investigativo se determinó que el problema converge en la estructura del sistema de rutas y como consecuencia de ello el costo del proceso de recolección se ve agravado por consiguiente se desarrolló una aplicación para mejorar la red de recolección. El método utilizado para el desarrollo del estudio es el problema del Agente Viajero (TSP) aplicando los algoritmos metaheurísticos Colonia de Hormigas (ACO) y Búsqueda Tabú, para facilitar el desarrollo de los métodos mencionados se utilizó la aplicación JAVA (Lenguaje de programación), basado en los resultados de la programación cuyas respuestas son factibles de manera que mejoran el sistema de recolección se ha seleccionado el sistema con mayor relevancia basados en su aplicación, solución, tiempo de solución y Resultados siendo este el algoritmo colonia de hormigas (ACO), partiendo del sistema logístico se permitió el desarrollo de un análisis de costos detallando los gastos que progresivamente los vehículos recolectores han sosteniendo consecuencia de una circulación errónea a fin de exponer el ahorro que se mantendrá si se utiliza las rutas propuestas, aplicando el método mencionado se logró optimizar 32,8557 km semanales en los recorridos realizados por los recolectores con ello se economizó el 9,8% de sus gastos actuales. Se recomienda la utilización del programa para la realización de nuevas rutas y mantener un sistema eficaz.

**Palabras clave:** <OPTIMIZACIÓN LOGÍSTICA>, <COSTOS DE OPERACIÓN>, <RECORRIDO MÍNIMO>, <ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS>, <LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN>.



## **ABSTRACT**

This project addresses the theme of the routing of roads of the garbage collection trucks of the Municipal GAD whose objective is to reduce operating costs by optimizing routes, due to the high rate of garbage generated in the population and the expenses incurred by the collection of these, for this purpose a preliminary analysis of the field has been carried out collecting information in the Municipal GAD of Pastaza, for the respective analysis tools have been used to collect information, these are the interviews and the use of information from physical and digital books, using methods such as deductive and research analysis it was determined that the problem converges in the structure of the route system and as a result the cost of the collection process is aggrieved therefore an application was developed to improve the collection network. The method used for the development of the study is the problem of the Traveling Agent (TSP) applying the metaheuristic algorithms Ant Colony (ACO) and Taboo Search, to facilitate the development of the aforementioned methods the JAVA application (Programming Language) was used, based on the results of the programming whose responses are feasible in such a way that improve the collection system has been selected the system with greater relevance based on its application , solution, solution time and Results being this the ant colony algorithm (ACO), starting from the logistics system allowed the development of a cost analysis detailing the expenses that progressively collecting vehicles have sustained as a result of erroneous circulation in order to expose the savings that will be maintained if the proposed routes are used, using the above method, it was possible to optimize 32,8557 km per week on the tours carried out by the collectors with this saving 9.8% of your current expenses. It is recommended that the program be used to carry out new routes and maintain an effective system.

**Keywords:** <LOGISTIC OPTIMIZATION>, <OPERATION COSTS>, <MINIMUM ROUTE>, <METAHEURISTIC ALGORITHMS>, <PROGRAMMING LANGUAGE>.



## INTRODUCCIÓN

A medida que pasa el tiempo la logística ha evolucionado gradualmente su origen se remonta a épocas de guerra por aquel entonces aplicado como estrategia militar, progresivamente ha trascendido en el ámbito empresarial generando un gran impacto, sobresaliendo su utilización en mantener un proceso eficaz mediante una distribución controlada de abastecimiento cubriendo áreas que requieren total coordinación y control, garantizando la reducción en sus costos operativos.

Con la aparición de la globalización el comercio a nivel mundial se ha extendido a gran escala, los países que presentan demandas en el mercado internacional han provocado que empresas lleguen a competir por la acogida de sus servicios, en caso de concretarse un acuerdo entre empresa y cliente estas tienen como prioridad la entrega inmediata de sus productos, por ello han creado rutas comerciales que a más de ser un medio estratégico para el transporte de productos es un medio de ahorro en la inversión logística, rutas que no simplemente han sido establecidas aleatoriamente si no que conlleva el estudio de varios factores que podrían afectar su distribución, para el ahorro de tiempo en el desarrollo de un modelo eficaz de transporte han optado por la utilización modelos matemáticos combinándolos con tecnología informática para la resolución de problemas logísticos, en ello se puede mencionar al método del Agente Viajero que desarrollado mediante algoritmos metaheurísticos ha sido utilizado en la resolución de problemas de transporte debido a la eficiencia que brinda en sus sistemas de rutas.

A nivel nacional sea este en el sector público o privado el empleo de métodos de optimización ha evitado el despilfarro de recursos económicos de las empresas, mediante el eficaz ruteo de vehículos y a través de un análisis de costos las empresas pueden dar a conocer gastos excesivos e innecesarios que se podría estar generando, pues de ello también depende el incremento de su valor en ventas o servicio.

Hoy en día la logística como medio estratégico para el ahorro en cuanto a transporte se refiere mantiene una acogida favorable en el ámbito empresarial y esto lo ha logrado por desarrollar procesos eficaces y controlados obteniendo ahorros en el aporte logístico permitiéndoles invertir valores mínimos en la distribución de productos.

El presente estudio se enfoca en el diseño de una aplicación mediante algoritmos metaheurísticos utilizando el lenguaje de programación JAVA con lo cual se ha procedido al desarrollo de un sistema eficaz en las operaciones logísticas permitiendo la reingeniería del sistema logístico de los vehículos recolectores en la zona urbana del GAD Municipal de Pastaza por consiguiente se detalla un análisis de costos con el fin de dar a conocer la reducción de gastos de operación obtenidos por el modelo anteriormente expuesto.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

##### *1.1.1. Antecedentes de los desechos sólidos en el Ecuador*

Alrededor del año 2002 obteniendo el patrocinio de la OPS/OMS se realiza un estudio Sectorial de Residuos Sólidos del Ecuador con la finalidad de brindar el respectivo apoyo en la gestión de los desechos sólidos, sosteniendo complicaciones en un principio al no contar con información suficiente de las diferentes regiones del Ecuador, eventualmente en el mes de abril del 2010 se crea el Programa Nacional para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS) con el objetivo de apoyar a las diferentes provincias en temas de manejo de residuos sólidos a través de proyectos y planes, sosteniendo un enfoque integral y sostenible, generando concientización en beneficio de los habitantes de cada provincia y el medio ambiente, simultáneamente este programa realizaba a los municipios el artículo 55 del COOTAD donde expresa la obligación, que los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales mantienen en cuanto al manejo de los desechos sólidos (Ministerio del Ambiente, 2019).

##### *1.1.2. Antecedentes del SMSS-GADMP*

El GAP Municipal Del Cantón Pastaza ubicado en la ciudad de Puyo en conjunto con el departamento de servicios municipales y sociales ha conllevado el proceso de recolección de los desechos sólidos de la ciudad a través de camiones recolectores desde los años 1995, realizando su recorrido en zonas específicamente urbanas, años después con el crecimiento exponencial de la población se ven en la obligación de maximizar sus recorridos a zonas rurales de la ciudad a fin de prever el impacto ambiental que podría producirse, es por ello que incorpora nuevas unidades de carga posterior para su debida recolección, a finales del año 2017 a petición de la ciudadanía y en base a un estudio realizado adquieren un vehículo recolector hidráulico de carga lateral con el objetivo de mitigar la falta de compromiso de la ciudadanía en cuanto a sacar a tiempo la basura.

Hoy en día La ciudad de Puyo genera básicamente un promedio de 49,83 toneladas diarias y 17938 toneladas anuales de residuos sólidos el 89.6% de los desechos se debe a los residuos domiciliarios, el 10,4% se genera en el sector industrial y comercial siendo estos orgánicos e inorgánicos de todo ello el 3.6% es aprovechable (GAD Municipal, 2019), es por esto que el departamento de Higiene y Salubridad ha ido innovando y mejorando el servicio de recolección

con la finalidad de mantener una ciudad limpia acatando las ordenanzas impuestas por el ministerio del ambiente.

## **1.2. Planteamiento y análisis del problema**

El incremento exponencial del consumismo ha generado que la recolección de residuos y su destino final en la provincia de Pastaza aumente, en base a ello el GAD municipal pretende tomar medidas necesarias que permitan el abastecimiento de recolección de los desechos sólidos en toda la ciudad.

El proyecto surge en base a la necesidad de mejorar el sistema de recolección debido al inconveniente que se presenta al instante de efectuar la recolección de los desechos sólidos, tal problemática se debe a la carencia de un sistema de rutas óptimo es decir a la falta de poseer una herramienta que les permita decidir las rutas viables para realizar los recorridos correspondientes, esta falta de coordinación ha generado que los recolectores realicen viajes innecesarios, llegando a circular reiteradamente los punto de recolección ya visitados provocando el despilfarro de combustible y el aumento en su costo de recolección en consecuencia ha dificultado cubrir el recorrido planificado de tal forma que ha ocasionado que los residuos no sean tratados a tiempo y que muchas veces no lleguen al destino final, cabe mencionar que tal problemática ha provocado que la ciudadanía opte por deshacerse de los residuos aplicando procesos que afectan al medio ambiente por medio de incineración de los residuos, arrojando a terrenos baldíos, echando a los ríos o dejar sus desperdicios al intemperie conllevando a que animales se acerquen a la basura y las esparzan por las calles, por consiguiente la propagación de mosquitos y el mal olor ha sido el resultado de ello con lo cual los habitantes de la ciudad no adquieren el compromiso ambiental que lograrían si contaran con un servicio eficiente y comprometido, por otra parte el mal diseño de rutas también conlleva al aumento en los costos de recolección afectando a la parte financiera de la Institución, en vista que existe un desperdicio de combustible por viajes innecesarios, mantenimiento repetitivo de los vehículos, gastos en llantas, sueldos mal invertidos todo ello conlleva a un déficit presupuestario.

Es por esta realidad que afecta a la ciudad de Puyo, se decide focalizar el Proyecto, a solucionar este problema actual de recolección aumentando la cantidad de residuos recolectados con el mínimo costo, utilizando métodos de optimización de rutas y herramientas de programación tales como JAVA se establecerá rutas óptimas llegando a disminuir los costos de operación.

### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Justificación teórica***

El área logística ha predominado en el ámbito empresarial permitiendo ser utilizada en diversas operaciones. Por ende, tal campo es sumamente importante debido al control que mantiene, tal control se debe a la aplicación de modelos matemáticos mediante programación para resolución de problemas, como resultado son los modelos eficientes que brindan dichas aplicaciones proporcionando facilidad en el desarrollo de las operaciones logísticas tales como ruteo eficaz de los vehículos, almacenamiento en puntos estratégicos, coordinación de horario, etc. Manteniendo con ello un ahorro en sus operaciones.

El presente estudio se realiza a fin de exponer que los sistemas logísticos eficaces se pueden desarrollar empleando métodos para resolver problemas mediante algoritmos metaheurísticos de tal forma que se puede evidenciar la reducción en sus costos operativos, a través de su respuesta eficaz se pretende demostrar que las aplicaciones de estos métodos mejoran la calidad de servicio de las empresas.

#### ***1.3.2. Justificación metodológica***

Para el desarrollo del proyecto se ha empleado un enfoque cualitativo y cuantitativo debido al estudio de campo realizado en el cual se podrá conocer las variables que influyen en el estudio, con ello se podrá utilizar la metodología que nos brinda la investigación operativa y logística, aplicando el problema del agente viajero (TSP) y algoritmos metaheurísticos como colonia de hormigas (ACO) y Búsqueda Tabú (TS), procesados en el lenguaje de programación Java se pretende garantizar el ahorro en los costos de operación.

#### ***1.3.3. Justificación práctica***

La presente investigación se ha desarrollado con el fin de facilitar a la Institución una herramienta que permita optimizar las operaciones logísticas en el proceso de recolección de los desechos sólidos que lo realizan en zona céntrica de la ciudad del Puyo, a través del diseño de un modelo de programación aplicando modelos matemáticos se puede dar a conocer las rutas más óptimas disminuyendo las distancias de los recorridos, con el fin de reducir sus costos de operación y en base a los resultados proponer cambios necesarios para mantener un buen sistema logístico.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Desarrollar un modelo de Optimización logística de las rutas de recolección de los desechos sólidos en la zona urbana del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pastaza a fin de reducir el costo operativo.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Analizar el sistema actual de recolección de desechos sólidos del GAD Municipal para delimitar el problema.
- Desarrollar un modelo que optimice las rutas de los recolectores aplicando el problema del agente viajero (TSP) mediante los algoritmos metaheurístico colonia de hormigas (ACO) y Búsqueda Tabú a fin de minimizar costos de operación.
- Seleccionar la mejor ruta propuesta por el desarrollo de los algoritmos aplicando el lenguaje de la programación JAVA a fin de presentar un modelo estratégico de recolección.
- Realizar un análisis de costos en base al modelo logístico con la finalidad de observar el ahorro por los cambios realizados.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Sistema logístico

Las actividades empresariales se remontan a partir de tiempos antiguos agrupándose en grandes áreas tales como, producción, almacenamiento y distribución física, teniendo una relación mutua entre ellos. Actualmente la logística agrupa estas áreas en forma coordinada, abarcándola en la planificación, organización y el control de todas las actividades relacionadas con la obtención, traslado y almacenamiento de productos, desde su punto inicial hasta el final del proceso, cuya finalidad se centra en la satisfacción de las necesidades con el mínimo costo (Casanovas y Cuatrecas 2003, pp.17-18).

##### 2.1.1. *Evolución histórica de la logística*

El área logística abarca su principal función como estrategia militar en la segunda guerra mundial para luego ser utilizada en el campo empresarial, en base a la expansión del mercado que surge en aquella época y la competitividad que estas tenían a nivel global se vieron envueltos en la necesidad de implementar medios por las cuales llevaran sus productos con el mínimo coste, siendo así la logística el campo que lograría abarcar un control en la distribución de sus respectivos productos, a causa de la segunda guerra mundial, época la cual había generado un gran impacto a la parte económica de los países involucrados estos se veían en la obligación de minimizar sus costos de operación, es por ello que nace la utilización de la logísticas y sus técnicas innovadoras que con el tiempo ha generado que el sector empresarial lleve un control adecuado en la distribución o procesos de sus productos (Casanovas y Cuatrecas, 2003, pp.20-22).

#### 2.2. Investigación operativa

La investigación de operaciones surge en base a los retos que el hombre se ha propuesto a realizar debido al cambio global que cada día se encamina en un ascenso transcendental, el área de investigación operativa, consiste en aplicar técnicas y herramientas de tal manera que se pueda mantener un control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina), generando las posibles soluciones factibles a fin de reducir problemas localizados por los mismos (Montufar et al., 2018, p.7)

### 2.2.1. Evolución de la investigación operativa

La idea de plasmar los problemas en modelos matemáticos en base a los diferentes inconvenientes que puede surgir en una empresa ha sido fomentada desde tiempos históricos y con ello la evolución de las mismas ha sido expuesta con análisis de diferentes científicos, pero la primera oleada de este gran descubrimiento se adentra en la segunda guerra mundial época la cual llevó al descubrimientos de nuevos métodos que les permita ganar tiempos al igual que ganar la guerra, la segunda guerra mundial un momento en la historia en la cual la investigación operativa es utilizada como táctica y estrategia militar por los norteamericanos y británicos con la finalidad de desplegar sus tropas, el despliegue de radares, la navegación y convoyes la forma correcta de desplegar sus operaciones militar fue fundamental para la victoria de esta guerra y parte de esta contribución se abarca a la investigación operativa (Ríos et al., 2004, p.16).

**Tabla 1-2:** Desarrollo histórico de la Investigación Operativa

SIGLO	INVESTIGADOR (ES)	TRABAJO
XVIII	François Quesnay	Economía
XIX	Jordan, Minkowskin, Farkas	Modelos lineales
XX	A.K. Erlang	Probabilidades y estadísticas

Fuente: Ríos et al., 2004, pp.16-18

Realizado por: Sixto Ríos, 2004

### 2.3. Programación lineal

A mediados del siglo XX hasta la fecha actual la programación lineal ha sido considerada como un descubrimiento realmente extraordinario, debido al progreso que ha conllevado consigo, el ahorro de dinero de grandes empresas a nivel global en países industrializados, esto se debe al rol que ha abarcado la programación, asignando de manera óptima los recursos a las actividades que compiten en el mercado mundial. Dicho de otra manera, la programación lineal abarca globalmente al campo de producción y esto se debe a la aplicación modelos matemáticos para la toma de decisiones factibles en la inversión y planeación (Ruiz y Vidal, 2016, pp.38-39).

### 2.4. Programación matemática

De acuerdo a lo planteado por kong (2010, p.17), los problemas de programación matemática para la optimización mantienen un modelo de la forma:

$$\text{Maximizar (o minimizar) } y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Restricciones

$$g_1(x_1, \dots, x_n) \quad \{\leq, =, \geq\} \quad b_1$$

$$g_2(x_2, \dots, x_n) \quad \{\leq, =, \geq\} \quad b_2$$

$$g_m(x_m, \dots, x_n) \quad \{\leq, =, \geq\} \quad b_m$$

Donde  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $g_1(x_1, \dots, x_n)$ ,  $g_m(x_m, \dots, x_n)$ , son variables que dependen de  $n$  valores numéricos,  $x_1, x_2, \dots, x_n, b_1, \dots, b_m$  son valores que no varían, en cada restricción de acuerdo al problema a desarrollar estos tienden a aplicar los signos,  $\leq, =, \geq$ , (Kong, 2010, p.17).

Los  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , forman el conjunto del problema satisfaciendo las restricciones denominados soluciones factibles del problema, y  $x$  viene a hacer el conjunto de factibilidad (Kong, 2010, p.17).

Aquellas variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , vienen a hacer números reales, a la vez son considerados programas matemáticos conocidos como programación entera cuyas variables ocupan solamente valores enteros (Kong, 2010, p.17).

## 2.5. Problemas de optimización

Para resolver problemas de optimización se tiene en cuenta un conjunto de datos, estos a la vez son traducidos a ecuaciones matemáticas obteniendo un modelo de optimización lo cual conlleva una función objetivo está a la vez mantiene variables dependientes (maximización y minimización) que se desea encontrar.

Según Ruiz y Vidal (2016, p.42) dado un conjunto  $x$  con una función que otorga a  $x$  un valor  $f(x)$  y al estimar un máximo se procede a encontrar  $x_o$  de  $x$  mediante las limitaciones:

$$f(x) \leq f(x_o) \text{ para todo } X \text{ de } X$$

Para un mínimo, un  $x_1$  de  $x$  debe cumplir

$$f(x_1) \leq f(x) \text{ para todo } X \text{ de } X$$

Su estructura abreviada se expresada de la forma:

$$f(x_o) = \text{Max}f(x), f(x_1) = \text{Min}f(x)$$

Los elementos que contiene el conjunto  $x$  vienen a representar los recursos que conlleva el problema y  $f(x)$  se define como el valor de dicho recurso es decir su función objetivo  $x$ , un ejemplo de ello es el costo, tiempo, cantidad de producción, etc. (Ruiz y Vidal, 2016, p.42).



El conjunto  $x$  se representa a través de restricciones, definiendo sus elementos y algoritmos, describiendo la obtención de los elementos de  $x$ , en caso que el problema no concluya con soluciones se debe a la carencia de elementos del conjunto  $x$  o porque a la función  $f(x)$  se le imposibilita tomar valores mínimos o máximos (Ruiz y Vidal, 2016, p.42).

## **2.6. Modelos de programación matemática**

Kong (2010, p.20) establece que para resolver los problemas de optimización se formula un modelo matemático en base al problema en estudio para luego dar solución al mismo, de la siguiente forma:

- Se establece la cantidad (variables de salida) que se requiere optimizar y las variables de decisión (entrada)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , expresándola como modelo matemático.
- Se expresan las restricciones (condiciones o requisitos) que delimitan a la variable de decisión.
- Asignar condiciones adicionales que no necesariamente se presenta de forma explícita, cuya condición tienen que llevarse a cabo en el problema planteado, dicho de otra forma, si determinados factores que inciden en la toma de decisión deben tomar términos iguales a cero o términos enteros.

Planteado el modelo matemático se resuelve el problema empleando herramientas de optimización, hallando su resultado óptimo en caso de existir una solución factible (Kong, 2010, p.20).

## **2.7. Elementos de un modelo matemático**

### **2.7.1. Variables de decisión y parámetros**

Las variables de decisión son incógnitas que una vez resuelta la operación matemática el gerente tiene la posibilidad de elegir de acuerdo a su criterio, a diferencia de los parámetros que en el modelo matemático son las constantes que restringen en cada operación es decir aquellos valores conocidos que no se puede cambiar (G.D et al., 2000, p.13).

### **2.7.2. Restricciones**

Las restricciones, es la relación existente entre las variables de decisión y los medios disponibles, es decir las restricciones son aquellas que limitan las variables a valores factibles (Enciclopedia financiera. s.f. p.1).

### **2.7.3. Función objetivo**

Es el modelo matemático el cual será optimizado una vez detallado todos sus elementos tales como restricciones, parámetros y variables, aplicando la programación lineal (Enciclopedia financiera. s.f. p.1).

## **2.8. Google Maps**

Google Maps es aquella herramienta tecnológica que nos permite visualizar con detalle la localización de ciertos puntos que se precisa obtener, afirmando con precisión direcciones mediante coordenadas que involucran la latitud y longitud, tal información podemos aplicar al desarrollo de problemas de optimización que requieran como dato las coordenadas utilizando programas como Matlab, C++, java entre otras (La república, 2019).

## **2.9. Java**

Java es un lenguaje de programación ideado por James Gosling, Patrick Naughton, Chris Warth, Ed Frank y Mike Sheredian, desarrollado en Sun Microsystems, iniciaron con la primera versión denominada "Oack", más tarde con la aparición de World wide web fue impulsada al diseño de nuevos lenguajes de programación debido a la exigencia de programas portables. El programa mantiene una relación con el lenguaje de C++, la intención de dichos programadores fue desarrollar un código neutro la cual podía ser leída en cualquier PC con ello se desarrolló el código llamado bytecode, código ejecutado en una máquina virtual llamada Java Virtual Machine (JVM), máquina cuya respuesta daba como descifrado el código Neutro y transformándola a código particular en la CPU utilizada (Cardona et al., 2008, p.22).

A pesar de que su diseño se aplicaba en electrodomésticos, su alcance a nivel de programación es el más utilizado debido a las múltiples creaciones que se puede desarrollar mediante la programación.

## **2.10. Localhost**

Localhost (huésped local) es una base virtual cuya dirección IP 127.0.0.1 permite la utilización de herramientas TCP/IP (páginas web) las cuales no requiere conexión a internet, un servidor gratuito muy conocido en el mundo de la programación utilizado para realizar pruebas de proyectos de programación como bloqueo de sitios web específicos, una página web local cuyo acceso es restringido debido a que solo el programador podrá utilizarlo en su computadora, una de las características del sitio es que permite ser utilizado también como un contenedor para el almacenamiento de información para luego ser utilizado en programas con JavaScript (Pascual, 2016).

## **2.11. Problemas de planeación de rutas**

En el año 1959 inicia el estudio de Problemas de enrutamiento de vehículos (VRP) con la publicación del libro “The Truck Dispatching Problem” por Dantz y Ramser, quienes crean una aplicación relacionada con la entrega de gasolina a las diferentes estaciones de servicio, mediante una formulación matemática, con ello surge la generalización del problema clásico del Agente viajero (TSP) cuyo problema radica en que el vendedor debe realizar un recorrido visitando a sus diferentes clientes una solo vez por diversas rutas sin regresar por el mismo lugar hasta llegar a su punto de partida (Hernández, 2016, p.19).

Cabe mencionar que para los problemas de rutas se pueden aplicar diferentes métodos cuyo objetivo abarca encontrar la ruta óptima con el mínimo costo para ello existen diversos métodos para su desarrollo.

### ***2.11.1. Problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP)***

El problema de rutas con capacidad (CVRP) mantiene como características lo siguiente: Abarca un grupo de clientes (nodos o puntos de llegada) distribuidos geográficamente manteniendo una cierta distancia conocida, a la vez cada uno de estos clientes serán visitados por uno o diversos vehículos cuyo objetivo primordial será satisfacer la demanda de los mismos, partiendo de un punto de abastecimiento ilimitado (Arias, 2010, p.53).

Al agregar diferentes restricciones al CVRP, estos vienen a genera diversas problemáticas debido a la combinación de muchas características, las cuales podemos mencionar: ventanas de tiempo (el cliente puede ser considerado en tiempos variados durante el día), 11plit delivery (el cliente puede ser atendido por más de un vehículo), pick-up and delivery (además de entregar mercancía, también se puede recoger). No obstante, sin importar las variables que se pueden incluir el propósito que se plasmará la resolución del problema será la siguiente pregunta ¿cuál es la ruta que genera menor costo en su recorrido? (Mendoza y Cullay, 2018, p.14).

### ***2.11.2. Formulación matemática del problema de enrutamiento de vehículos capacitados (CVRP)***

Dado el grafo  $G = (V, E)$  donde  $V$  representa el conjunto de nodos o llegadas, y  $E$  es el conjunto de arcos o rutas que los conectan,  $C = (c_{ij})$  viene a hacer una matriz de costos de tamaño  $N \times N$  integrado al conjunto de arcos  $E$ , donde cada arco tiene asociado un costo  $c_{ij}$  (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.11).

El objetivo es encontrar una matriz  $X = (x_{ijk})$  de tamaño  $N \times N \times M$ , donde las variables binarias  $x_{ijk}$  indican si el arco  $(i, j)$  se utiliza en la solución para ser visitado por  $k$  (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.11).

Función objetivo:

$$\min \sum_{i=0} \sum_{j=0} \sum_{k=0} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

Ecuación 1: Limita la salida de vehículos desde el origen con un máximo de  $M$  vehículos, es decir,  $1 \leq k \leq M$  (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.11).

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N x_{ijk} \leq M \quad i = 0$$

Ecuación 2 y 3: Plantea que un vehículo llegue a visitar y dejar un solo cliente (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.11).

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in [1, N]$$

$$\sum_{k=1}^M x_{ijk} = \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in [1, M]$$

Ecuación 4: Establece que los vehículos no excedan su volumen, donde  $D$  es un arreglo de la forma  $(p_i)$  que especifica la demanda de cada cliente  $i$  y  $F$  es un arreglo de la forma  $(P_k)$  que contiene los datos de capacidad máxima de los vehículos (Arias, 2010, p.61).

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=0}^N p_i \cdot x_{ijk} \leq P_k \quad \forall k \in [1, M]$$

Ecuación 5: Plantea la falta de sub-rutas (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.12).

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall ij \in [1, N]$$

$$\forall k \in [1, M]$$

### 2.11.3. Problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP)

El problema de enrutamiento de arcos capacitados conocido en sus siglas como CARP, basa su atención en la satisfacción de los clientes localizados en rutas específicas mediante una flota homogénea de vehículos quienes tienen como punto de partida un depósito de suministro. El objetivo del problema es abastecer toda la demanda del recorrido con el mínimo costo, teniendo en cuenta que los vehículos de transporte no excedan su capacidad de carga (Martínez, 2011, p.44).

### 2.11.4. Modelo matemático del problema de enrutamiento de arco capacitado (CARP)

Los problemas de ruteo de arcos son representados mediante grafos  $G=\{V, E \cup A\}$  siendo  $V$  el conjunto de vértices o nodos,  $E$  el conjunto de pares no ordenados  $\{i,j\}$  de vértices de  $V$  o aristas y  $A$  el conjunto de pares ordenados  $\{i,j\}$  de vértices de  $V$  o arcos, un grafo  $G$  es dirigido cuando el conjunto  $E$  es vacío, es no dirigido cuando  $A$  es vacío y mixto, si ambos conjuntos son no vacíos. El costo  $c_{ij}$  de recorrer una arista de  $E$  es positivo (Martínez, 2011, p.45).

La función objetivo

$$\text{Minimizar } \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} \sum_{k \in K} x_{ijk}$$

Bajo restricciones de cumplir con las demandas de las aristas por un solo vehículo.

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad (i,j) \in R$$

Disponibilidad de vehículos

$$\sum_{j \in V_r - \{0\}} \sum_{k \in K} x_{0jk} = |K|$$

Disponibilidad de carga de los vehículos

$$\sum_{(i,j) \in R} q_{ij} x_{ijk} \leq Q \quad k \in K$$

Restricciones de igualdad

$$\sum_{j \in V_r} x_{ijk} = \sum_{j \in V_r} x_{ijk} \quad i \in V_r, k \in K$$

Eliminación de sobre recorridos

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \notin S} x_{ijk} \geq \sum_{j \in V} x_{hjk} \quad S \subseteq V_r - \{0\}, k \in K, h \in S$$

Continuidad de vehículos

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (i,j) \in R, k \in K$$

### 2.11.5. Agente viajero TSP

TSP por sus siglas en inglés (Travelling Salesmen Problem) es un modelo matemático denominado problema del agente viajero cuya técnica es la más relevante en la rama de la ingeniería en cuanto a planeación de rutas.

Con una reseña anónima de su origen y es que ningún autor se atribuye como creador del TSP, varios autores aplicaron este caso para sobrellevar a una mejora en los problemas de ruteo, haciendo su aparición en el año 1832 como guía para agentes viajeros titulado “el viajante de comercio”, con el objetivo de dar a conocer los ingresos y triunfos que se puede obtener en los negocios, en base a ello la universidad de Harvard empieza a profundizar el tema encabezado por Merrill Flood, a la vez la universidad de Viena con Karl Menger, apareciendo "Shortest Hamiltonian Path" (Camino Hamiltoniano corto, en español) de Karl Menger en 1930. . En 1954 en la publicación del artículo Solution of a large scale traveling-salesman, por Dantzing, expone la solución del TSP para 49 ciudades de cada estado de EE. UU, aportando un gran avance al estudio de la investigación del TSP por consiguiente investigadores y matemáticos comienzan la innovación de algoritmos que permitan resolver problemas de mayor magnitud (Muños, 2007, p.16).

En la Tabla 2-2 se muestra la evolución del problema del agente viajero (TSP) en los últimos años.

**Tabla 2-2:** Evolución del TSP

Año	Investigador	Ciudades
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson, S. Johnson	49
1971	M. Held, R.M. Kar	57
1971	M. Held, R.M. Karp	64
1975	P.M. Camerini, L. Frantta, F Maffioli	67
1975	P. Miliotis	80
1980	H. Crowder y M. W, Padberg	318
1987	M. Pardberg y G. Rin	532
1987	M. Grotschel y O. Holland	666
1987	M. Pardberg y G. Rinaldi	1002
1987	M. Pardberg y G. Rinaldi	2392
1992	Vasek Chvátal y William J.Cook	3038
1998	Vasek Chvátal y William J.Cook	13509
2001	Vsek Chvátal y William J.Cook	15122
2004	Vasek Chvátal y William J.Cook	24978
2006	Vasek Chvátal y William J.Cook	85900

Fuente: Hernández, 2016

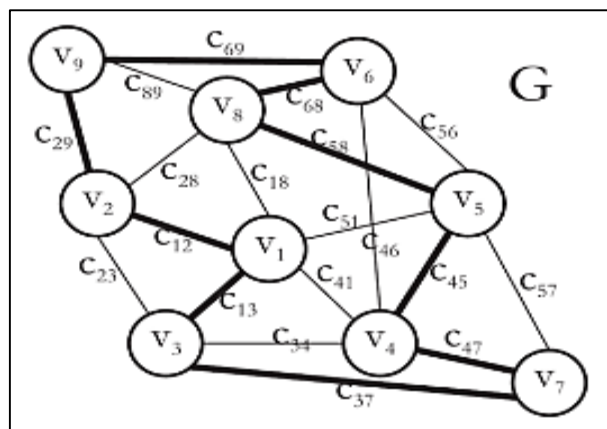
Realizado por: Yimy Hernández, 2016

2.11.5.1. *Expresión matemática*

El TSP se puede expresar como un grafo no dirigido de la siguiente forma:

$$G = \{V, E, C\}$$

Siendo V representado como el conjunto de vértices es decir cada una de las ciudades que van a hacer visitadas, E el conjunto de aristas representada como las rutas entre ciudades y C representado como el coste del viaje lo cual viene expresado como  $C_{ij}$ . Podemos suponer que cada ciudad se encuentra conectada por medio de una arista, con ello  $c_{ij} \in C$ , asociando a las aristas  $(i, j) \in E$  representando el costo entre las ciudades  $i, j \in V$  (Muños, 2007, p.16).



**Figura 1-2:** Problema del agente viajero en un grafo G

Realizado por: Muños, A. 2007

Para representar el trayecto del camino más corto se debe realizar en forma cíclica es decir una sucesión de aristas  $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k)$  de manera que el vértice final  $a_k$  coincidirá con el vértice inicial de la siguiente  $a_1$  a este ciclo se lo denomina como ciclo Hamiltoniano (Arias, 2010; Citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.12).

Existiendo varios planteos matemáticos, la forma de representar este problema es:

Se determina una variable X, de manera que:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si llega de la ciudad } i \text{ a la ciudad } j. \\ 0, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

$x_{ij}$ = variable de decisión, representa el enlace o ausencia de la ruta (i,j)

Arias (2015, p.40) establece que  $C_{ij}$  hace referencia a la distancia entre la ciudad i-j teniendo en cuenta la cantidad de n nodos posibles que tendrá, el objetivo del problema será la minimización, siendo la expresión para el TSP:

Minimizar

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Donde  $C_{ij} = \infty$  para  $i=j$

Bajo restricciones:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (2)$$

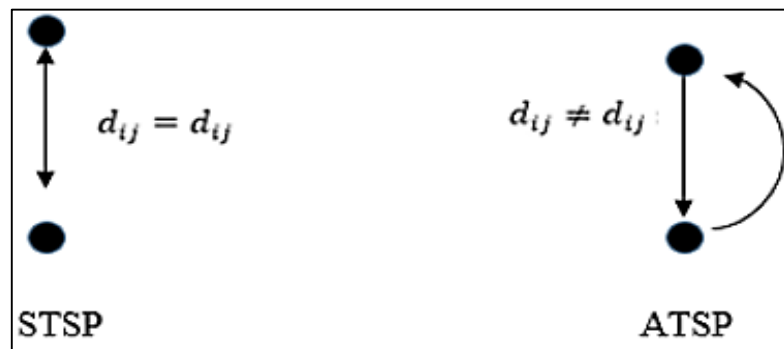
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \forall i, j \quad (4)$$

Dichas restricciones mencionadas señalan la cuantía en visitas a un destino. La restricción (3) asevera que las salidas a cada ciudades  $1, \dots, n$ , se encamine a otra ciudad asignada y la restricción (4) asevera que un viaje que se realice disponga con una salida en cada ciudad” (Arias, 2015, p.41).

#### 2.11.5.2. Representación del TSP simétrico y asimétrico

El TSP puede ser representado por un grafo tipo  $G = (N, A)$  donde  $N$  son los sitios donde se llegara  $(i, j)$  y  $A$  los arcos que unen a los puntos de  $N$ . Al ser  $G$  un grafo no dirigido este viene a hacer un STSP (agente viajero simétrico), lo cual quiere decir que las distancia de salida como de regreso del recorrido son iguales  $d_{ij} = d_{ji}$  y es asimétrico cuando sucede lo contrario es decir las distancias de salida como de regreso no coinciden  $d_{ij} \neq d_{ji}$  (Arias. 2015; citados en Mendoza y Cullay, 2018, p.17).



**Figura 2-2:** Variante del TSP según la dirección del recorrido

Realizado por: Mendoza y Cullay, 2018



### 2.11.5.3. *Aplicaciones del TSP*

La aplicación del agente viajero TSP mantiene un trayecto muy amplio en cuanto a su aplicación, efectuado con el propósito de ofrecer soluciones óptimas a los problemas de investigación mediante métodos y algoritmos, el realce de la aplicación del problema del TSP se ha asignado en el área logística siendo esta aprovechada en las áreas que requieran total coordinación, dichas áreas son referentes al recorrido de los vehículos transportando usuarios, mercancía o a la misma vez materia prima con el mínimo coste (Mendoza y Cullay, 2018, p.19).

### 2.11.6. *Mochila múltiple*

El problema de la mochila múltiple consiste en:

“Dado n objetos, cada uno con un peso  $w_j$  y un valor  $v_j$ , se debe seleccionar el conjunto de objetos cuyo valor total sea máximo, sin exceder un peso máximo  $W$ ” (Duarte et al., 2007, p. 19).

Problema representado mediante un vector  $[x_1, \dots, x_n]$ , donde  $x_i$  viene representado por un objeto  $i$  cuyo valor identifica si el objeto ha sido seleccionado tal caso viene hacer 1 y en caso presentar lo contrario el valor viene hacer 0.

De acuerdo con Duarte et al. (2007, p. 19), la ecuación del problema se representa del siguiente modo:

$$kp = \begin{array}{l} \max: \sum_{i=1}^n vixi \\ \text{s. a.,} \\ \sum_{i=1}^n wixi \leq W \end{array}$$

## 2.12. **Algoritmo**

Un algoritmo es un procedimiento computacional, tomando como valores mediante un conjunto de datos llamados entradas con ello desarrolla cálculos que produce valores como salida, la utilización y elección de un algoritmo se basa en el desarrollo rápido que pueda realizar al instante de resolver un problema (Chávez, 2017, p.41).

### 2.12.1. *Complejidad de un algoritmo*

Al instante de requerir la aplicación de un algoritmo como fuente de resolución de un problema se requiere que este brinde soluciones rápidas y a la vez que el mismo sea aplicable para diferentes problemas que se pretenda que resolver, es por ello que se debe tener en cuenta lo siguiente:

Enfoque para el rendimiento de un algoritmo:

Análisis empírico: Se basa en cómo procede el algoritmo en la práctica, una vez experimentado en uno de los problemas (Mendoza y Cullay, 2018, p.19).

Inconvenientes: la solución que puede tener un algoritmo se basa en las habilidades del programador y las herramientas que este utilice, realizar un análisis empírico requiere tiempo, debido a la complejidad de los problemas que se pueda asignar (Mendoza y Cullay, 2018, p.19).

Análisis de caso promedio: Mediante un proceso matemático se estima el promedio de pasos que necesita un algoritmo, en base a los problemas y técnicas para la ejecución del algoritmo (Mendoza y Cullay, 2018, p.19).

Inconveniente: El estudio generalmente suele ser dificultoso matemáticamente y el estudio depende de la clase de probabilidad que se aplique y ello conlleva su dificultad en los problemas de la práctica, la existencia de algoritmos con un rendimiento promedio estadístico es escaso (Mendoza y Cullay, 2018, p.19).

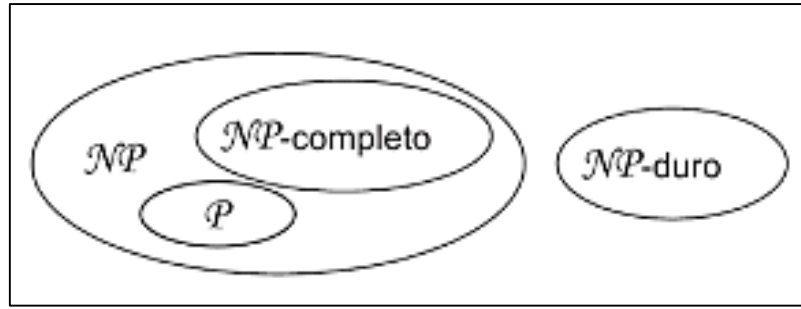
### **2.13. Complejidad P y NP**

Los problemas se caracterizan atendiendo la dificultad de resolución mediante un ordenador, se ha dividido estos problemas en varias clases tales como P, NP, NP-completo y NP-duro.

Los problemas se pueden resolver en un tiempo polinómico cuando el tiempo de solución del algoritmo se relaciona con el tamaño de entrada con una fórmula polinómica, si existe un algoritmo de forma polinómica se define como P, siendo esta ejecutable de forma rápida sin novedad alguna. Los problemas P también son problemas NP aduciendo que un valor es solución en tiempo polinómico aplicando un algoritmo que pueda resolver dicho problema y comparar el resultado con el valor obtenido (Duarte et al., 2007, p.9).

El problema llamado NP-completo el cual no cuenta con un algoritmo que pueda resolver el problema en tiempo polinómico, aunque esta definición se encuentra en debate, pero científicos creen que no existe, pero ello no quiere decir que no sea ejecutable y es que mediante otros algoritmos se puede dar solución al problema NP-completo (Duarte, et al, 2007, p.10).

Otro tipo de problema es el considerado NP-duro el cual no existe algoritmo alguno para este problema, aunque no haya sido demostrando matemáticamente inexistente, se puede dar cuenta con el simple hecho de que para el problema NP-completo se necesita otro algoritmo que pase como respuesta del NP-completo, y para el NP-duro se necesitaría un algoritmo NP-completo que pase como respuesta del NP-duro (Duarte et al., 2007, p.11)



**Figura 3-2:** Relación entre los problemas N, NP, NP completo, NP duro

Realizado por: Duarte et al., 2007

#### 2.14. Metaheurística

El término metaheurística se deriva de la palabra griega meta que “significa más allá de un nivel superior” y heurística que se puede traducir como encontrar, descubrir o hallar, expuesto por F. Glover en los años 1986. El Propósito de Glover fue definir un método de alto nivel que guiara o modificara las heurísticas, existiendo diferentes definiciones en cuanto al termino heurístico pero la que más resalta es la descrita por J.P Kelly el cual describe a la metaheurística como “clase de métodos aproximados diseñados con el propósito de dar óptimas soluciones a problemas difíciles de optimización combinatoria en los cuales la heurística clásica no es aplicable”, generalizando que la heurística proporciona un marco general para crear nuevos algoritmos” (Duarte et al., 20017, pp.2-4).

Según Mendoza y Cullay (2018, pp.21-22) en la aplicación de la metaheurística existen inconvenientes y ventajas como se detalla a continuación:

**Tabla 3-2:** Ventajas e inconvenientes que expone el métodos metaheurístico

Ventajas	Inconvenientes
Algoritmo cuyo propósito es general	Los algoritmos no presentan resultados exactos sino aproximados no exactos
En la práctica mantienen una rapidez de ejecución de los programas, siendo estas muy utilizadas	Proporcionan resultados probabilísticos
Flexibilidad en la implementación en cuanto a programas	Su base teórica es escasa

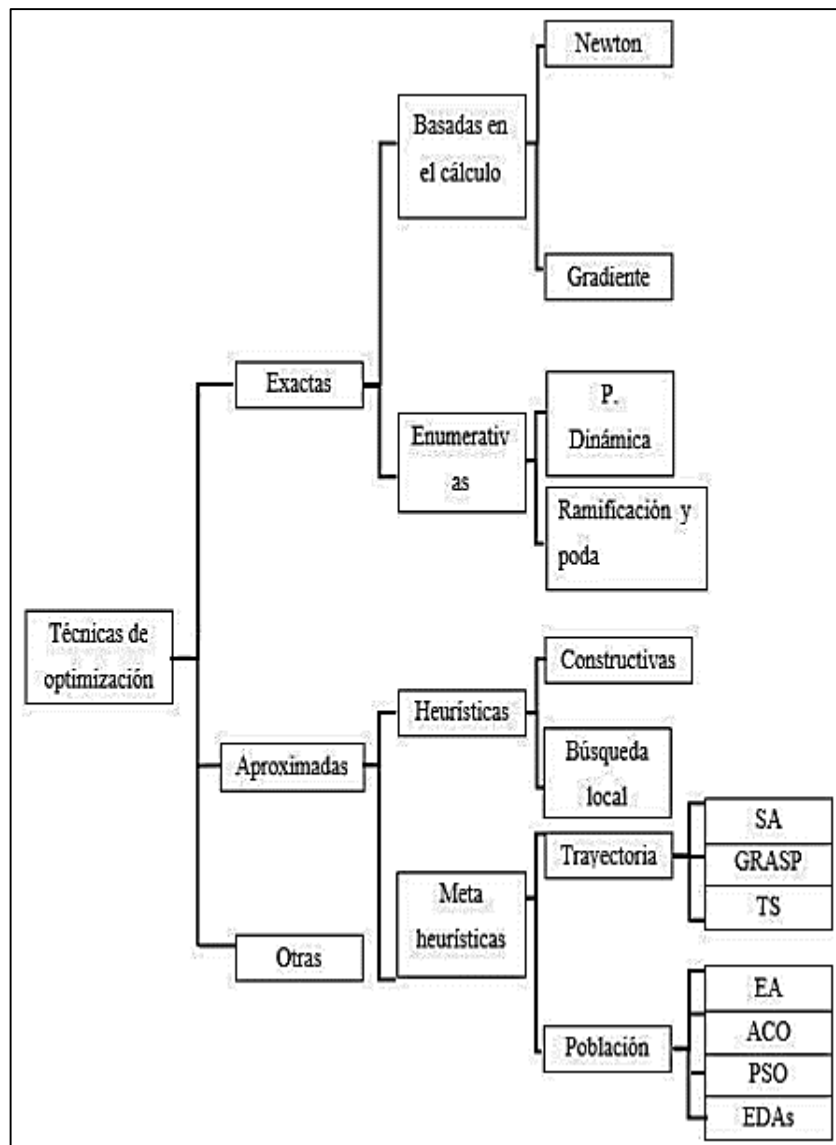
Fuente: Mendoza y Cullay, 2018, pp.21-22

Realizado por: Mendoza y Cullay, 2018

#### 2.15. Métodos de resolución

Para resolver todo tipo de problemas en cuanto a optimización, podemos encontrar varios de ellos los cuales tienen su clasificación para su respectivo desarrollo.

En la figura (4-2) se puede visualizar la clasificación de los respectivos métodos con su clasificación en el cual describe los métodos basado en el cálculo, enumerativas, heurísticas y metaheurística (Mendoza &, Cullay, 2018, p. 22).



**Figura 4-2:** Técnicas de optimización

Elaborado por: Revuelta Martínez, 2015

### 2.15.1. Búsqueda tabú

La búsqueda tabú (TS) es una Técnica metaheurística que aparece en los años 1989, cuya metodología se debe al autor Fred Glover, esta técnica puede ser utilizada en cualquier tipo de problemas, su proceso se basa en el concepto de memoria con inteligencia artificial, lo cual permite llegar al objetivo manteniendo la historia de la misma (Martin y Valeiras, 2004, p.27).

El principio del TS se basa en que si se toma una mala decisión en un problema esa misma puede ser útil para realizar mejoras en dicho problema buscando con ello la mejor solución debido al sistema de memoria artificial que maneja, este algoritmo almacena información clasificándolos como prohibidos o Tabú generando candidatos vecinos, si un candidato no es Tabú y mejora el problema entonces aquello pasa a ser la solución y lo contrario sucede cuando es Tabú el candidato es rechazado (Tuya et al., 2007, p.301).

#### 2.15.1.1. *Estructura de búsqueda Tabú*

Uso de memoria: Una característica de la búsqueda tabú es que utiliza una estructura basada en memoria cuya finalidad es escapar de los óptimos locales, en los que podría caer al trasladarse de una solución a otra (Riojas, 2005, pp.39-40).

Existen dos tipos de estructuras usadas, tales son:

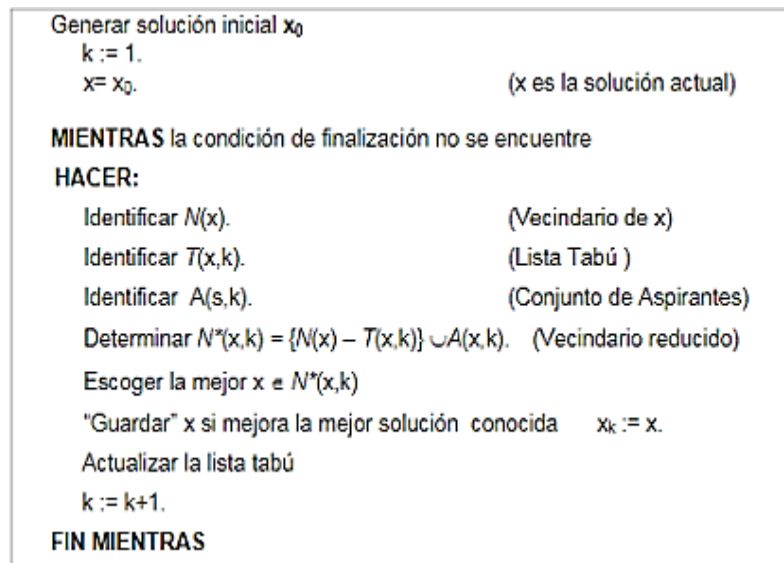
**Explícita:** Esta estructura se enfoca en agrupar todas las soluciones una vez realizada la búsqueda, esta solución es llamada como élite que vienen a hacer el óptimo local.

**Atributos:** Estructura que guarda información de soluciones pasadas con el fin de servir como guía para la búsqueda.

Glover y Melián (2003, pp.29-48) establecen que la estructura de búsqueda tabú opera de la en base a las siguientes dimensiones:

- Calidad: Escoge la mejor solución en base a la cualidad de cada solución.
- Influencia: Se basa en la elección de acuerdo al impacto que genera en cada opción seleccionada.
- Corto plazo (lo reciente): Recopila información de movimientos realizados en las últimas instancias permitiendo no caer nuevamente en el sitio ya recorrido.
- Largo plazo (lo frecuente): Mediante la recopilación de información que se a recabado en primeras instancias permite ampliar la selección de movimientos.

### 2.15.1.2. Algoritmo Búsqueda Tabú

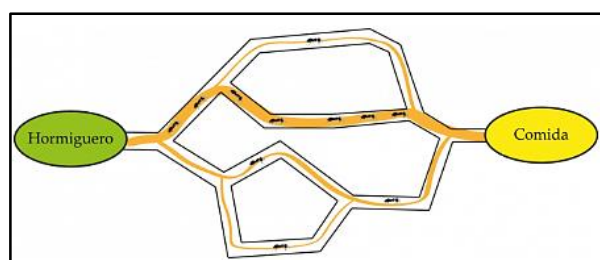


**Figura 5-2:** Algoritmo Búsqueda Tabú simple

Elaborado por: Riojas, 2005

### 2.15.2. Colonia de Hormigas (ACO)

El algoritmo colonia de hormigas se basa en el comportamiento que las hormigas mantienen al trasladarse de un lugar a otro en la vida real, estas para recoger sus alimentos y llegar a su nido se guían por medio de feromonas de manera que una hormiga sale del nido y aleatoriamente sigue su camino de manera que deja en el trayecto un rastro de feromona cuya finalidad es que la siguiente hormiga que salga esta pueda detectarla, en caso de detectar la feromona la segunda hormiga repotencia esta feromona impidiendo la evaporación, en cambio si el camino es demasiado largo y otra hormiga no ha localizado esta llega a evaporarse, mientras más feromona tenga el trazo la elección de elegir el camino se incrementa.



**Figura 6-2:** Hormigas y transferencia de datos

Elaborado por: Peris, 2016

#### 2.15.2.1. Variantes colonia de Hormigas aplicada al TSP

Las variantes que se pueden presentar en la metaheurística van de acuerdo al problema que se presenta, estas variantes son las actualizaciones de feromonas para construir un camino.

Marco Dorigo propuso tres versiones diferentes (Colomi y Vittorio, 1996, pp.29-41):

- La primera ha sido catalogada en tres metodologías llamadas: Ant-density, Ant quantity y Ant cycle, las cuales procedían a actualizar las feromonas inmediatamente, una vez que se trasladaban del punto i al punto j, la tercera metodología se basa en la actualización de las feromonas al término de su desplazamiento.
- La segunda nace en los años 1997 la cual se denomina EAS (Elistists Ant System). Cuyo método consiste en dar el mayor peso si la hormiga genera una trayectoria y costo mínimo.
- Luego de la aparición del EAS, se publica la versión Based Ant System, dicha investigación sostiene que la hormiga deposita una cantidad de feromona que de acuerdo al rango esta va decreciendo.

#### 2.15.2.2. Ejemplo de aplicación de las variantes ACO

En el siguiente ejemplo se tomará como referencia cuatro ciudades las cuales serán visitadas una sola vez comenzando y regresando a su punto de partida.

A continuación, se establece la matriz de distancia

**Tabla 4-2:** Matriz, distancia de ciudades

Ciudades dij	1	2	3	4
1	0	2	3	1
2	1	0	2	1
3	2	1	0	4
4	2	2	1	0

Fuente: Revuelta, 2015

Realizado por: Tama revuelta, 2015

En base a la distancia se procede a hallar su heurística de cada termino lo cual corresponde a la

inversa de las distancias  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

**Tabla 5-2:** Matriz heurística

Ciudades dij	1	2	3	4
1	0	0,5	0,33	1
2	1	0	0,5	1
3	0,5	1	0	4
4	0,5	0,5	1	0

Fuente: Revuelta, 2015

Realizado por: Tama revuelta, 2015

## Recorrido de la hormiga k=1

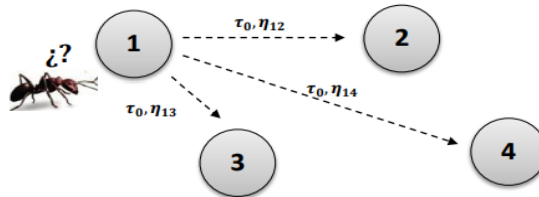
Para realizar el recorrido de las hormigas se ha tomado los siguientes parámetros

**Tabla 6-2:** parámetros

Algoritmo ACO	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	$\tau_0$
Ant system	1	3	0,5	1

Fuente: Revuelta, 2015, p.75

Realizado por: Tama revuelta, 2015



**Figura 7-2:** Grafo

Realizado por: Revuelta, 2015, p.76

$$P_{12}^1 = \frac{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{12})^\beta}{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{12})^\beta + (\tau_0)^\alpha + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{13})^\beta + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{14})^\beta}$$

$$= \frac{(1)^1 \cdot (0,5)^3}{(1)^1 \cdot (0,5)^3 + (1)^1 \cdot (0,333)^3 + (1)^1 \cdot (1)^3} = 0,1076$$

$$P_{14}^1 = \frac{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{14})^\beta}{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{12})^\beta + (\tau_0)^\alpha + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{13})^\beta + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{14})^\beta}$$

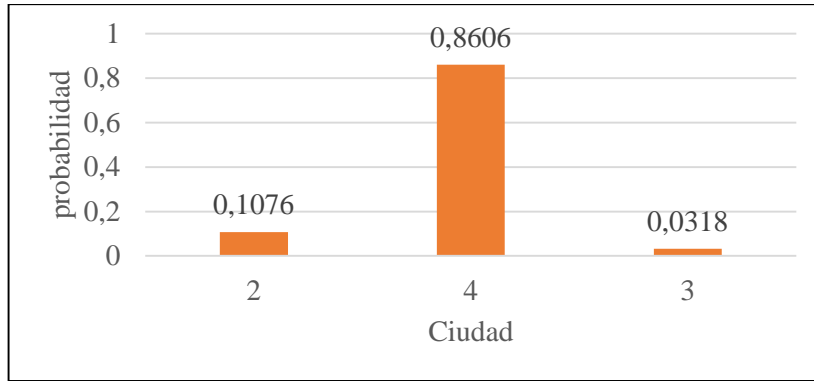
$$= \frac{(1)^1 \cdot (1)^3}{(1)^1 \cdot (0,5)^3 + (1)^1 \cdot (0,333)^3 + (1)^1 \cdot (1)^3} = 0,8606$$

$$P_{13}^1 = \frac{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{13})^\beta}{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{12})^\beta + (\tau_0)^\alpha + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{13})^\beta + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{14})^\beta}$$

$$= \frac{(1)^1 \cdot (0,333)^3}{(1)^1 \cdot (0,5)^3 + (1)^1 \cdot (0,333)^3 + (1)^1 \cdot (1)^3} = 0,0318$$

Aplicamos la probabilidad acumulada tomando un número aleatorio cuyo valor será la ruta por donde la hormiga transite. Número aleatorio 0,7957



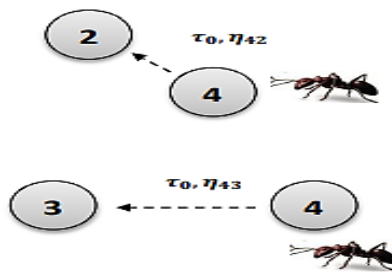


**Gráfico 1-2:** Probabilidad

Realizado por: Villamarin, 2019

A partir del Gráfico 1-2 se puede observar que la hormiga  $k=1$  visitara la ciudad 4

Una vez hallado la primera visita de la ciudad por la hormiga se procede a realizar el mismo procedimiento anterior a partir de la ciudad actual es decir la ciudad 4, con lo cual las ciudades restantes por visitar son la ciudad 2-3



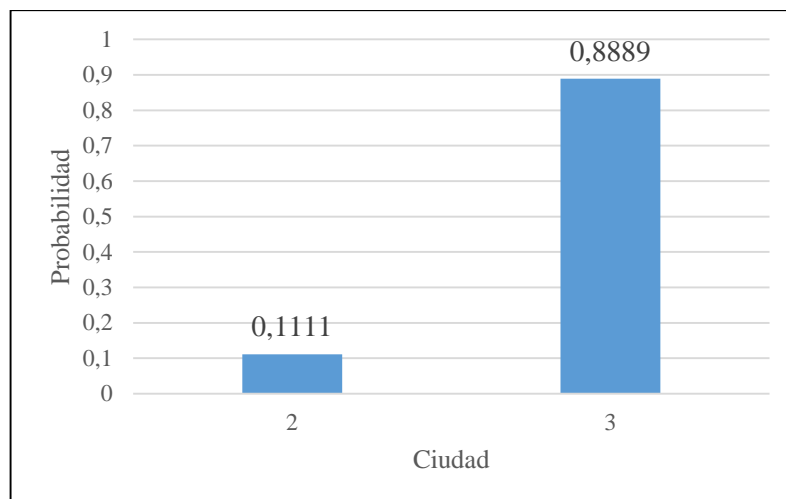
**Figura 8-2:** Grafo

Realizado por: Revuelta, 2015, p.79

$$P_{42}^1 = \frac{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{42})^\beta}{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{42})^\beta + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{43})^\beta} = \frac{(1)^1 \cdot (0,5)^3}{(1)^1 \cdot (0,5)^3 + (1)^1 \cdot (1)^3} = 0,1111$$

$$P_{43}^1 = \frac{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{43})^\beta}{(\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{42})^\beta + (\tau_0)^\alpha \cdot (\eta_{43})^\beta} = \frac{(1)^1 \cdot (1)^3}{(1)^1 \cdot (0,5)^3 + (1)^1 \cdot (1)^3} = 0,8889$$

Una vez más se procede a calcular la probabilidad acumulada generando con ello un numero aleatorio, en este caso será 0,4874



**Gráfico 2-2: Probabilidad**

**Realizado por:** Tama revuelta, 2015

A partir del Gráfico 2-3 se puede observar que la ciudad que la hormiga  $k=1$  visitara es 3

Una vez visitadas las dos ciudades la última ciudad por visitar es la 2 cerrando el recorrido con su punto de partida la ciudad 1.

Por último, la ruta que la hormiga  $k=1$  realiza es la siguiente:  $T^1 = 1-4-3-2-1$

Distancia que genera la ruta:  $C^1 = d_{14} + d_{43} + d_{32} + d_{21} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$

Como el número de hormigas fijadas para el ejercicio fue 4, se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito con las siguientes tres hormigas. Obteniendo como resultado la siguiente Tabla 7-2

**Tabla 7-2: Rutas y distancias**

Hormigas	$T^k$	$C^k$
1	1-4-3-2-1	4
2	1-4-2-3-1	7
3	1-4-3-2-1	4
4	1-4-3-2-1	4

**Fuente:** Revuelta, 2015, p. 82

**Realizado por:** Tama revuelta, 2015

Una vez realizado el recorrido de todas las hormigas se procede a realizar la actualización de feromonas de la primera iteración,

$$\tau_{14}^2 = (1 - \rho)\tau_{14}^1 + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{14}^{1k} = (1 - 0,5)x1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{7} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1,3929$$

En la Tabla 7-2 observamos la secuencia de las rutas tomadas por las hormigas en donde también se aprecia que el recorrido de la ciudad 1-2 no presenta visitas por ninguna hormiga, siendo su actualización de la siguiente manera.

$$\tau_{12}^2 = (1 - \rho)\tau_{12}^1 + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{14}^{1k} = (1 - 0,5)x1 + 0 = 0,5$$

El proceso se realiza para todos los arcos pertenecientes al grafo, generando con ello una nueva matriz con feromonas (Tabla la cual será utilizada para realizar la iteración 2).

**Tabla 8-2:** Matriz de feromonas

$\tau_{ij}$	1	2	3	4
1	0	0,5	0,5	1,3929
2	1,25	0	0,6429	0,5
3	0,5	1,25	0	0,5
4	0,5	0,6429	1,25	0

Fuente: Revuelta, 2015, p.82

Realizado por: Tama revuelta, 2015

En la Tabla 11-3 se puede apreciar que los arcos con menor longitud mantienen una cantidad de feromonas elevadas.

### 2.15.3. Simulated Annealing (Recocido simulado)

El recocido se basa en el temple de ciertos metales mediante la alteración de la temperatura muy por encima de su punto de fusión y luego enfriándose lentamente, produciendo metales cristalinos de alta calidad (Pérez, 2017, p.37).

La simulación del proceso de recocido se describe como la generación de soluciones de un problema de optimización combinatoria, cuyo proceso proporciona soluciones con el avance del proceso, se pueda observar la analogía entre un problema físico y un problema de optimización de modo que el estado que mantienen los materiales viene a hacer las soluciones del problema planteado, la energía de un estado al coste de la solución y la temperatura al parámetro de control (Pérez, 2017, p.37).

Según Martin y Valeiras, (2004, p.23) la ejecución del algoritmo sigue la siguiente analogía:

- Solución del problema, correspondiendo al estado del sistema.
- El Criterio de calidad, basado en la energía que cuentan los estados.

- El estado del sistema es fundamental para una resolución óptima.
- Los óptimos locales pertenecerán a los estados meta-estables.
- Para la temperatura se establecerá un parámetro de control.

### 2.15.3.1. Algoritmo SA

```

Entrada: Una instancia  $x$  de  $P$ 
Paso 1: Sea  $M(x)$  el conjunto de todas las
posibles soluciones de la entrada  $x$ .
Se calcula o selecciona aleatoriamente una solución factible
inicial  $\alpha \in M(x)$ .
Seleccionar una temperatura inicial  $T$ 
Seleccionar una función  $f$  del tiempo y de  $T$  (función de
reducción de temperatura)
Paso 2:  $I := 0$ 
Mientras  $T > 0$  hacer
  Seleccionar arbitrariamente  $\beta \in V_x(\alpha)$ 
  Si  $cost(\beta) \leq cost(\alpha)$ , entonces  $\alpha := \beta$ 
  En otro caso generar un número aleatorio  $r$  en
  el rango  $(0, 1)$ 
  Si  $r < e^{-\frac{cost(\beta) - cost(\alpha)}{T}}$ 
  Entonces  $\alpha := \beta$ 
  fin
   $I := I + 1$ 
   $T := f(T, I)$ 
fin
Paso 3: Salida  $\alpha$ 

```

**Figura 9-2:** Algoritmo SA

Elaborado por: Martín y Valeiras, 2004

### 2.15.4. Algoritmo heurístico Vecino más cercano

Es uno de los algoritmos más sencillos para el problema del agente viajero, el cual construye un ciclo hamiltoniano de bajo costo en base a la elección del vértice más corto, este algoritmo traza su trayecto de manera que empieza en un punto a partir de ello escoge el camino más cercano a partir de su segundo punto este escoge nuevamente el camino más corto y así sucesivamente recorre el trayecto hasta llegar hasta su destino final y regresar a su destino de origen (Maldonado, 2013, p.43).

```

Inicialización
Seleccionar un vértice  $j$  al azar.
Hacer  $t = j$  y  $W = V \setminus \{j\}$ 
Mientras  $(W \neq \emptyset)$ 
Tomar  $j$  de  $W / c_{tj} = \min\{c_t \text{ en } W\}$ 
Conectar  $taj$ 
Hacer  $W = W \setminus \{j\}$  y  $t = j$ 

```

**Figura 10-2:** Algoritmo del vecino más próximo

Elaborado por: Maldonado, 2013

Este algoritmo genera rápidamente una trayectoria, pero no ideal.

Los pasos que sigue este algoritmo para realizar su trayecto se basa de la siguiente forma:

- Escoge un nodo arbitrario con respecto al nodo actual.
- Selecciona la arista que mantiene un menor peso el cual se encuentra conectada a otro nodo que no ha sido visitado.
- El nodo llega a ser visitado por lo que a partir de ello nuevamente realiza el ciclo de selección hasta visitar todos los nodos.

Este proceso de selección no es eficiente en cuanto que al final pueden terminar recorriendo distancias aún mayores que las planeadas.

## **2.16. Contabilidad**

La historia de la contabilidad es tan antigua como la historia de la humanidad tomando gran fuerza en el mundo occidental, con el pasar del tiempo llega a hacer de gran importancia a nivel mundial en el ámbito empresarial debido a la necesidad que empresas mantienen al realizar una cuantificación o contabilizar el patrimonio que poseen (Vásquez et al., 2005, pp.17-20).

La contabilidad es un sistema de información la cual recopila datos procesándola para posteriormente adaptarlos a informes detallados coherentes y pertinentes, frente a la necesidad de tomar decisiones (Vásquez et al., 2005, pp.17-20).

## **2.17. Costos de operación**

Los costos de operación son los gastos que se realizan por concepto de funcionamiento, mantenimiento, y administración del sistema, es decir aquellos gastos que directa e indirectamente intervienen en las actividades, este gasto se mantiene mientras esté en funcionamiento el sistema dicho de otra manera es la verificación del comportamiento económico que conlleva una operación (Casas, 2002, p.37).

### **2.17.1. Fundamentos de costos y gastos**

Cuevas D (2002, p.29) define a los costos y gastos de la siguiente manera:

- **Costos:** Son las salidas de productos es decir es la materia prima que se adquiere con el fin de ser procesada para posteriormente adquirir una utilidad por la venta del producto.
- **Gastos:** Son los pagos que se deben realizar para realizar un proceso.
- **Sobrecostos:** Materiales adquiridos a sobre precio, sobrepasar el presupuesto planeado.

- **Control de costos:** Son las herramientas que se utilizan para evitar gastos considerados como innecesarios.
- **Costo óptimo:** es el costo adecuado para realizar ventas inexistiendo en ello fugas o mermas.

## 2.18. Tipos y Clasificación de los costos

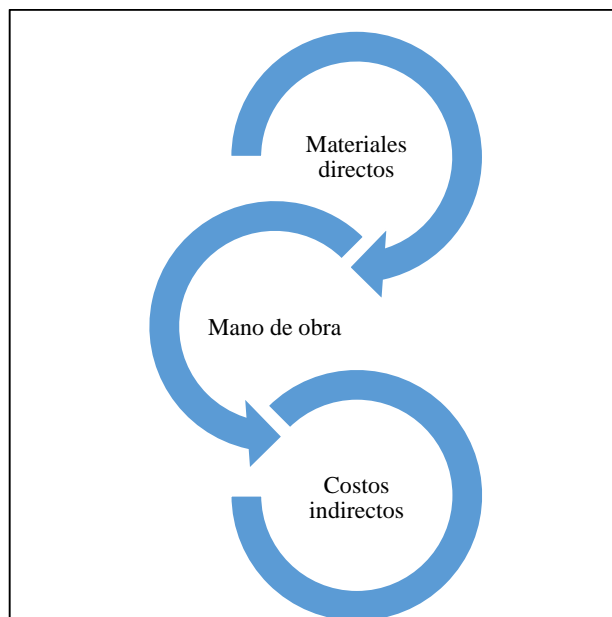
La clasificación de costos puede variar de acuerdo al trabajo a desarrollarse su valor monetario se mide en dólares cuyo valor es la cantidad que se paga por bienes o servicios, su clasificación se basa de acuerdo a lo que se requiere medir planteándose de la siguiente manera (Boulanger y Espinoza, 2007, p.213).

### 2.18.1. Costos directos e indirectos

Básicamente los costos se relacionan directa e indirectamente con un objeto. Los costos directos son conocidos como aquellos que pueden ser identificados fácilmente es decir aquellos que están relacionados de manera directa en la elaboración de un producto a diferencia del costo indirecto son aquellos que no están estrechamente relacionados con el producto si no que más bien forman parte del proceso para realizar un fin (Boulanger y Espinoza, 2007, p.213).

### 2.18.2. Costos primos y de conversión

Los costos primos son todos aquellos materiales y mano de obra que se relacionan directamente con la producción, los costos de conversión son aquellos que tienen que ver con la transformación del producto en ello se encuentra la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación (Boulanger y Espinoza, 2007, p.15).



**Figura 11-2:** Clasificación de Costos Primos y de conversión

Realizado por: Boulanger y Espinoza, 2007

### **2.18.3. Costos para informes financieros**

Los costos que influyen en la elaboración de un producto tienden a ser usados en los estados financieros de la compañía y estos son llevados como costos de ventas y en el balance general como montos de inventarios, a fin de realizar un análisis minucioso del estado financiero que conlleva la empresa (Boulanger y Espinoza, 2007, p.215).

### **2.18.4. Costos de producto y costos de período**

En los estados de resultados los contadores clasifican a los costos en costo de producto y costo de periodo, los costos de producto son aquellos que se identifican como bienes adquiridos o producidos para la respectiva venta cuyo costo vienen a hacer gastos cuando se concreta la venta del inventario, los costos de periodo son aquellos que vienen a hacer gastos durante el periodo corriente sin pasar por la etapa de inventario (Boulanger y Espinoza, 2007, p.216).

## **2.19. Importancia de los costos**

Para que una empresa conlleve ganancia y competitividad en el mercado ya sea nacional o internacional es fundamental que tenga en cuenta sus costos, calidad, servicio y oportunidad, estas variables representan a una gran empresa productiva, el control de costo es el éxito de toda empresa puesto que vienen encaminado desde la parte legal para declaraciones fiscales como fuente de información de su estado financiero (Olavarrieta, 1999, p.23).

De acuerdo con Olavarrieta (1999, p.23). con un buen sistema de costos conlleva componentes tales como: “estimación de costos, determinación de costos estándar, centros de costo o de responsabilidad, control presupuestal, costeo basado en la actividad (ABC)”.

## **2.20. Clasificación de los gastos en la empresa**

Según Cuevas D (2002, p.37), los gastos en una empresa son las siguientes:

- **Gastos de administración:** Son todos los egresos que son utilizados en el personal quienes operan en las instalaciones en ello están los sueldos, seguro médico, tiempos extra.
- **Gasto de ventas:** Son los egresos que se efectúan para incrementar las ventas es decir se basa en la inversión para realizar publicidad.
- **Gastos de operación:** Valor utilizado para el desarrollo de actividades en la empresa.
- **Otros gastos:** Son los gastos que no se tenían considerados dentro del presupuesto.

## CAPÍTULO III

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Descripción general del proceso.**

##### ***3.1.1. Enfoque de la investigación.***

El presente estudio emplea un enfoque cualitativo y cuantitativo en base a la necesidad de recopilar información lo cual permitirá realizar un análisis deductivo de dicha información, los datos provistos en el lugar de estudio fomentan mayor validez a los resultados del estudio.

##### ***3.1.2. Tipos de investigación***

- Investigación de campo: La investigación se realizará en el GAD Municipal del Cantón Pastaza, fuente que permite la recopilación de información posibilitando efectuar el presente estudio.
- Investigación bibliográfica o documental: A través de la indagación literaria de artículos, tesis, documentos referentes al tema de investigación permitieron extraer información con lo cual se profundiza el tema de estudio.
- Investigación descriptiva: Mediante el análisis de los datos y modelos matemáticos desarrollados se puede dar un análisis detallado del estudio realizado.

#### **3.2. Métodos lógicos, Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.**

##### ***3.2.1. Métodos lógicos***

- Método deductivo: Mediante el análisis de las fuentes investigadas con relación al tema de estudio se desarrollará la investigación.
- Método Inductivo: Mediante los datos recopilados y los datos expuestos en el desarrollo del estudio tales como distancia y costos las rutas serán analizadas de manera eficiente a fin de obtener la solución más factible.
- Método analítico: Es el análisis que se realizará a los métodos que se utilizarán para el tema de estudio.



### 3.2.2. *Técnicas de recolección de datos*

- **Análisis de documentos:** Se realizará una recopilación de información con el que cuenta el GAD Municipal con el fin de obtener todos los datos necesarios para el desarrollo del tema de estudio.
- **Observación directa:** Se realizará una inspección personal del área de estudio con el fin de obtener información real concerniente al trabajo que se realiza al instante de efectuar el proceso de recolección.

### 3.2.3. *Instrumentos de recolección de datos*

- **Entrevistas:** Se realizó una serie de preguntas al encargado del departamento del relleno Sanitario con la finalidad de contar con información precisa para el desarrollo del estudio.
- **Formato de los conductores de los vehículos:** Con el fin de tener en cuenta quienes son los operarios que trabajan en cada ruta establecida.
- **Formato de rutas:** Documento que permitirá observar datos actuales de rutas, tiempos y distancias recorridas por cada recolector.
- Guías de libros tanto físicos como digitales concernientes al tema de investigación.
- **Internet:** Medio que permite obtener información global referente al tema.

### 3.3. **Resultados de la entrevista**

Se realizó una entrevista al personal que maneja el recolector de basura. A fin de Identificar los inconvenientes que se puedan estar presentando en el proceso de recolección de desechos sólidos.

#### **PREGUNTAS:**

#### **1.- ¿Cuenta con un sistema programado para el recorrido de rutas?**

Sí, pero el sistema que nos brinda la institución es ineficiente

#### **2.- ¿Lleva a cabo con normalidad el recorrido?**

No porque Escojo otras rutas de circulación

#### **3.- ¿El sistema actual es eficiente en el proceso de recolección?**

No porque incumple con el recorrido necesario

#### **4.- ¿Cumple con el recorrido planificado para el proceso de recolección?**

Sí, pero sigo otras rutas cuando observo contenedores llenos

## 5.- ¿Llega a visitar todos los contenedores de basura especificados?

No, visito solo los contenedores que se encuentran llenos, en caso de ser necesario visito otros contenedores

### 3.4. Análisis de los Problemas de rutas

Para la selección del tipo de método a utilizar se tuvo en cuenta ciertos factores que mantiene cada uno de los métodos en la investigación anteriormente detallados, apreciados en la Tabla 9-3:

**Tabla 1-3:** Escala de consideración

Escala	Baja	Media	Alta
	1	2	3

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

**Tabla 2-3:** Método de solución

Método	Variables			Total
	Algoritmos aplicados	Tiempo de solución	de Restricciones	
Rutas para vehículos con capacidad (CVRP)	2	3	1	6
Rutas de vehículos con capacidad sobre arcos (CARP)	2	3	1	6
Agente Viajero (TSP)	3	3	1	7
Mochila múltiple	1	2	1	4

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

Obteniendo el total de los valores asignados en cada una de las variables podemos observar que el método agente viajero es el método con mayor índice numérico, por ende, tal caso es el apropiado para resolución del problema de ruteo por cuanto posee las características necesarias para resolución del problema.

#### 3.4.1. Análisis del problema Agente viajero (TSP)

El problema del agente viajero particularmente es utilizado en casos de problemas de rutas, el objetivo de este método es realizar un recorrido por todos los puntos establecidos con el menor costo y distancia, sin pasar dos veces por el mismo punto.

El desarrollo de este método está sujeto a las siguientes variables y restricciones.

Función objetivo:

$$\min \sum_{i \neq j} C_{ij} X_{ij}$$

$X_{ij}$  = variable de decisión, donde se le asigna un valor 1 si llega de un nodo  $i$  a otro nodo  $j$  y 0 en caso que suceda lo contrario.

$C_{ij}$  = distancia entre un nodo  $i$  y un nodo  $j$ , Donde  $C_{ij} = \infty$  para  $i=j$

### 3.5. Análisis de métodos utilizados para el desarrollo del TSP

**Tabla 3-3:** Métodos de solución

Métodos de solución	Variables				Total
	Aplicación del algoritmo	Solución	Tiempo de solución	Resultados	
Algoritmo colonia de hormigas	3	2	2	2	9
Búsqueda Tabú	2	2	2	2	8
Recocido Simulado	2	1	1	2	6
Vecino más próximo	2	1	1	1	5

Elaborado por: Ever Villamarin. 2020

Una vez realizada la respectiva investigación en cuanto a los métodos utilizados para resolver los problemas de TSP podemos observar que los métodos para resolver nuestra investigación es el algoritmo colonia de hormigas y Búsqueda tabú

#### 3.5.1. Análisis del Algoritmo colonia de hormigas ACO.

El algoritmo colonia de hormigas es un método que basa su proceso en relación al trayecto que realizan las hormigas cuando se trasladan de un lugar a otro en busca de alimentos, este método utiliza hormigas artificiales que esparcen feromonas para su comunicación y conexión con los puntos visitados.

El propósito de este método se basa en encontrar la ruta más corta cubriendo los puntos establecidos sin pasar por el dos veces.

En el estudio se establecerá como puntos a visitar los contenedores y las hormigas artificiales serán los camiones que circularán por los vértices es decir las rutas que circularán.

La secuencia que sigue el algoritmo colonia de hormigas es el siguiente:

- Colocación de las hormigas en los puntos del grafo.
- Construcción de recorridos por las hormigas.
- Cálculo de costos de los recorridos.
- Evaporación del rastro de feromonas.
- Actualización de rastro de feromonas.

```

Inicio procedimiento Metaheurística-ACO
  Mientras (iteraciones)
    Colocar_Hormigas ()
    Contruir_Recorridos ()
    Calcular_Distancia_Recorridos ()
    Evaporar_Fermonas ()
    Actualizar_fermonas ()
  Fin Mientras
Fin Procedimiento

```

**Figura 1-3:** Pseudocódigo Algoritmo Colonia De Hormigas

**Elaborado por:** Ponce y Padilla, 2014

### 3.5.1.1. Modelo matemático para la Selección de la mejor ruta

Ponce y padilla (2014, p.80), establece que la probabilidad que tiene una hormiga K para escoger un camino utiliza la fórmula:

$$P_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} (\tau_{il})^\alpha \cdot (\eta_{il})^\beta}, \quad \text{Si } j \in N_i^k$$

La cantidad de feromona existentes entre dos puntos i-j se los conoce como rastro de feromona artificial, siendo el atractivo para visitar un punto j después de un punto i representada con  $(\tau_{ij})$ , también se maneja un valor heurístico representado por  $(\eta_{ij})$  cuyo valor es inversamente proporcional a la distancia entre dos puntos i y j, otros parámetros como  $\alpha$  que indica la intensidad de feromonas y  $\beta$  que indica información heurística estos son utilizados para indicar el nivel de importancia, si  $\alpha = 0$  significa que los puntos más cercanos serán seleccionados por otra parte si  $\beta = 0$  quiere decir que los puntos con mayor feromona serán seleccionados,  $N_i^k$  es el conjunto de puntos no visitados por una hormiga k que se encuentra en un punto i (Ponce y Padilla, 2014, p.80).

### 3.5.1.2. Evaporación de feromona

Una vez que las hormigas han terminado de construir los recorridos, se disminuye la cantidad de feromona en cada una de las aristas por un factor constante, a este proceso se lo conoce como

evaporación cuya finalidad es evitar el aumento del rastro de feromonas en todos los caminos ayudando a mejorar la construcción de rutas, la evaporación representa el proceso cuando las hormigas dejan de utilizar ciertos caminos (Ponce y Padilla, 2014, p.81).

Ponce y padilla (2014, p.81) establece la ecuación de evaporación de la siguiente manera:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij}, \quad \forall (i,j) \in L$$

Donde  $\rho$  representa la tasa de evaporación de feromona parámetro que evita la acumulación ilimitada de feromonas, en resumen el valor de la feromona disminuye cuando las hormigas dejan de visitar ciertas aristas, el parámetro debe estar entre los siguientes rangos  $0 < \rho < 1$  (Ponce y Padilla, 2014, p.81).

$\Delta\tau_{ij}^k$  = Proporción de feromona puesta por la hormiga k.

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q / j^k & \text{si el elemento } i \text{ es asignado a la ubicación } j \text{ en la solución de la hormiga } k \\ 0 & \text{en otro caso de solución} \end{cases}$$

### 3.5.1.3. Actualización de feromona

Una vez que se ha disminuido la proporción de feromona en los caminos menos transitados el siguiente paso es incrementar el valor de feromona en los caminos que dieron buen resultado, con el objetivo de aumentar la probabilidad que esos caminos sean utilizados por otras hormigas, la cantidad de hormigas que recorren el lugar aumenta paralelamente al valor de feromona (Ponce & Padilla, 2014, pp.81-82).

La ecuación de la feromona se representa con la formula siguiente:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \cdot \forall (i,j) \in L$$

Donde:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} 1/L^k & \text{Si } (i,j) \text{ pertenece a } T^k \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

Con esta ecuación se establece la cantidad feromona que se adicionará en la aristas, en el cual  $L^k$  representa el trayecto de la ruta  $T^k$ , construido por la hormiga k, se debe acotar que el incremento de feromona es proporcional a la longitud del recorrido (Ponce y Padilla, 2014, pp. 81-82).

### 3.5.2. *Análisis del algoritmo Búsqueda Tabú*

El algoritmo búsqueda Tabú ha sido utilizada debido al método de exploración inteligente que emplea, cuyo método es interactivo debido a la búsqueda que realiza, esta búsqueda se basa en búsqueda local o vecindades cuyo movimiento interactivo parte de una solución  $X$  hacia  $X1$  en la vecindad  $X$ , movimiento que lo realiza hasta recibir un criterio de parada en lo cual terminaría su PROCESO (González y Escudero, 2018, p. 19).

La solución para el nuevo vecindario  $N(x)$ , se lo realiza en base a estructuras de memoria, es por ello que su búsqueda continua en forma progresiva de una solución  $X$  hacia una solución  $X1$  en  $N(x)$  (González y Escudero, 2018, p. 19).

#### 3.5.2.1. *Descripción del método y algoritmo*

El método búsqueda Tabú, parte al igual que el modelo de búsqueda local, es por ello que se dice que este método parte de la modificación de un algoritmo (González y Escudero, 2018, p. 21).

Los elementos que compone este algoritmo son los siguientes:

Se define  $S$  como el conjunto de posibles soluciones en el problema, cada solución  $s \in S$  contiene un conjunto de soluciones definidas como  $N(s)$ , el algoritmo comienza de una solución inicial e itera de una solución  $s \in S$  a otra en la vecindad de la primera, de manera que la función objetivo disminuye (González y Escudero, 2018, p. 21).

La vecindad  $N(s)$  son aquellas soluciones restantes para evaluar que corresponden a  $s$ , de manera que sólo los conjuntos reducidos pertenecientes a  $s$  son posibles de evaluar, las soluciones que se obtienen a partir de las soluciones  $N(s)$  representada como  $s^*$  se llaman vecinos de  $s$  (González y Escudero, 2018, p. 21-22).

El propósito de la búsqueda Tabú es no caer en un óptimo local, de manera que se evaluará soluciones las cuales no mejoran el objetivo, en casos en los que la solución sea prohibida no se podrá realizar el mismo procedimiento puesto que esta viene a ser Tabú para las siguiente  $k$  interacciones, de esta manera se crea la lista Tabú hasta llegar a un criterio de parada (González y Escudero, 2018, p.22).

```
k=1
Se genera solución inicial
WHILE criterio de parada no se alcance DO
  Identifique N(s). (Vecindad)
  Identifique T (s, k). (Lista tabú)
  Escoja la mejor  $s' \in N(s, k) = N(s) \setminus T(s, k)$ 
  Memorice  $s'$  si mejora la anterior mejor solución conocida
   $s = s'$ 
   $k = k + 1$ 
END WHILE
```

**Figura 2-3:** Pseudocódigo tabú

**Realizado por:** (González y Escudero, 2018, p. 23).

### 3.5.2.2. Restricciones

- Los clientes escogidos no pueden ser escogidos nuevamente
- El nodo solo de pertenecer a una arista
- Los nodos deben ser visitados solo una vez por ruta
- La ruta inicia y finaliza en el punto que inició.

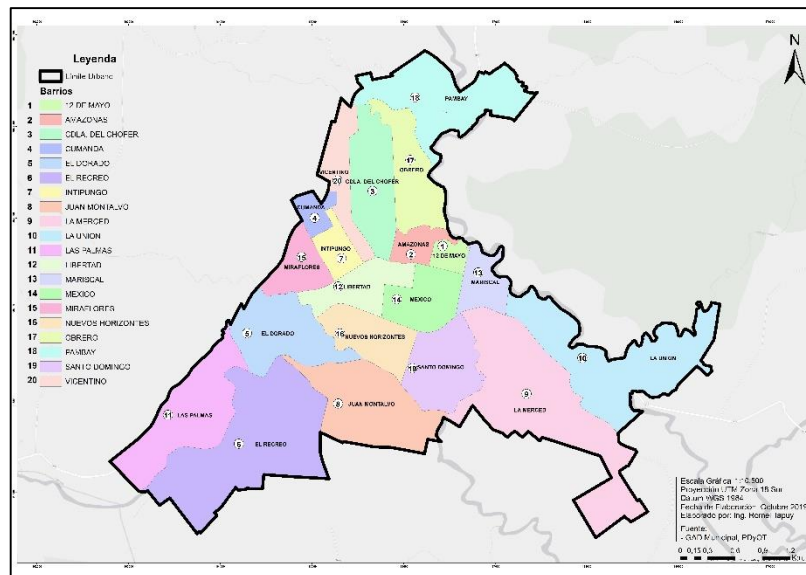
## CAPÍTULO IV

### 4. Desarrollo del sistema de rutas

#### 4.1. Descripción del área de estudio

La ciudad del Puyo zona céntrica de la provincia de Pastaza, ubicada a 930 msnm, coordenadas 1°29'25"S 78°00'08"O mantiene un clima lluvioso tropical de 20 °C (GAD Municipal, 2019).

La Dirección de Gestión Ambiental y del Departamento de Higiene y Salubridad tiene como competencia el servicio de recolección de residuos sólidos a los 62016 habitantes que se albergan en la ciudad (INEC, 2010).



**Figura 1-4:** Zona de estudio

Elaborado por: GAD Municipal, 2019

#### 4.2. Análisis de la situación actual

El GAD Municipal ha dotado con implementos necesarios para la recolección de los desechos sólidos, contando con 5 camiones recolectores de carga posterior, 1 recolector de carga lateral y los jornaleros que realizan el barrido de calles.

La ciudad de Puyo genera una proporción considerable de residuos sólidos, aproximadamente 49,83 toneladas diarias y 744,192 toneladas anualmente. El 92.1% de los desechos se debe a los residuos domiciliarios, el 7,9% industrial y comercial dividiéndose en desechos orgánicos e inorgánicos, siendo este el 1.07% aprovechable.



Actualmente el GAD Municipal ha implementado el uso de recolectores de carga lateral a fin de mitigar el impacto ambiental que genera el desbordamiento de basura en las calles debido a la falta de concientización que la población ha mantenido por consiguiente han implementado puntos estratégicos en ciudadelas, y puntos turísticos como son los balnearios para la incorporación de los contenedores, tomando en consideración la producción, población y condiciones de las calles detallados en la Tabla 12-3, actualmente el 40% de la población es decir 24807 habitantes son beneficiarios del servicio de los contenedores de basuras.

#### 4.2.1. Generalización del problema

##### 4.2.1.1. Cantidad de contenedores en la ciudad

En la tabla 12-3 se detalla el conteo de contenedores de basura por cada calle y el número de recorridos que se realizaba por cada una de ellas.

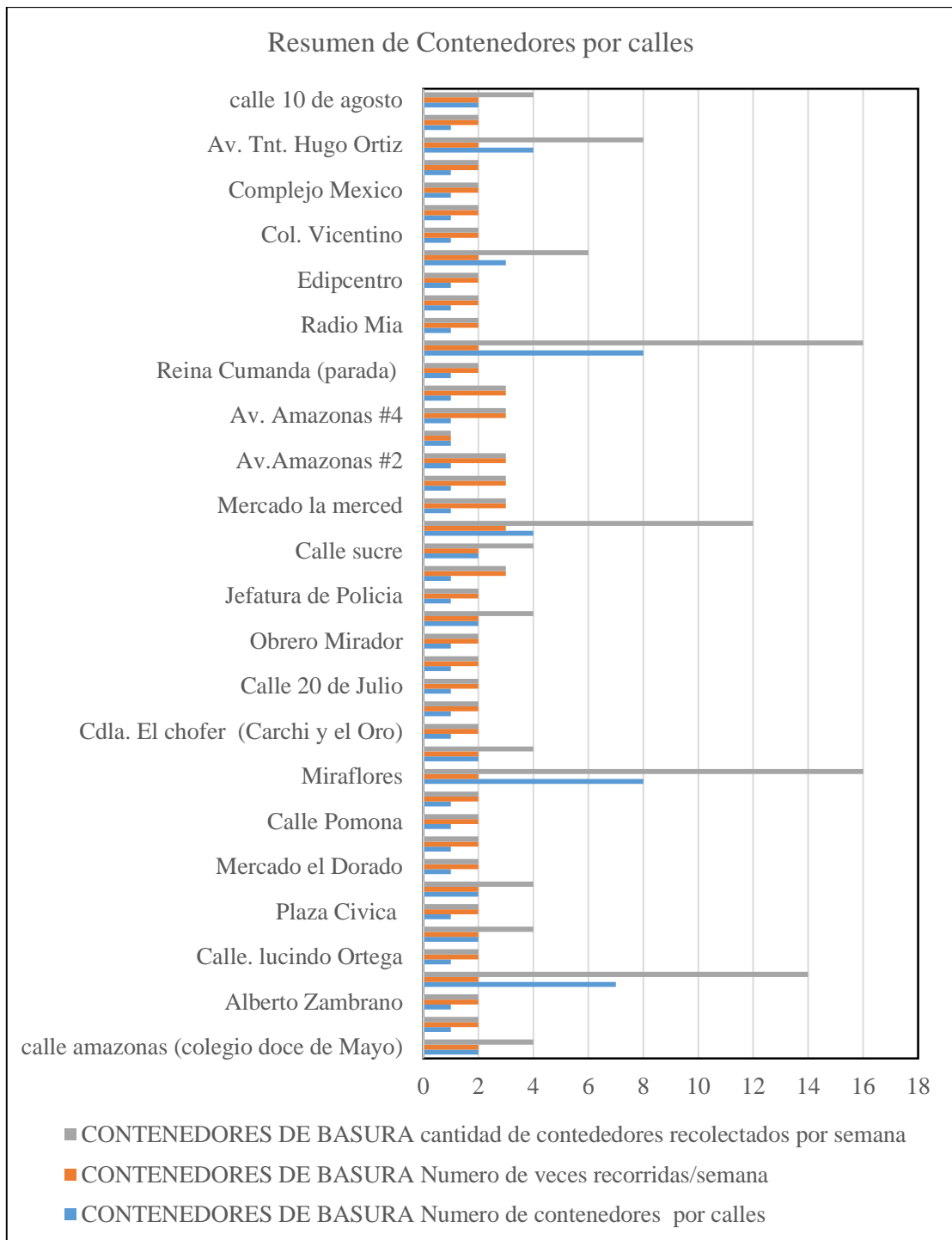
**Tabla 1-4:** Contenedores de Basura en la ciudad

CONTENEDORES DE BASURA			
	Número de contenedores por calles	Número de veces recorridas/semana	cantidad de contenedores recolectados/semana
Calle amazonas (colegio doce de Mayo)	2	2	4
9 de octubre (Esc. Pompeya)	1	2	2
Alberto Zambrano	1	2	2
Nuevos Horizontes (Paraizo)	7	2	14
Calle. lucindo Ortega	1	2	2
Av. Teniente Hugo Ortiz (Pabellón/Morete Puyo)	2	2	4
Plaza Cívica	1	2	2
Terminal	2	2	4
Mercado el Dorado	1	2	2
Colegio Orellana	1	2	2
Calle Pomona	1	2	2
Dique las palmas	1	2	2
Miraflores	8	2	16
Calle Gonzales Suarez	2	2	4
Cdla. El chofer (Carchi y el Oro)	1	2	2
Calle Quito (Dique Pambay)	2	2	4
Calle 20 de Julio	1	2	2
Obrero Boayacu	1	2	2
Obrero Mirador	1	2	2
Merced	2	2	4
Jefatura de Policía	1	2	2
9 de Octubre (Parque policía)	1	3	3

Calle sucre	2	2	4
Mercado Mariscal	4	3	12
Mercado la merced	1	3	3
Av. Amazonas #1	1	3	3
Av. Amazonas #2	1	3	3
Av. Amazonas #3	1	2	2
Av. Amazonas #4	1	2	2
Av. Amazonas #5	1	2	2
Reina Cumanda (parada)	1	2	2
Av. Francisco de Orellana-Col. Andoas	8	2	8
Radio Mía	1	2	2
Centinela	1	2	2
Edipcentro	1	2	2
Calle 24 de Mayo	3	2	6
Col. Vicentino	1	2	2
Col. Vacas Galindo	1	2	2
Complejo México	1	2	2
Calle Jacinto Dávila	1	2	2
Av. Tnt. Hugo Ortiz	4	2	8
Calle. Bolívar	1	2	2
calle 10 de agosto	3	1	3
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>		<b>142</b>

**Fuente:** GAD Municipal

**Realizado por:** Ever Villamarin, 2020



**Gráfico 1-4:** Resumen de contenedores por calle

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

En la gráfica 3-3 se puede observar con detalle el número de veces que cada contenedor es visitado por el recolector

#### 4.2.1.2. Cantidad de Contenedores por rutas

En la tabla 13-4 se detalla el número de contenedores por cada ruta establecida.

**Tabla 2-4: Cantidad de contenedores**

Rutas	Calles	Cantidad de contenedores
1	Policía (Parque) - Calle Sucre - Mercado Mariscal - Amazonas #1 - Amazonas #2 - Mercado la Merced - Reina Cumanda "Parada"	11
2	Calle Fco. De Orellana-Col. Andoas - Radio Mia - Centinela Edipcentro - Amazonas #4 - Amazonas #5 - 24 de Mayo	17
3	Vicentino - Vacas Galindo - Policía "Parque" - Mercado Mariscal Amazonas #1 - Amazonas #2 - Mercado la Merced	11
4	Calle 10 de agosto - Complejo México - Jacinto Dávila - Av. Tnt. Hugo Ortiz - Calle Bolívar Amazonas #3 - Amazonas #4 - Amazonas #5	15
5	Col. Vicentino - Col. Vacas Galindo - Complejo México - Jacinto Dávila - Av. Tnt Hugo Ortiz - Calle Bolívar - Calle 10 de agosto	14
6	Calle amazonas-Col. 12 de Mayo - Calle 9 de Octubre-Esc. Pompeya - Av. Alberto Zambrano - Cdla. Paraíso - Calle Lucindo Ortega - Av. Tnt. Hugo Ortiz: Pab/Deportes - Morete puyo - Plaza Cívica.	15
7	Terminal - Mercado el Dorado - Col. Orellana - Calle Pomona - Picolino - Dique las palmas - Cdla. Miraflores	15
8	Calle Gonzales Suarez - Cdla. El Chofer - Calle Carchi/El Oro - Calle quito - Dique Pambay - Calle 20 de Julio - Obrero Boayacu - Obrero Mirador - Calle Sucre - Merced - Jefatura de policía	13

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarin, 2020

#### 4.2.2. Características del vehículo

En la tabla 14-4 se detalla las características del vehículo recolector de basura.

**Tabla 3-4: Características del vehículo recolector**

 <b>GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN PASTAZA</b>	
<b>Especificaciones del recolector de carga compacta (carga lateral)</b>	
Modelo	MAXXUM SF20
Marca	TRANSLIFT
Fabricación	Holandesa
Forma De Carga	Lateral
Capacidad De Caja	26 YDS cúbicas/19,88M3
Largo	6548 mm
Ancho	2500 mm


Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

### 4.2.3. Características del contenedor de basura

En la tabla 15-4 se detalla las características del contenedor de basura.

**Tabla 4-4:** Detalles del Contenedor de Basura

 <span style="float: right;">GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN PASTAZA</span>	
Conforme a la norma UNE EN 12574	
Capacidad de carga Máxima	850 kg
Volumen nominal de RSU	2400 lt

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

### 4.3. Costo actual de recolección

A continuación, en la Tabla 16-4 se detalla los costos fijos y variables que influyen en el recorrido realizado por los recolectores de basura.

**Tabla 5-4:** Detalle de costos

Gasto en el sistema logístico Actual		
Costo Fijos	Costo Anual	Costo mensual
Matriculación	\$158	
Seguro	\$1945,6125	
Contratación del personal	\$14400	\$1200
Costo variable	Costo mensual	Costo por km recorrido
Combustible	\$199,04	\$0,15
Reparación de llantas	\$9,50	\$0,01
Filtros	\$11,40	\$0,01
Aceites-lubricantes	\$32,80	\$0,03
Sistemas eléctricos y frenos	\$65,80	\$0,05
Caja de cambios/suspensión	\$50,50	\$0,04
Repuestos de motor	\$50,80	\$0,04
Accesorios externos	\$22,70	\$0,02
Mantenimiento básico	\$15	\$0,01
Filtro de aire	\$1,50	\$0,00
Filtro racor	\$0,80	\$0,00
Total	459,84	0,36
Costo anual	5518,08	4,32

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

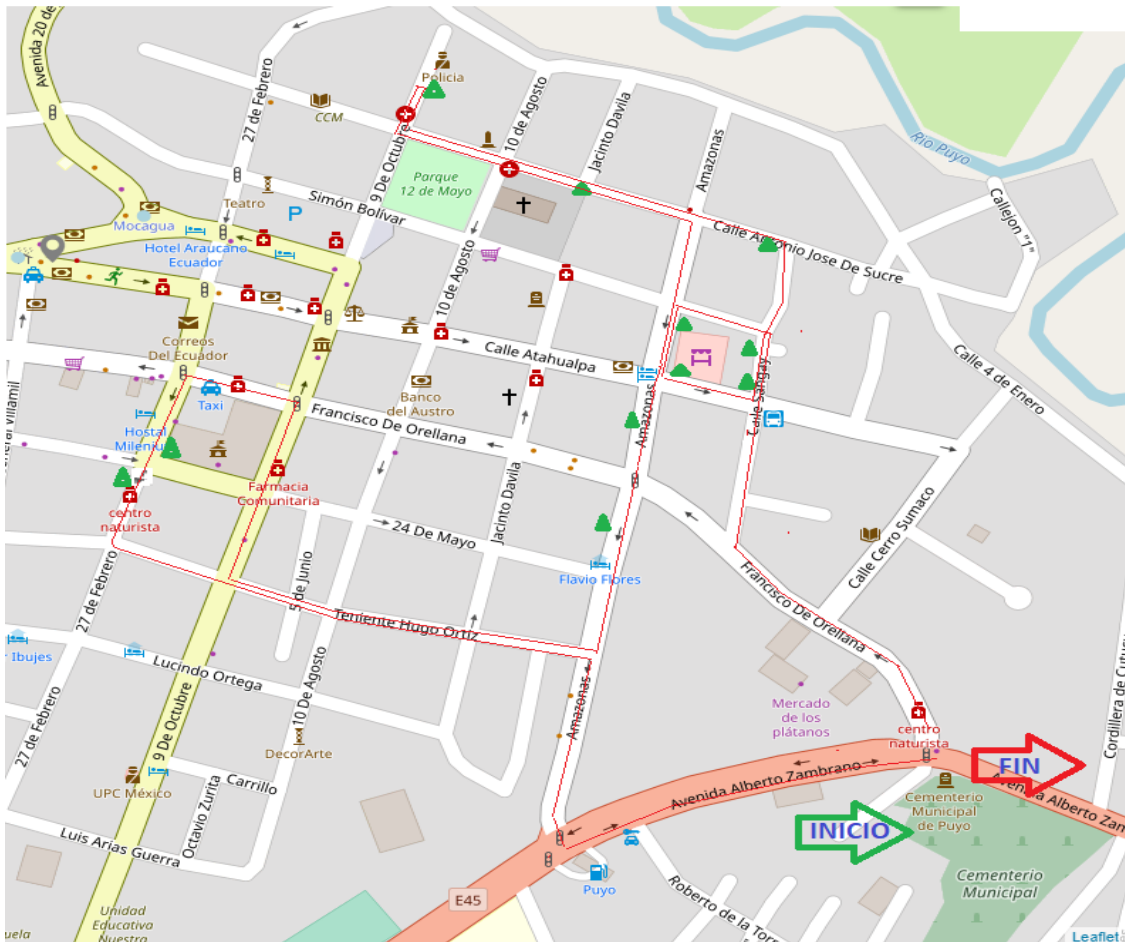
#### 4.3.1.1. Rutas actuales

En los mapas que se presentan a continuación se puede visualizar el recorrido de los vehículos recolectores en cada ruta propuesta por los encargados del área de Higiene Y Salubridad.

**Ruta 1:** En la Actualidad la población que circula por la zona genera una cantidad de 2,5 toneladas de basura diarias aproximadamente, el sistema de recolección se lo realiza 2 veces a la semana, los días lunes y viernes en horario nocturno por las siguientes calles:

Policía (Parque) - Calle Sucre - Mercado Mariscal - Amazonas #1 - Amazonas #2 - Mercado la Merced - Reina Cumanda “Parada”.

En la figura 15-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.



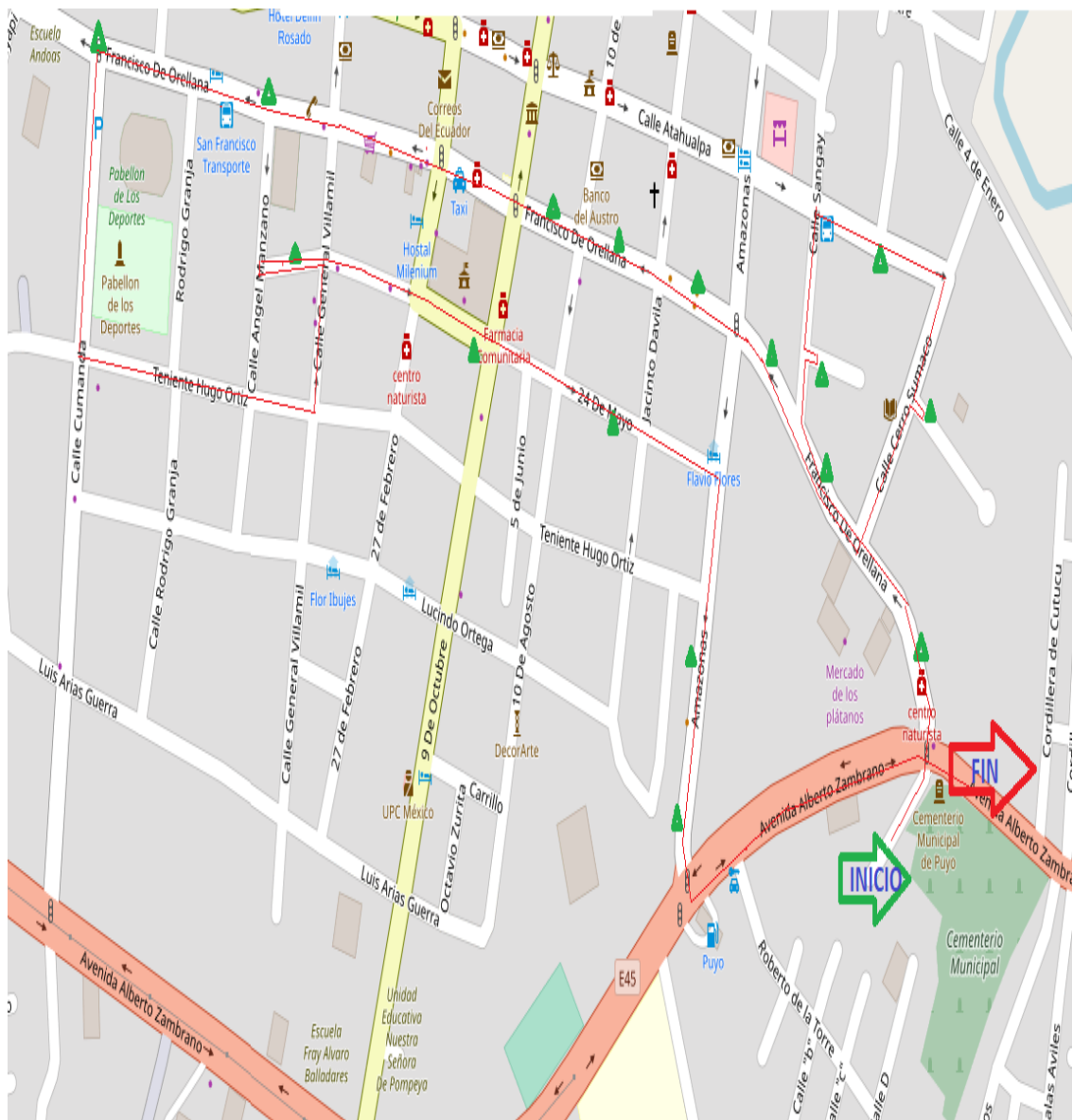
**Figura 2-4:** Ruta 1

**Realizado por:** Ever Villamarin, 2020

**Ruta 2:** En la Actualidad la población que circula por la zona genera una cantidad de 3,3 toneladas de basura diarias aproximadamente (GAD Municipal, 2019), el sistema de recolección se lo realiza 2 veces a la semana, los días martes y sábado en horario nocturno por las siguientes calles:

Calle Fco. De Orellana-Col. Andoas - Radio Mia - Centinela Edipcentro - Amazonas #4 - Amazonas #5 - 24 de Mayo

En la figura 16-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.



**Figura 3-4:** Ruta 2

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

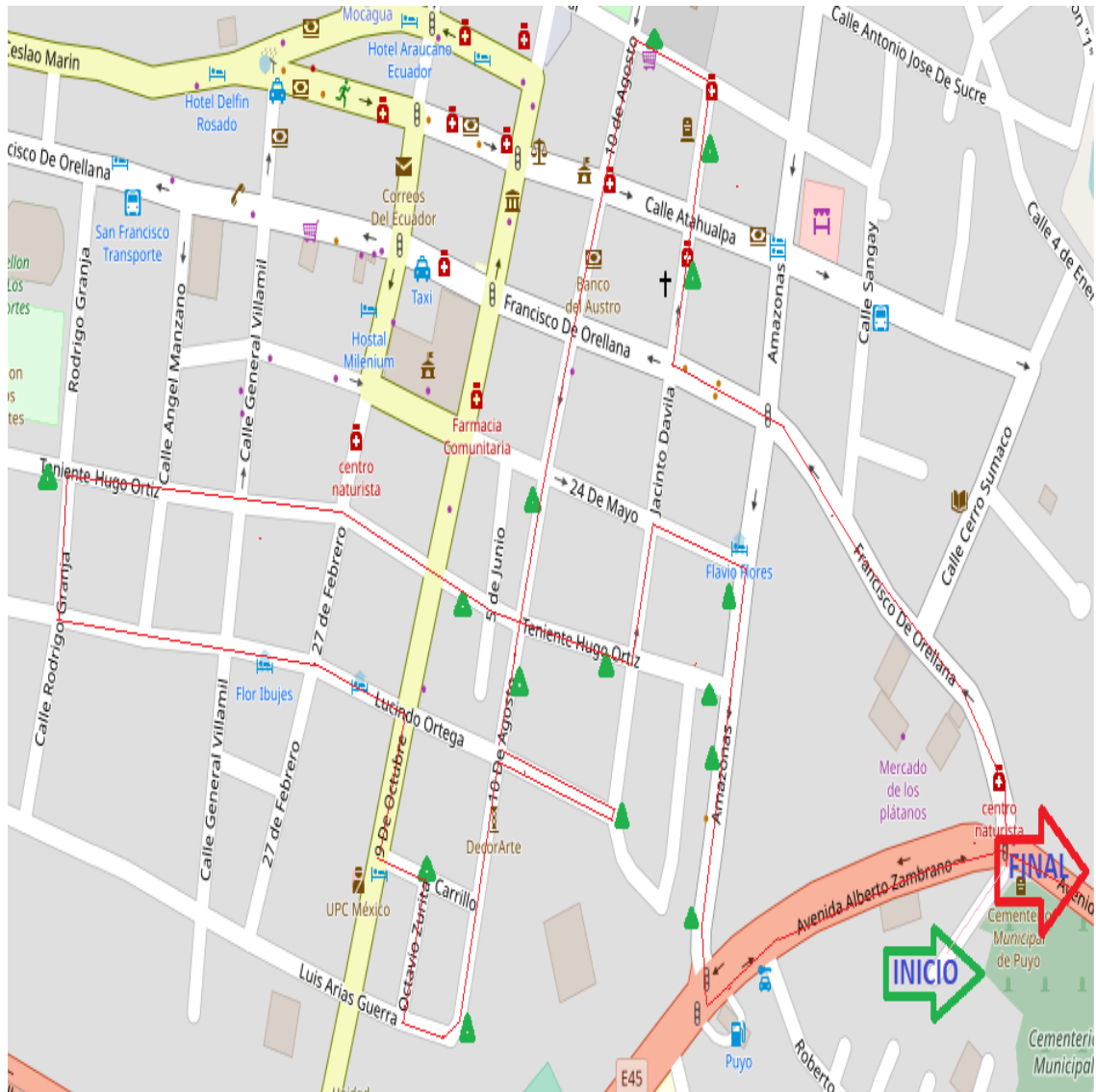






Calle 10 de agosto - Complejo México - Jacinto Dávila - Av. Tnt. Hugo Ortiz - Calle Bolívar Amazonas #3 - Amazonas #4 - Amazonas #5

En la figura 18-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.



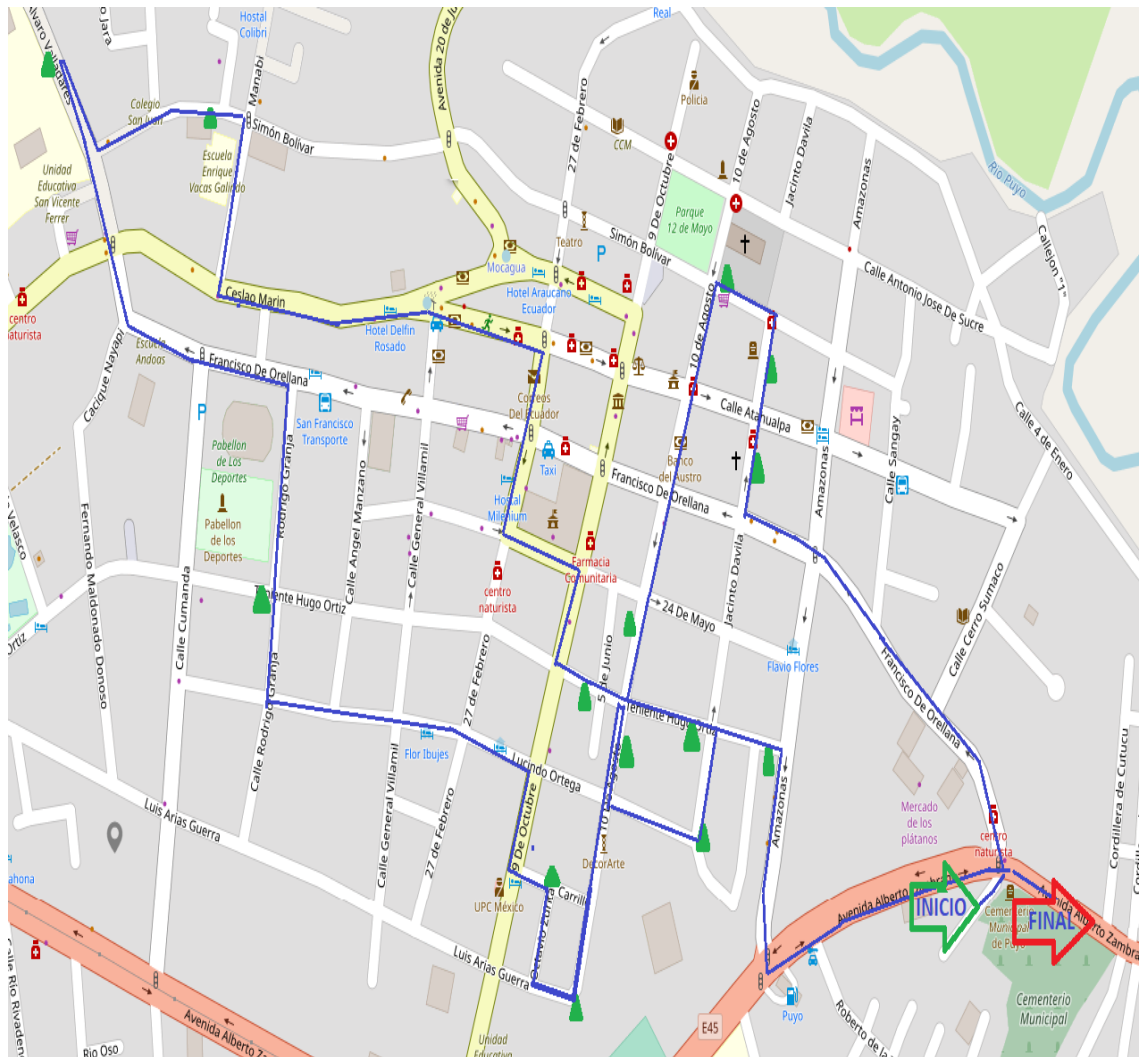
**Figura 5-4:** Ruta 4

**Elaborado por:** Ever Villamarin, 2020

**Ruta 5:** En la Actualidad la población que circula por la zona genera una cantidad de 2,1 toneladas diarias aproximadamente (GAD Municipal, 2019), el sistema de recolección se lo realiza 1 vez a la semana, el día domingo en horario nocturno por las siguientes calles:

Col. Vicentino - Col. Vacas Galindo – Complejo México – Jacinto Dávila – Av. Tnt Hugo Ortiz – Calle Bolívar – Calle 10 de agosto

En la figura 19-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.



**Figura 6-4:** Ruta 5

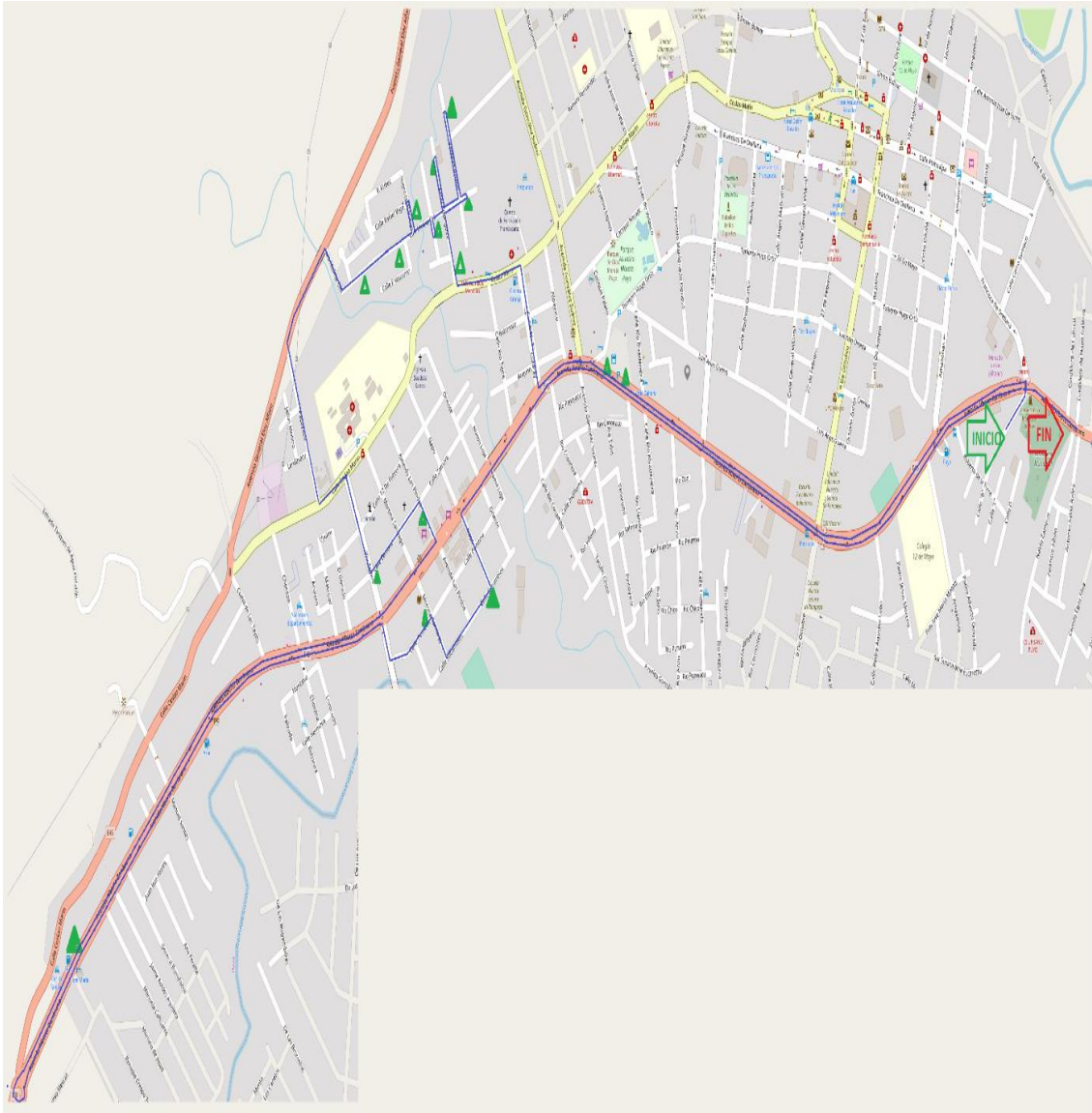
**Elaborado por:** Ever Villamarin, 2020

**Ruta 6:** En la Actualidad la población que circula por la zona generando una cantidad de 2 toneladas diaria aproximadamente (GAD Municipal, 2019), el sistema de recolección se lo realiza 2 vez a la semana, los días lunes y jueves en horario diurno por las siguientes calles:

Calle Amazonas-Col. 12 de Mayo - Calle 9 de Octubre-Esc. Pompeya - Av. Alberto Zambrano - Cdma. Paraíso - Calle Lucindo Ortega - Av. Tnt. Hugo Ortiz: Pab/Deportes - Morete puyo - Plaza Cívica.

En la figura 20-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.





**Figura 8-4:** Ruta 7

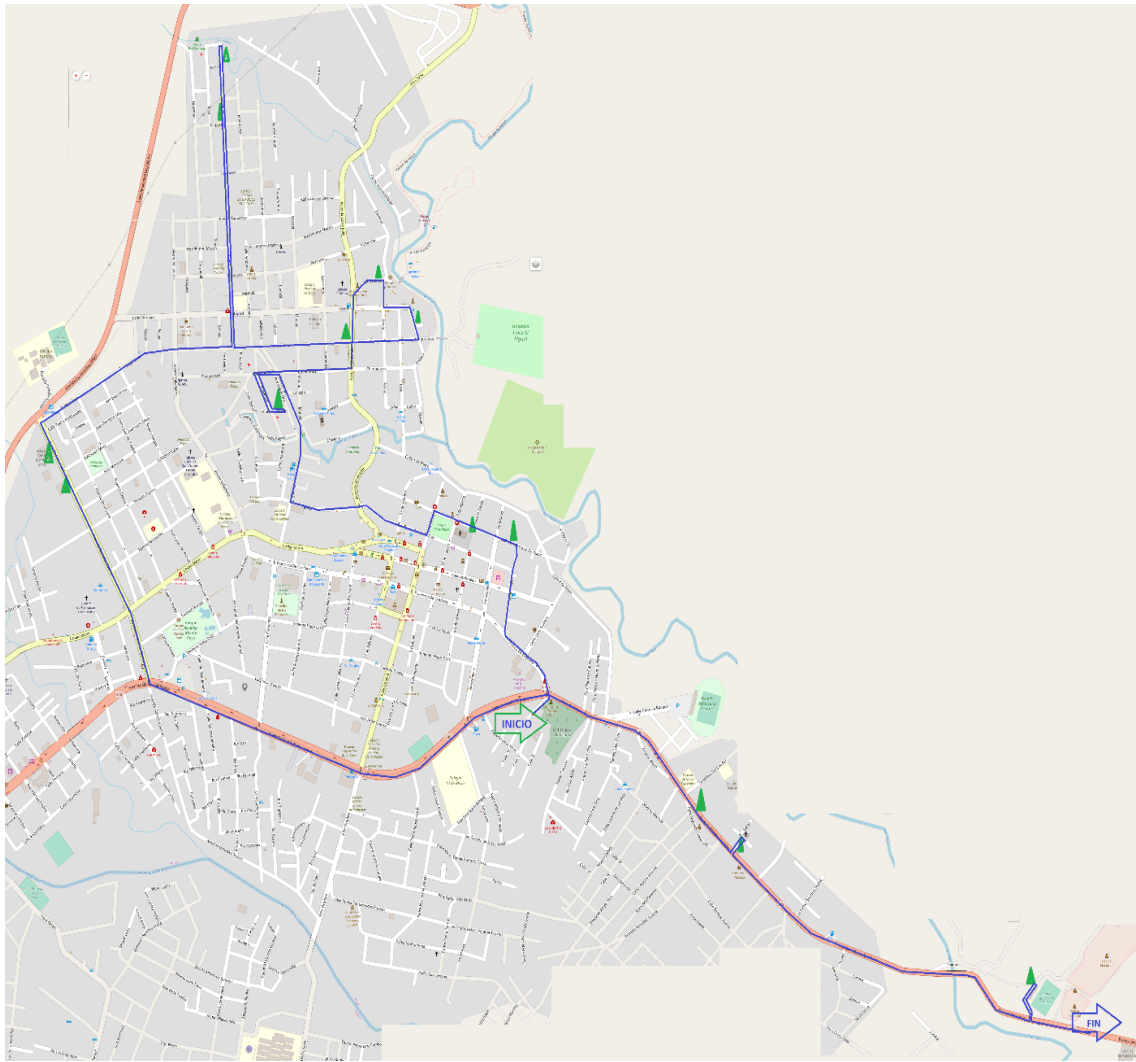
Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

**Ruta 8** En la Actualidad la población que circula por la zona genera una cantidad de 2,2 toneladas diarias aproximadamente (GAD Municipal, 2019), el sistema de recolección se lo realiza 2 veces a la semana, los días miércoles y sábado en horario diurno por las siguientes calles:

Calle Gonzales Suarez - Cdla. El Chofer - Calle Carchi/El Oro - Calle Quito - Dique Pambay - Calle 20 de Julio - Obrero Boayacu - Obrero Mirador - Calle Sucre – Merced - Jefatura de policía.

En la figura 22-4 se puede apreciar el recorrido que realiza el recolector, la distancia total por la ruta se puede apreciar en la tabla 16-4.





**Figura 9-4:** Ruta 8

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

En base a las rutas anteriormente visualizadas, en la tabla 16-4 se detalla las distancias y el ciclo de recolección en cada ruta.

**Tabla 6-4:** Rutas de recolección

Rutas	Calles	Distancia recorrida (km)	Ciclo de recolección /Semana
1	Policía (Parque) - Calle Sucre - Mercado Mariscal - Amazonas #1 - Amazonas #2 - Mercado la Merced - Reina Cumanda "Parada"	23,65	2
2	Calle Fco. De Orellana-Col. Andoas - Radio Mía - Centinela Edipcentro - Amazonas #4 - Amazonas #5 - 24 de Mayo	22,6	2
3	Vicentino - Vacas Galindo - Policía "Parque" -Mercado Mariscal Amazonas #1 - Amazonas #2 - Mercado la Merced	23,797	1

4	Calle 10 de agosto - Complejo México - Jacinto Dávila - Av. Tnt. Hugo Ortiz - Calle Bolívar Amazonas #3 - Amazonas #4 - Amazonas #5	22,4	1
5	Col. Vicentino - Col. Vacas Galindo – Complejo México – Jacinto Dávila – Av. Tnt Hugo Ortiz – Calle Bolívar – Calle 10 de agosto	24,27	1
6	Calle Amazonas-Col. 12 de Mayo - Calle 9 de Octubre-Esc. Pompeya - Av. Alberto Zambrano - Cda. Paraíso - Calle Lucindo Ortega - Av. Tnt. Hugo Ortiz: Pab/Deportes - Morete puyo - Plaza Cívica.	25,49	2
7	Terminal - Mercado el Dorado - Col. Orellana - Calle Pomona - Picolino - Dique las palmas - Cda. Miraflores	29,8	2
8	Calle Gonzales Suarez - Cda. El Chofer - Calle Carchi/El Oro - Calle Quito - Dique Pambay - Calle 20 de Julio - Obrero Boayacu - Obrero Mirador - Calle Sucre – Merced - Jefatura de policía	29,003	2


Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

#### 4.3.1.2. Cantidad de desechos sólidos recolectados

En la Tabla 18-4 nos detalla la cantidad de basura recolectada en los últimos meses mediante el vehículo de carga lateral.

**Tabla 7-4:** Generación de Desechos sólidos

		GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN PASTAZA
GENERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN PASTAZA 2019 RECOLECTOR DE CARGA LATERAL		
MES	PROMEDIO MENSUAL (kg)	
1	215256	
2	204786	
3	233630	
4	233020	
5	240890	
6	243010	
7	260460	
8	275191	
9	310380	
10	292785,5	
11	301582,75	
12	297184,125	
Total	3108175,38	

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2019

#### 4.4. Propuesta

La presente investigación se ha realizado con el fin de optimizar rutas en el sistema logístico de los recolectores de basura del GAD Municipal, en la ciudad de Puyo, reduciendo con ellos los costos de operación de los mismos, para cumplir con el objetivo planteado se ha aplicado modelos matemáticos desarrollados mediante programación y herramientas tales como AutoCAD, Google Maps, Java, etc.

Para reducir el proceso de recolección de contenedores de basura se procedió con el análisis de datos recopilados en el GAD Municipal, exteriorizando el problema de nuestra fuente de estudio, con ello se apreció que se mantenía 8 rutas diferentes de las cuales ciertas calles eran visitadas 2 veces por semana, esto generaba que los contenedores esparzaran un mal olor debido a la basura, el clima variado que mantiene la ciudad y al diseño de los contenedores, a la vez parte de estos se sobre llenaban por consiguiente la ciudadanía depositaba sus bolsas de basura alrededor de los contenedores generando un mal aspecto a la ciudad.

En base a lo mencionado anteriormente en la investigación lo primordial fue reorganizar su estructura de rutas sin alterar la ubicación de los contenedores con el efecto de que cada contenedor sea visitado cada dos días evitando que se disperse el mal olor al mismo tiempo evitar el desbordamiento de basura aprovechando la capacidad de carga que mantiene el recolector que es de 10 Toneladas.

A partir de ello se pudo dividir la cantidad de contenedores en tres sectores, dos zonas que se mantienen en la ciudad y una zona fuera de ésta, tomando en consideración la cantidad de basura depositada a diario en los contenedores.

Se estima que la cantidad de basura depositada por persona abarca los 0,5kg/habitante (GAD Municipal, 2019), existiendo por ruta entre 8200 a 8500 personas (GAD Municipal, 2019) aproximadamente, se ha distribuido los contenedores como se muestra en la Tabla 19-4.

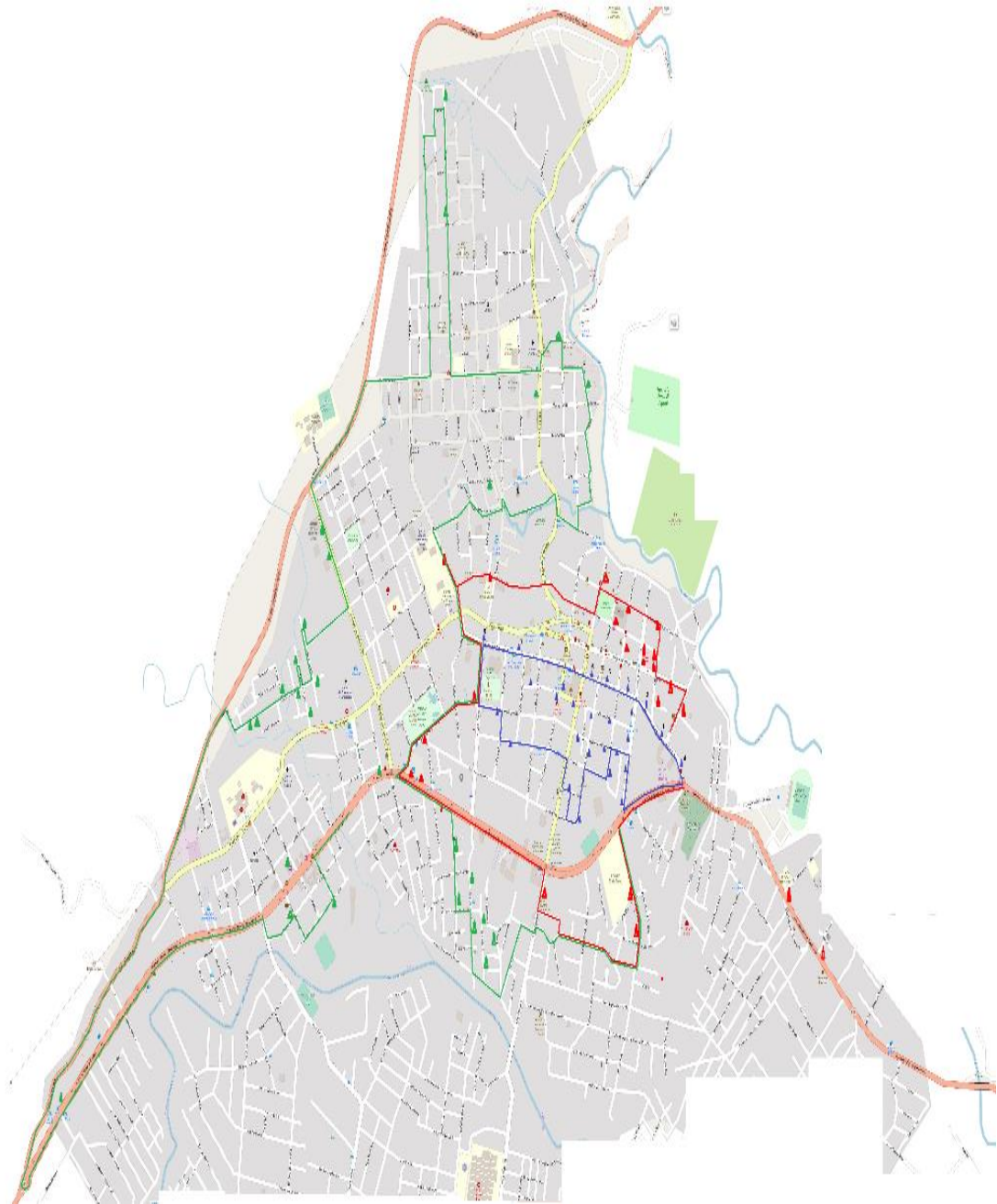
**Tabla 8-4:** Distribución de contenedores

Rutas	Cantidad de contenedores	Habitantes	Capacidad del Vehículo recolector	Capacidad de los contenedores
1	27	8500	10000 kg	850 kg
2	25	8300	10000 kg	850 kg
3	28	8200	10000 kg	850 kg

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

La zonificación se lo realizó de tal manera que cada ruta mantenga la visita de un mercado de los tres existentes en la ciudad, quedando de la siguiente manera, figura 23-4.



**Figura 10-4:** Zonificación de rutas

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

En base a ello se procedió a realizar las nuevas rutas de recolección.

Como primera parte se ha desarrollado la matriz de ubicación de cada contenedor mediante geolocalización, como ejemplo podemos ver la matriz de la primera ruta en la Tabla 20-4, se detalla la geolocalización de cada contenedor ubicados en diferentes sectores de la ciudad.



**Tabla 9-4: Geolocalización de contenedores**

Nombre	Latitud	longitud	Ruta
0	-149.129	-7.799.412	0
1	-148.913	-7.799.422	0
2	-148.823	-7.799.514	0
3	-148.784	-7.799.597	0
4	-149.007	-7.799.325	0
5	-148.763	-7.799.683	0
6	-148.747	-7.799.757	0
7	-148.669	-7.800.117	0
8	-148.646	-7.800.285	0
9	-148.837	-7.800.218	0
10	-148.931	-7.800.161	0
11	-148.763	-7.800.058	0
12	-148.799	-7.799.933	0
13	-148.772	-7.799.903	0
14	-148.836	-7.799.855	0
15	-148.852	-7.799.758	0
16	-148.911	-7.799.832	0
17	-148.943	-7.799.695	0
18	-148.961	-7.799.607	0
19	-149.008	-7.799.595	0
20	-149.107	-7.799.617	0
21	-148.831	-7.799.563	0
10000000	-146.881	-7.793.287	0

Fuente: Google Maps

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

#### 4.5. Desarrollo del algoritmo colonia de hormigas (ACO)

Para el desarrollo del algoritmo se utilizó el lenguaje programación Java tal y como se había mencionado anteriormente, el programa tiene una característica peculiar, es un sistema global que permite el desarrollo de algoritmos de manera rápida.

La estructura del código se plantea de la siguiente manera, gráfico: 4-4.



**Gráfico 2-4:** Diagrama de flujo ACO

Elaborado por: Ever Villamarín, 2020

Inicialización de parámetros y creación de hormigas: para obtener una ruta óptima es necesario fijar el número de hormigas  $n$ , posterior a ello añadir el rastro feromona inicial lo cual será constante para todas las aristas conectadas con los vértices.

La matriz de tamaño  $n$  de nuestra ruta será primordial, pues de ello dependerá el tamaño del problema, con ello se calcula la inversa siendo este el costo del nodo  $i$  al nodo  $j$ , será necesario fijar los parámetros para la toma de decisiones donde el primero representa la influencia de rastro de feromona y la segunda influencia de rastro heurístico.

Por último, como criterio de parada será el resultado que fijemos como óptimo.

- **Creación y variables utilizadas en el desarrollo del algoritmo**

Se introduce la matriz obtenida mediante geolocalización desde la base de datos

```

public static final String URL = "jdbc:mysql://localhost:3306/rutas";
public static final String USERNAME = "root";
public static final String PASSWORD = "";
  
```

**Figura 11-4:** Código Matriz

Elaborado por: Villamarín, 2020

```

public static final String URL = "jdbc:mysql://localhost:3306/rutas"; //Variable global que
contiene parte inicial de la cadena de conexión a la base de dato
  
```

```
public static final String USERNAME = "root"; //parámetro usuario para conexión a la base de
datos public static final String PASSWORD = ""; //parámetro Contraseña de usuario para
conexión a la base de datos (para este caso la contraseña está vacía)
```

- **Parámetros**

Se introducen los parámetros para el desarrollo de las ecuaciones de colonia de hormigas,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\tau_{ij}$ .

```
float rut[][] = new float[5][5];
float feromonas = (float)0.01;
int hormigas=4;
float alpha=(float)0.1;
float beta=(float)2;
```

**Figura 12-4:** Código asignación de parámetros

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

`float rut[][] = new float[800][5];` creamos una variable de tipo matriz y le decimos cuántas filas y cuantas columnas

`float feromonas = (float);` damos un numero de feromonas inicial

`int hormigas=;` damos el número de hormigas que van a recorrer

`float alpha=(float);` valor para los exponenciales alpha

`float beta=(float);` valor para los exponenciales beta

- **Posibles rutas**

```
while (res.next())
{
    //System.out.println (rs.getInt (1) + " " + rs.getString (2)+ " " + rs.getDate(3));
    rut[aux][0]=res.getFloat(2);
    rut[aux][1]=res.getFloat(3);
    rut[aux][2]=res.getFloat(1);
    aux++;
}

float rposibles[][] = new float[rutpos][13];
float rutashormigas[][] = new float[rutpos+1][hormigas];

int rfinal[] = new int[n];
//float rposcal[][] = new float[rutpos][11];
int rec=0;
float calculodistacia;
for (int i=0;i<n-1;i++){
    for (int j=i+1;j<n;j++){
```

**Figura 13-4:** Posibles rutas

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

rut[aux][0]=res.getFloat(2); rut[aux][1]=res.getFloat(3); rut[aux][2]=res.getFloat(1); aux++;  
 con.close (); n = aux; rutpos=0; guarda los resultados de la consulta en una matriz, realizamos un  
 bucle o repetición con FOR, para verificar cuántas rutas posibles puede haber

for (int i=0;i<n-1;i++){for (int j=i+1;j<n;j++){ rutpos++; crea una matriz para realizar proceso en  
 cada ruta posible

float rposibles[][] = new float[rutpos][13]; float rutashormigas[][] = new  
 float[rutpos+1][hormigas];

int rfinal[] = new int[n]; int rec=0; float cálculo distancia;

- **Selección de rutas por hormiga**

```

for (int k=0;k<hormigas;k++)
{
    //rposcal[][]=null;
    //rfinal[][]=null;
    float rposcal[][] = new float[rutpos][11];
    //rposcal=rposibles;//
    for (int i=0;i<rutpos;i++){
        for (int j=0;j<11;j++){
            rposcal[i][j]= rposibles[i][j];
        }
    }
}

```

**Figura 14-4:** Selección De Rutas Por Hormiga

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

for (int k=0;k<hormigas++) float rposcal[][] = new float[rutpos][11]: repetición de cálculo de  
 selección de rutas por cada hormiga.

for (int i=0;i<rutpos;i++){for (int j=0;j<11;j++) rposcal[i][j]= rposibles[i][j]; la matriz principal  
 la copiamos a una auxiliar para utilizar y alterar valores sin afectar la original

- **Formulación de probabilidad**

```

if (rnd>min && rnd < max){
    if ((int)rposcal[j][0]==val ){
        val = (int)rposcal[j][1];
    }else{
        if ( (int)rposcal[j][1]==val){
            val = (int)rposcal[j][0];
        }
    }

    rfinal[conta]=val;
    conta++;
}

```

**Figura 15-4:** Formulación de probabilidad

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

for (int j=0;j<rutpos;j++){if ((int)rposcal[j][0]==val || (int)rposcal[j][1]==val: formulación de  
 probabilidad

rposcal[j][7]=cal1(Float.valueOf(rposcal[j][5]),Float.valueOf(rposcal[j][6]),alpha,beta);sum+=F  
 loat.valueOf(rposcal[j][7]); ): multiplicación de número de feromonas por el estado de transición

rposcal[j][8]=cal2(Float.valueOf(rposcal[j][7]),sum,alpha,beta); división de la multiplicación anterior para la sumatoria de la misma por cada ruta posible  
 rnd = (float) Math.random(); genera un número randómico,  
 if (rnd>min && rnd < max){: obtenemos el valor del punto siguiente dependiendo donde entró la hormiga //ejemplo si la ruta inicia en cero y la ruta actual era 0 1, el nuevo punto es 1.  
 rfinal[conta]=val; conta++; guarda en un vector la mejor ruta, ++: permite decir que una variable de tipo entero o decimal va a sumar de uno en uno

- **Cálculo de nuevas feromonas**

```
float raux[][] = new float[rutpos][11];
//rposcal=rposibles;//
for (int i=0;i<rutpos;i++){
    for (int j=0;j<11;j++){
        raux[i][j]= rposibles[i][j];
    }
}
```

**Figura 16-4:** Formulación de probabilidad

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

for (int i=0;i<rutpos;i++){ for (int j=0;j<11;j++){ raux[i][j]= posible[i][j]; utilizamos una matriz auxiliar

- **Una vez calculado las nuevas feromonas la almacenamos en la matriz principal**

```
rauxFin[i][5]=(float)sumaa;
rposibles[i][6]=(float)sumaa
```

- **ruta final**

Repetición para una hormiga final la que recorrerá utilizando las nuevas feromonas

```
for (int j=0;j<rutpos;j++){
    if ((int)rposcal[j][0]==val || (int)rposcal[j][1]==val){
        //JOptionPane.showMessageDialog(null,"prueba de hor "+k+"> entro "+ val);
        rposcal[j][7]=cal1(Float.valueOf(rposcal[j][5]),Float.valueOf(rposcal[j][6]), alpha,beta);
        sum+=Float.valueOf(rposcal[j][7]);
    }
}
```

**Figura 17-4:** Ruta final

Elaborado por: Ever Villamarin, 2020

- Una vez que se tiene la ruta final, se procede a crear el archivo kml donde se almacenará el mapa

#### 4.5.1. Parámetros utilizados

La asignación de parámetros para el desarrollo del estudio se basó de acuerdo a lo sugerido por Dorigo y Gambardella (1997, p.62), en ello establece lo siguiente:

**Tabla 10-4:** Parámetros

Parámetros	Valor
$\alpha$	0,1
$\beta$	2
$\tau_0$	0,01

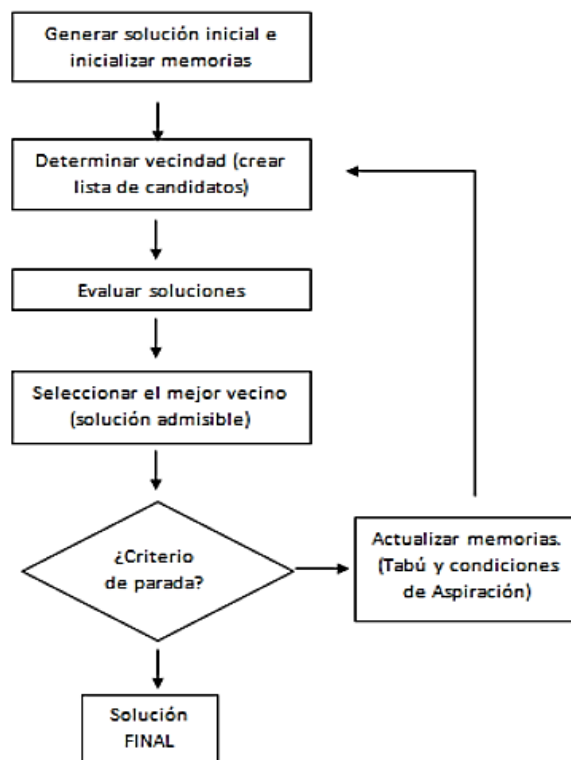
Fuente: Dorigo y Gambardella, 1997

Realizado por: Ever Villamarin, 2020

- $\alpha$ : Influencia relativa del rastro de feromona.
- $\beta$ : Importancia relativa de la heurística y el rastro de feromona.
- $\tau_0$ : Nivel inicial del rastro de feromona.

#### 4.6. Desarrollo del algoritmo búsqueda Tabú

Como se ha mencionado anteriormente el método búsqueda Tabú genera el camino más corto en base a inteligencia artificial llevando el siguiente proceso:



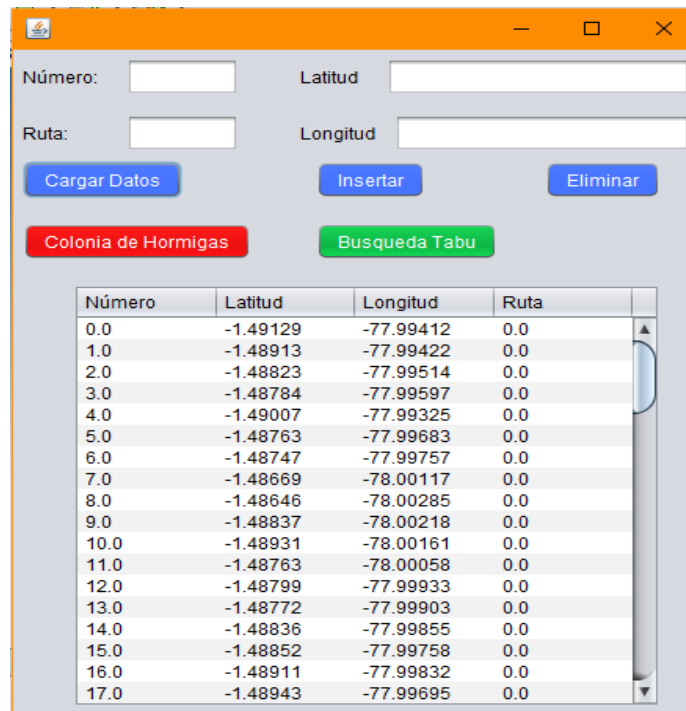
**Gráfico 3-4:** Diagrama de flujo búsqueda tabú  
Elaborado por: González y Escudero, 2018

#### 4.6.1. Proceso de programación

- Se define la matriz de distancia, cuya iteración será en base a la ubicación de los contenedores.
- El inicio del proceso de iteración comienza de un punto aleatorio a partir de ello comienza la comparación con otras soluciones.
- Una vez seleccionado la solución se crea un vecindario.
- La cantidad de iteraciones dependerá de la cantidad de puntos que se procese en la matriz, una vez realizado todo el recorrido de iteración se obtendrá la solución óptima.

#### 4.7. Resultados de la programación

En la figura 31-4 podemos notar el resultado de la programación realizada.



Número	Latitud	Longitud	Ruta
0.0	-1.49129	-77.99412	0.0
1.0	-1.48913	-77.99422	0.0
2.0	-1.48823	-77.99514	0.0
3.0	-1.48784	-77.99597	0.0
4.0	-1.49007	-77.99325	0.0
5.0	-1.48763	-77.99683	0.0
6.0	-1.48747	-77.99757	0.0
7.0	-1.48669	-78.00117	0.0
8.0	-1.48646	-78.00285	0.0
9.0	-1.48837	-78.00218	0.0
10.0	-1.48931	-78.00161	0.0
11.0	-1.48763	-78.00058	0.0
12.0	-1.48799	-77.99933	0.0
13.0	-1.48772	-77.99903	0.0
14.0	-1.48836	-77.99855	0.0
15.0	-1.48852	-77.99758	0.0
16.0	-1.48911	-77.99832	0.0
17.0	-1.48943	-77.99695	0.0

**Figura 18-4:** Rutas

Realizado por: Ever Villamarin, 2020

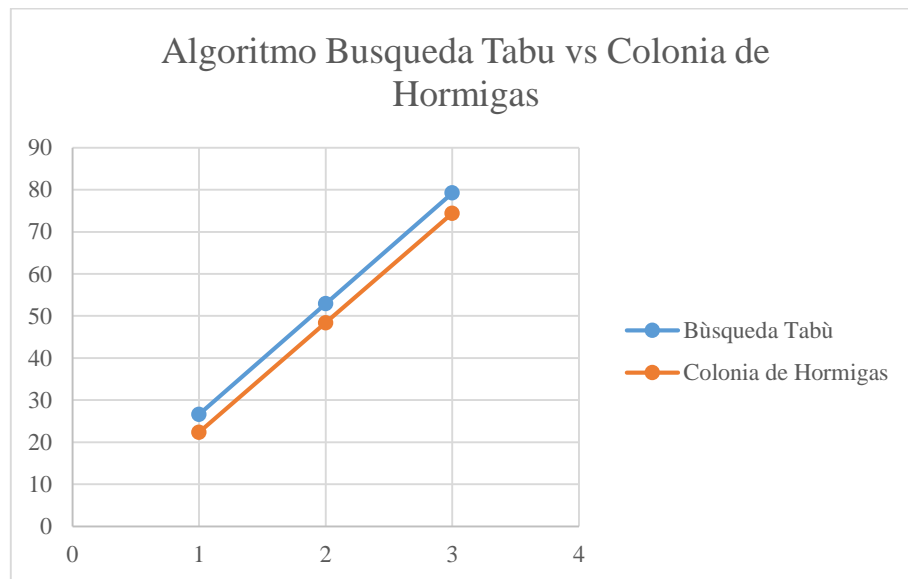
#### 4.7.1. Comparación de resultados expuestos por los algoritmos Colonia de Hormigas y Búsqueda Tabú

El desarrollo de los dos algoritmos expone diferentes resultados mostrados en la tabla 23-4, demostrando la diferencia de distancia entre el primer y segundo método de optimización.

**Tabla 11-4:** Rutas Colonia de Hormigas, Búsqueda Tabú

Colonia de Hormigas		Búsqueda Tabú	
Ruta	Distancia km	Ruta	Distancia km
1	22,37	1	26,61
2	26,01	2	26,31
3	35,12	3	38,32
Total	83,5		91,24

Realizado por: Ever Villamarín, 2020



**Gráfico 4-4:** Distancias, algoritmo búsqueda tabú vs colonia de hormigas

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

En base a la gráfica 6-4 se demuestra que el algoritmo colonia de hormigas mejora rotundamente las rutas es por ello que para el estudio se tomará como criterio para toma de decisiones los resultados del algoritmo colonia de hormigas,

#### 4.8. Propuesta de nuevas rutas

- **Ruta 1**

El recorrido actual aplicando el algoritmo colonia de hormigas desarrollado mediante el lenguaje de programación JAVA manteniendo las condiciones de TSP proporciona como resultado el siguiente recorrido:



AV. Francisco de Orellana - 27 de febrero - Teniente Hugo Ortiz - General Villamil - Cumanda - Rodrigo Granja - Ángel Manzano - 24 de Mayo - 9 de Octubre - 10 de Agosto - Luis arias Guerra - Octavio Zurita- lucindo Ortega – Jacinto Dávila – Amazonas – Av. Alberto Zambrano.

En la figura 32-4 se aprecia el recorrido propuesto que puede realizar el recolector evitando transitar una vez más por aquellos contenedores ya visitados.



**Figura 19-4:** Ruta 1 Propuesta

Elaborado por: Ever Villamarín, 2020

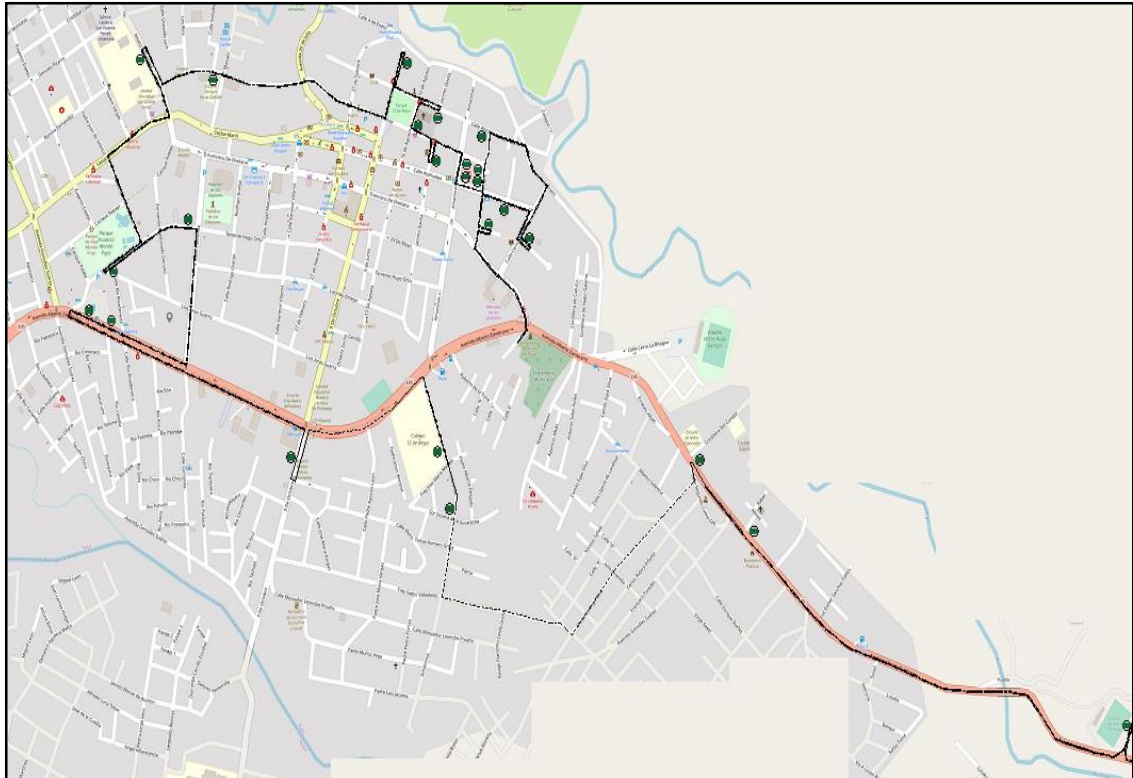
La ruta propuesta genera un recorrido total de 22,37 km completando todo el recorrido, partiendo de su origen llegando a su destino y retornando a su punto de partida.

- **Ruta 2**

El recorrido actual aplicando el algoritmo colonia de hormigas desarrollado mediante el software JAVA manteniendo las condiciones de TSP proporciona como resultado el siguiente recorrido:

Av. Francisco de Orellana – Sangay – Atahualpa – Cerro Sumaco – 4 de enero – Antonio José de sucre – Amazonas - Simón Bolívar – 10 de agosto – 9 de octubre – Álvaro Valladares - Ceslao Marín – Juan de Velasco – Teniente Hugo Ortiz – Cumanda – Av. Alberto Zambrano – Medardo Ángel Silva.

En la figura 33-4 se aprecia el recorrido propuesto que puede realizar el recolector evitando transitar una vez más por aquellos contenedores ya visitados



**Figura 20-4:** Ruta 2 Propuesta

Elaborado por: Ever Villamarín, 2020

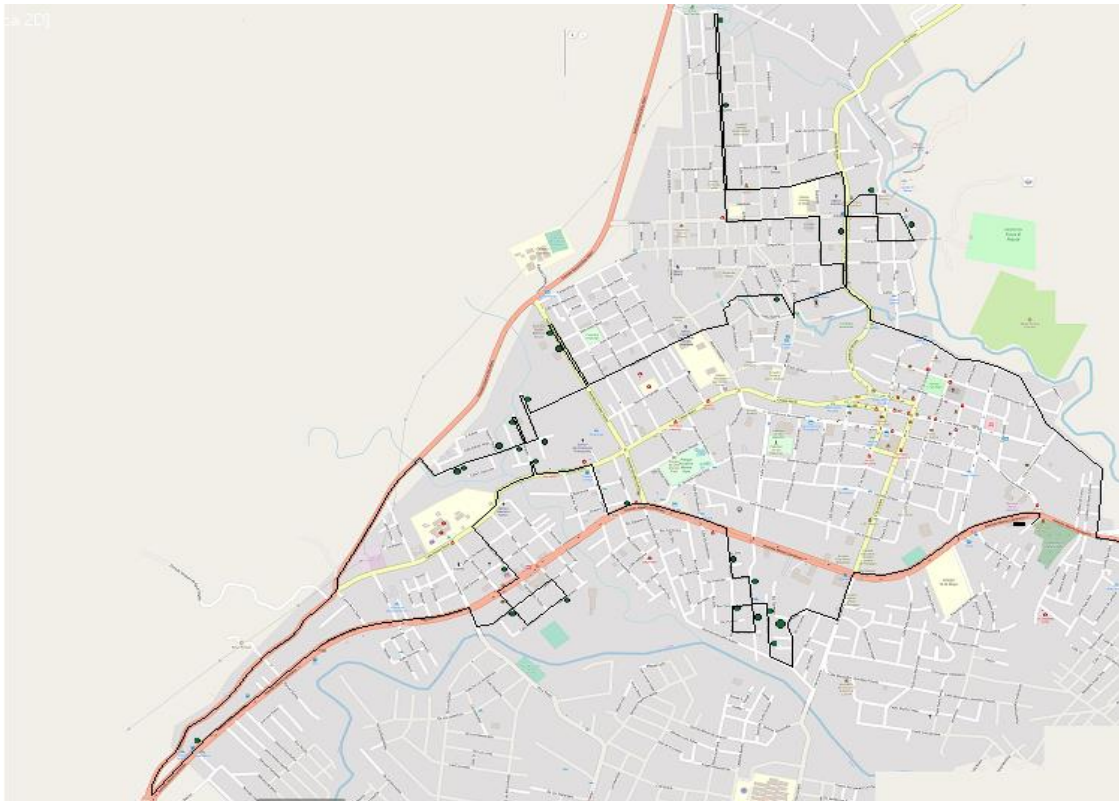
La ruta propuesta genera un recorrido total de 26,01 km completando todo el recorrido, partiendo de su origen llegando a su destino y retornando a su punto de partida.

- **Ruta 3**

El recorrido actual aplicando el algoritmo colonia de hormigas desarrollado mediante el lenguaje de programación JAVA manteniendo las condiciones de TSP proporciona como resultado el siguiente recorrido:

Av. Alberto Zambrano – 9 de octubre – Rio Jandayacu – Av. González Suarez – Rio Pastaza – Rio Chico – Cumanda – Pozoyacu – Anzu – Palimbe– Curaray – Ceslao Marín - Av. Los pindos - Morona – Sucumbíos – Napo – Pomona – Luis Molina Celi – Fidel Rodríguez – Antonio Acuña – Gonzalo Pizarro – Carchi CALLEJON – El Oro – Guayas –Manabí – Av. 20 de Julio – Esmeraldas – Tunguragua – Azuay – Pichincha – Quito – Cotopaxi – Guaranda – 4 de enero.

En la figura 34-4 se aprecia el recorrido propuesto que puede realizar el recolector evitando transitar una vez más por aquellos contenedores ya visitados



**Figura 21-4:** Ruta 3

**Elaborado por:** Ever Villamarín, 2020

La ruta propuesta genera un recorrido total de 35,12 km completando todo el recorrido, partiendo de su origen llegando a su destino y retornando a su punto de partida.

**4.8.1. Horario de rutas de recolección propuesta**

**Tabla 12-4:** Horario de rutas propuesta

Sección	Día Rutas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Nocturna	1	X		X		X		X
Nocturna	2		X		X		X	
Diurna	3	X		X		X		

**Realizado por:** Ever Villamarín, 2020

La distribución de rutas se realizó de tal manera que el recorrido se realice dos veces los días lunes-miércoles-viernes y una vez los días martes-jueves-sábado, lo que permite que en estos días por la mañana se aproveche realizando el proceso de recolección de reciclaje que mantiene el GAD Municipal.

#### 4.8.2. Resumen de distancias

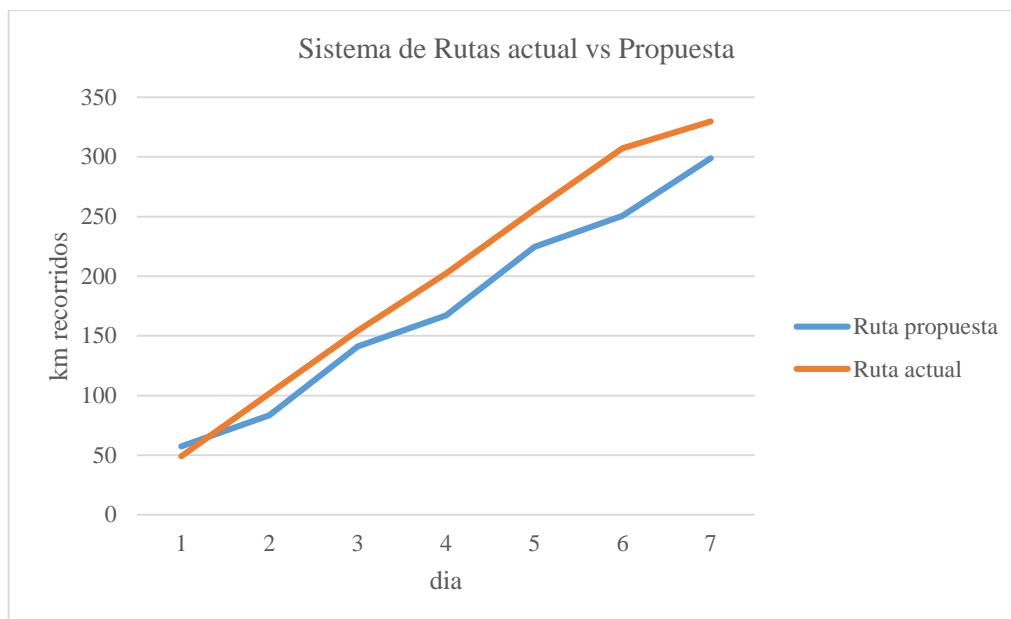
El desarrollo de optimización mediante el algoritmo metaheurístico ACO transfiere como resultados la reducción de distancias cuya diferencia se puede visualizar la en la tabla 24-4, misma que detalla la diferencia semanal que mantiene entre nuestra ruta propuesta y la actual.

**Tabla 13-4:** Resumen de distancias

Ruta propuestas	Distancia (km)	Distancia semanales	Ruta actuales	Distancia (km)	Distancia semanales
1	22,37	89,48	1	23,65	47,3
2	26,01	104,04	2	22,6	45,2
3	35,12	105,36	3	23,797	23,797
			4	22,4	22,4
			5	24,27	24,27
			6	25,49	50,98
			7	29,8	59,6
			8	29,003	58,006
Total (km)	83,5	298,88	Total	201,01	331,7357
Diferencia semanal	32,8557 km				

**Realizado por:** Ever Villamarín, 2020

En la gráfica 7-4 se puede observar la diferencia existente de las distancias acumuladas entre el sistema de rutas actual y la propuesta, la línea de color tomate que viene a hacer el sistema de rutas actual realiza un recorrido de 331,7357 km semanales y el sistema de rutas que se propone llega a realizar un recorrido de 298,88 km semanales manteniendo una diferencia de 32,8557 km semanales.



**Gráfico 5-4:** Sistema de ruta actual vs propuesta

**Realizado por:** Ever Villamarín, 2020

#### 4.9. Análisis de costo operativo propuesto

Cabe mencionar que toda empresa ya sea pública o privada lo que realmente se requiere es minimizar el consumo de presupuestos en las actividades que realizan, y esto se puede lograr si se mantiene un sistema de trabajo adecuado.

En base al desarrollo de optimización anteriormente realizado se puede mantener un ahorro en cuanto a combustible, repuestos y mantenimiento entre otros, como se puede detallar en la tabla 25-4 el ahorro que presenta es mensual y anual.

**Tabla 14-4:** Costos de recorrido del sistema logístico

Propuesta		
Costo Fijos	Costo Anual	Costo mensual
Matriculación	\$158	
Seguro	\$1945,6125	
Contratación del personal	\$14400	\$1200
Costo variable	Costo mensual	Costo por km recorrido
Combustible	\$179,32	\$0,15
Reparación de llantas	\$8,55	\$0,007151
Filtros	10,27	\$0,008590
Aceites-lubricantes	29,55	\$0,024717
Sistemas eléctricos y frenos	59,28	\$0,049585
Caja de cambios/suspensión	45,5	\$0,038058
Repuestos de motor	45,77	\$0,038282
Accesorios externos	20,45	\$0,017103
Mantenimiento básico	13,52	\$0,011303
Filtro de aire	1,35	\$0,001129
Filtro racor	0,72	\$0,00060225
Total	\$414,28	\$0,31
<b>Costo anual</b>	<b>4971,36</b>	<b>3,72</b>

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

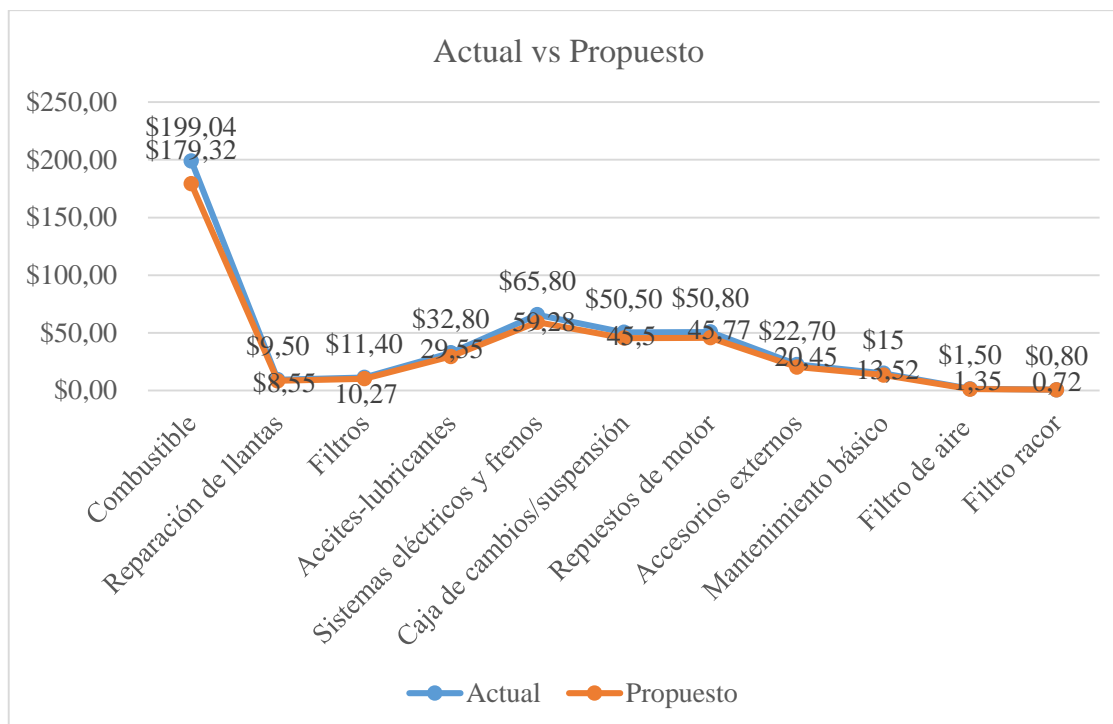
**Tabla 15-4:** Costos de recorrido del sistema logístico

sistema logístico	Actual		Propuesta	
Costo variable	Costo mensual	Costo por km recorrido	Costo mensual	Costo por km recorrido
Combustible	\$199,04	\$0,15	\$179,32	\$0,15
Reparación de llantas	\$9,50	\$0,007159	\$8,55	\$0,007151
Filtros	\$11,40	\$0,008591	10,27	\$0,008590
Aceites-lubricantes	\$32,80	\$0,024718	29,55	\$0,024717
Sistemas eléctricos y frenos	\$65,80	\$0,049587	59,28	\$0,049585
Caja de cambios/suspensión	\$50,50	\$0,038057	45,50	\$0,038058
Repuestos de motor	\$50,80	\$0,038283	45,77	\$0,038282
Accesorios externos	\$22,70	\$0,017106	20,45	\$0,017103
Mantenimiento básico	\$15	\$0,0113041	13,52	\$0,011303
Filtro de aire	\$1,50	\$0,001130	1,35	\$0,001129
Filtro racor	\$0,80	\$0,00060289	0,72	\$0,00060225
Total	\$459,84	\$0,36	\$414,28	\$0,31
Costo anual	5518,08	4,32	4971,36	3,72
Ahorro mensual	\$45,56			
Ahorro anual	\$546,72			

**Realizado por:** Ever Villamarín, 2020

Como se ha notado en la tabla 26-4 el ahorro obtenido por el sistema logística planteado es de \$108,97 mensuales y \$1307,64 anualmente, ahorro considerable que se puede mantener al cubrir las rutas propuestas.

En la gráfica 8-4 se puede observar la diferencia entre el costo actual y el costo propuesto, presentando una diferencia significativa con respecto a sus costos.



**Gráfico 1-4:** Costo actual vs Costo propuesto

Realizado por: Villamarín, 2020

#### 4.10. Costo estimado

Debido al incremento de la población los puntos de recolección incrementarán por lo que los costos de recolección también aumentarán proporcionalmente con su distancia.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional de la ciudad del Puyo que aborda el 1.5% al año (INEN 2010), en la tabla 27-7 se puede apreciar el costo estimado en los 5 años posteriores.

**Tabla 16-4:** Costo estimado

periodo	Costo Mensual Actual
2020	1102,55
2021	1135,874574
2022	1727,523242
2023	3021,448948
2024	6077,213058
2025	14056,96309

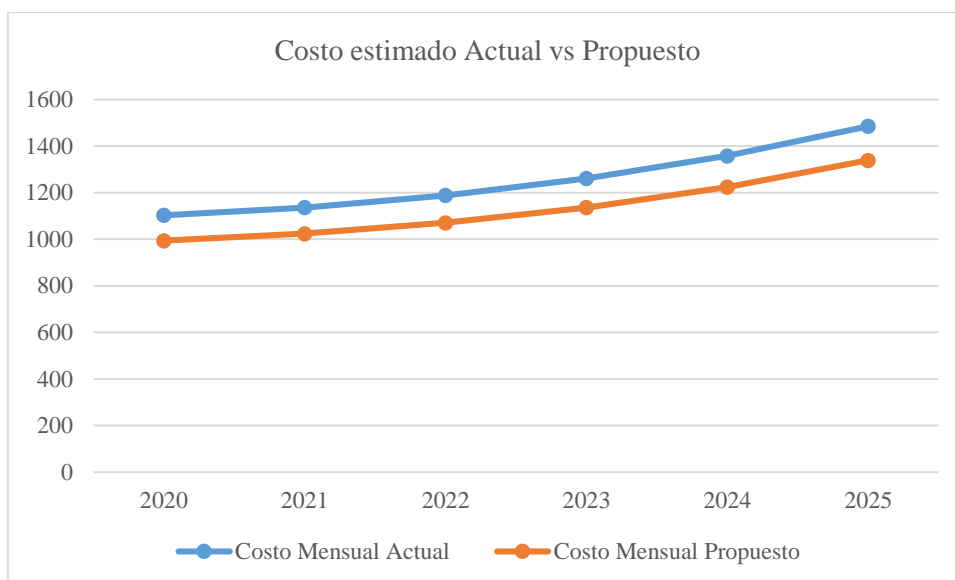
Realizado por: Ever Villamarín, 2020



**Tabla 17-4:** Costo estimado actual vs propuesto

COSTO ESTIMADO		
periodo	Costo Mensual Actual	Costo Mensual Propuesto
2020	1102,55	993,58
2021	1135,874574	1023,610956
2022	1727,523242	1070,367841
2023	3021,448948	1136,049412
2024	6077,213058	1223,847859
2025	14056,96309	1338,208197

**Realizado por:** Ever Villamarín, 2020



**Gráfico 6-4:** Costo estimado actual vs propuesto

**Realizado por:** Villamarín, 2020

Como se puede observar en la gráfica 9-4 se obtendrá un ahorro significativo durante los próximos 5 años aplicando el sistema propuesto a diferencia del sistema actual.

#### 4.11. Producción estimada de desecho sólidos

El sistema logístico ha sido planteado de manera que no afecte con el tiempo la cantidad de basura depositada por contenedor, por lo que se ha realizado una estimación de producción de desechos por sectores, detallados en las siguientes tablas.

Tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional de la ciudad del Puyo que aborda el 1.5% al año (INEN 2010).

**Tabla 18-4: Pronóstico**

Ruta 1		Ruta 2		Ruta 3	
Periodo	Producción estimada kg	Periodo	Producción estimada kg	Periodo	Producción estimada kg
2019	1530000	2019	1494000	2019	1476000
2020	1552950	2020	1516410	2020	1498140
2021	1576244,25	2021	1539156,15	2021	1520612,1
2022	1599887,91	2022	1562243,49	2022	1543421,28
2023	1623886,23	2023	1585677,14	2023	1566572,6
2024	1648244,53	2024	1609462,3	2024	1590071,19

Fuente: GAD Municipal

Realizado por: Ever Villamarín, 2020

Según los datos hallados se puede plantear que el rango de recolección por contenedor no excederá su capacidad de acuerdo a la población estimada en los años posteriores.

## CONCLUSIONES

- Concluido el análisis de la situación actual de la recolección de desechos sólidos del GAD Municipal, se llegó a conocer la sectorización de los contenedores y las rutas transitadas, contando con 8 sectores de recolección que generan un recorrido total de 1326,9428 km mensuales y un gasto mensual de \$459,84 cuya recolección se lo realiza con un recolector de carga lateral de 10 toneladas.
- Realizando el análisis sobre los distintos métodos que se podrían utilizar para el desarrollo de optimización de rutas se decidió implementar el problema del agente viajero (TSP), debido a las restricciones que maneja el método, a través de ello se desarrolló el modelo de optimización aplicando los algoritmos colonia de hormigas (ACO) y búsqueda Tabú, aplicando el lenguaje de programación Java, se optimizó las rutas dando como resultado la minimización de su costo operativo.
- Se seleccionó la mejor ruta, siendo el método colonia de hormigas el método con un mejor resultado de optimización, método que mejoró el sistema logístico actual, reduciendo las distancias en un 9,8%, evitando 32,8557 km semanales, 131,4228 km mensuales y 1577,0736 km anuales de recorrido, utilizando las tres rutas propuestas.
- Se desarrolló el análisis de costos dando a conocer que mediante el nuevo sistema logístico propuesto se mantendrá un ahorro de \$45,56 mensuales y 546,72 anualmente.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener todas las fichas de los recorridos realizados por los recolectores a fin de preservar datos históricos en caso que se requiera realizar otro estudio de optimización.
- Se recomienda utilizar el sistema logístico propuesto para la optimización de rutas, debido al estudio detallado que conllevó y los métodos matemáticos aplicados para el desarrollo del modelo de optimización puesto que proporcionó como resultado un servicio eficaz y económico.
- Es necesario que los trabajadores mantengan la circulación de las rutas planteadas con el fin de evitar posibles inconvenientes en el proceso de recolección.
- Mantener un seguimiento en cuanto a las rutas que transitarán los vehículos puesto que de ellos dependerá el ahorro en los costos de operación

## GLOSARIO

**Logística:** La logística son todas las operaciones llevadas a cabo para hacer posible que un producto llegue al consumidor desde el lugar donde se obtienen las materias primas, pasando por el lugar de su producción (Montufar, 2019, p.12).

**Algoritmo:** Conjunto ordenado y finito de operaciones simples a través del cual podemos hallar la solución a un problema (Martínez, 2019, p.26).

**Metaheurística:** Son una familia de algoritmos aproximados de propósito general, suelen ser procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada de búsqueda, combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda (Martínez, 2019, p.30).

**Tecnología:** Un producto o solución conformado por un conjunto de instrumentos, métodos y técnicas diseñados para resolver un problema (Chávez, 2017, p.15).

**Costos:** Es el desembolso económico que se realiza para la producción de algún bien o la oferta de algún servicio (Casas, 2002, p.20).

**Sistema de ruta:** El sistema de rutas es el modo de reducir drásticamente el tiempo que se requiere para planificar su horario de transporte, además permite optimizar otros recursos (Ríos, 2004, p.40).

**Búsqueda Tabú:** La búsqueda tabú guía un procedimiento de búsqueda local para explorar el espacio de soluciones más allá del óptimo local (Duarte, 2007, p.46).

**Colonia de hormigas:** Es el comportamiento de la Hormigas naturales específicamente en la forma en la que encuentran sus alimentos (Hernández, 2016, p.53).

## BIBLIOGRAFÍA

**MONTUFAR, Marco; et al.** *Investigación de operaciones* [en línea]. México: grupo editorial, 2018. [Consulta: 6 de agosto 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/32wDUfY>

**RÍOS, Sixto; et al.** *Investigación operativa* [en línea]. Madrid-España: centro de estudios ramón areces, S.A., 2004. [Consulta: 10 de agosto 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=sV6nDAAAQBAJ&pg=PA16&dq=evolucion+historica+de+la+investigacion+operativa&hl=es>

**AUGUS, Casanovas & CUATREACAS, Luis.** *Logística empresarial* [en línea]. España: Gestión 2000 S.A., 2003. [Consulta: 08 de agosto 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=o9PO4afIPpQC&pg=P>

**RUIZ, Lisa & VIDAL, Urdiales.** *Modelo de optimización del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de Reque para mejorar la eficiencia de operaciones* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Señor de Sipán, Facultad De Ingeniería Arquitectura Y Urbanismo, Ingeniería Industrial. Chiclayo-Perú. 2016. pp. 41-42. [Consulta: 2019-12-08]. Disponible en: [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/2314/RUIZ\\_LIZA\\_y VIDAL\\_URDIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3dmdG30qYH9w6e-tSN1GGnwPsZNNOrXDN4i2RqVc9inwnZSNCw3HjHPgg](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/2314/RUIZ_LIZA_y VIDAL_URDIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3dmdG30qYH9w6e-tSN1GGnwPsZNNOrXDN4i2RqVc9inwnZSNCw3HjHPgg)

**KONG, Maynard.** *Investigación de operaciones* [en línea]. Lima-Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010. [Consulta: 11 de agosto 2019]. Disponible en: [https://kupdf.net/download/kong-maynard-investigaci-oacute-n-de-operaciones-programaci-oacute-n-lineal-problemas-pdf\\_58fb61bcd0d60de62959ec6\\_pdf?fbclid=IwAR2DIpFdoeQmIxKuzrwrA\\_QeaJ8CICOrpNTNi\\_4chl23caINsia4oAJdMQro](https://kupdf.net/download/kong-maynard-investigaci-oacute-n-de-operaciones-programaci-oacute-n-lineal-problemas-pdf_58fb61bcd0d60de62959ec6_pdf?fbclid=IwAR2DIpFdoeQmIxKuzrwrA_QeaJ8CICOrpNTNi_4chl23caINsia4oAJdMQro)

**G.D, Eppen; et al.** *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa* [en línea]. 5.<sup>a</sup> ed. Monterrey- México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A, 2000. [Consulta: 13 de agosto 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=DW-vtFYqh0YC&pg=PA13&dq=variables+de+decision+y+parametros&hl=es>

**GONZÁLES, Ángel; et al.** *Administración de operaciones estrategia y análisis* [en línea]. 5.<sup>a</sup> ed. México: Pearson educación de México, S.A, 2000. [Consulta: 13 de agosto 2019]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=B6LAqCoPSeoC&pg=PA639&dq=variables+de+decisi%C3%B3n+y+parametros&hl=es>

**Enciclopedia financiera.** *Diccionario Económico* [en línea]. [Consulta: 13 de agosto del 2019.]. Disponible en: <https://www.encyclopediainfinanciera.com/definicion-funcion-objetivo.html>

**CARDONA, Sergio; et al.** *Introducción a la programación en Java* [en línea]. Quindío-Colombia: Ediciones Elizcom, 2008. [Consulta: 16 de agosto 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=gBpepg-qrDoC&pg=PA22&dq=lenguaje+de+programacion+java&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwierY-p67PIAhViqlkKHdCtDJ0Q6AEIRjAE#v=onepage&q=lenguaje%20de%20programacion%20java&f=false>

**HERNÁNDEZ ORTIZ, Yimy Alexander.** *Diseño De Un Sistema De Ruteo De Vehículos Con Múltiples Depósitos En Empresas De Transporte De Carga Por Carretera* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad De Ingeniería, Ingeniería Industrial. Bogotá-Colombia. 2016. p. 19. [Consulta: 2019-08-20]. Disponible en: [http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3600/1/Hern%C3%A1ndezOrtizYimyAlexander2016.pdf?fbclid=IwAR1QjqLX2mI1Z5V25z9uMILHRPH\\_4N\\_ICL9e\\_Ddx5XG63K8DQ91vclIDRkA](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3600/1/Hern%C3%A1ndezOrtizYimyAlexander2016.pdf?fbclid=IwAR1QjqLX2mI1Z5V25z9uMILHRPH_4N_ICL9e_Ddx5XG63K8DQ91vclIDRkA)

**ARIAS HERNADEZ, Claudia Patricia.** *Análisis e implementación del algoritmo genético de chubeasley para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y su variante, el Problema de Rutas de Vehículo (VRP)* [en línea] (Trabajo de Titulación). (Ingeniería) Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad De Ingenierías, Sistemas Y Computación, Pereira-Colombia. 2015. pp. 11-61. [Consulta: 2019-08-23]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5384/0063823A696.pdf?sequence=1>

**MARTÍNEZ, Cristian Alejandro.** *Meta heurísticas híbridas aplicadas al problema de ruteo de arcos capacitados* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Buenos Aires, Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Computación. Buenos Aires-Argentina. 2011. pp. 44-48. [Consulta: 2019-08-22]. Disponible en: [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n4979\\_Martinez.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4979_Martinez.pdf)

**COOK, William J.** *In Pursuit of the Traveling Salesman", Mathematics at the Limits of Computation.* [en línea]. United State of America. 2012. pp. 14-42. [Consulta: 22 de agosto 2019]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Pursuit-Traveling-Salesman-Mathematics-Computation/dp/0691152705&>

**MENDOZA GUAMÁN, Edgar Fabián & CULLAY ASHQUI, Sergio Javier.** *Optimización De Las Operaciones Logísticas, En Las Rutas Urbanas De Recolección De Desechos Sólidos En La Empresa Pública Municipal Gidsa Ambato* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Industrial. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 14-18. [Consulta: 2019-08-28]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9600/1/85T00504.pdf>

**DUARTE, Abraham; et al.** *Metaheurísticas* [en línea]. Madrid-España: Dykinson. 2007. [Consulta: 28 de agosto 2019]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=KHWqm14sf1cC&pg=PA2&dq=agente+viajero+tsp&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9npeDnq\\_mAhWM2FkKHdclCOkQ6AEIPjAD#v=onepage&q=agente%20viajero%20tsp&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=KHWqm14sf1cC&pg=PA2&dq=agente+viajero+tsp&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9npeDnq_mAhWM2FkKHdclCOkQ6AEIPjAD#v=onepage&q=agente%20viajero%20tsp&f=false)

**CHAVES TORRES, Anívar.** *Aprenda a diseñar algoritmos* [en línea]. Bogotá-Colombia: Sello editorial Unad. 2017. [Consulta: 1 de septiembre 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=SCpADwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+un+algoritmo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj1maOZtLXmAhWwxFkKHfyTBSEQ6AEILjAB#v=onepage&q=que%20es%20un%20algoritmo&f=true>

**MARTIN GARCÍA, Elena & VALEIRAS REINA, Gerardo.** *Sistemas evolutivos y selección de indicadores* [en línea]. Sevilla-España: Universidad de Sevilla, secretariado de publicaciones. 2004. [Consulta: 8 de septiembre 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Js4LaCfNMUC&pg=PA27&dq=busqueda+tabu&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwinkbCz2bjmAhXoRd8KHf2XBkMQ6AEIJzAA#v=onepage&q=busqueda%20tabu&f=true>

**TUYA, Javier; et al.** *Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software* [en línea]. La Coruña-España: Netbiblo. 2007. [Consulta: 8 de septiembre 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=PZQoZ9KTNaEC&pg=PA301&dq=busqueda+tabu&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwinkbCz2bjmAhXoRd8KHf2XBkMQ6AEILzAB#v=onepage&q=busqueda%20tabu&f=true>

**RIOJAS CAÑARI, Alicia Cirila.** *Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N-reinas* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Ciencias matemáticas, E.A.P. DE. Investigación Operativa. Lima-Perú. 2005. pp.30-48. [Consulta: 2019-09-15]. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/riojas\\_ca/cap3.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/riojas_ca/cap3.pdf)



**GLOVER, Fred & MELIÁN, Belén.** *Búsqueda Tabú. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial* [en línea], 2003, (United State of America), 19 (1). pp. 29-48. [consulta: 20 de septiembre 2019]. ISSN 1137-3601. Disponible en: <http://www.aepia.org/revista>

**PÉREZ CANO, Ana Isabel.** *Problema de Transporte Multiterminal y Contenedores MultiSize: Dos enfoques metaheurísticos con Python* [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Dep, de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Sevilla-España. 2017. pp. 37-39. [Consulta: 2019-12-01]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/dc23/6bb92d1c3d3a92c57055f737ebfb71deb6de.pdf>

**MALDONADO CASTAÑEDAS, Carlos E.** *Derivas de complejidad. Ciencias sociales y tecnologías convergentes* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad del Rosario, 2013. [Consulta: 2019-12-05]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=8qGkDwAAQBAJ&pg=PA43&dq=algoritmo+del+vecino+mas+proximo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiO263-1ObmAhVGmuAKHYDyB1EQ6AEIRDAD#v=onepage&q=algoritmo%20del%20vecino%20mas%20proximo&f=true>

**CUEVAS D, Francisco.** *Control de costos y gastos en los restaurantes* [en línea]. México: limusa, S.A, 2002. [Consulta: 2019-12-07]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=QII5DonAH5oC&pg=PA20&dq=control+financiero&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjrmOCm4ObmAhWrTN8KHTn9BJ0Q6AEIMDAB#v=onepage&q=control%20financiero&f=true>

**VÁSQUEZ ALEXANDER, Guzmán; et al.** *Contabilidad financiera* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad del Rosario, 2005. [Consulta: 2019-12-08] Disponible en: [https://books.google.com/books/about/Contabilidad\\_financiera.html](https://books.google.com/books/about/Contabilidad_financiera.html)

**PERIS RIPOLLÉS, Guillermo,** *Hormigas y transferencia de datos en Internet* [blog]. [Consulta: 10 de diciembre 2019]. Disponible en: <https://naukas.com/2016/10/18/hormigas-transferencia-datos-internet/>

**PONCE GALLEGOS, Julio Cesar & PADILLA DIAZ, Ponce.** *Optimización de un algoritmo de colonia de hormigas mediante cuda para resolver problemas de ruteo de vehículos* [en línea] (trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias Básicas, Departamento de Ciencias de la Computación. Aguascalientes-México. 2014. p.79. [Consulta: 2019-12-11]. Disponible en: <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/401/396605.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**REVUELTA MARTÍNEZ, Tamara**, *Desarrollo y aplicación del algoritmo de Optimización basado en Colonia de Hormigas (ACO) para la resolución del Problema del Viajante Asimétrico (ATSP)* [en línea] (trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Valladolid, Escuela de ingenierías industriales. Valladolid – España. 2015. pp.73-85. [Consulta: 2019-12-25]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/16894/TFG-I-362.pdf;jsessionid=62016E5C5D44B492445D4BF5A5BF94A6?sequence=1>

**DORINGO, Marco & STÜTZLE, Thomas**. *Ant Colony Optimization*. London-England: A Bradford Book. [Consulta: 2020-01-02]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Ant\\_Colony\\_Optimization.html?hl=es&id=\\_aefcpY8GiEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Ant_Colony_Optimization.html?hl=es&id=_aefcpY8GiEC&redir_esc=y)

**GONZÁLEZ MUÑOZ, Araceli & ESCUDERO SANTANA, Alejandro**. *Optimización de la distribución de contenedores entre las diferentes terminales de un Hub intermodal* [en línea] (trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas II. Sevilla-España. 2018. pp. 19-23. [Consulta: 20 enero 2020]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71124/fichero/TFM-1124-GONZALEZ.pdf>

**PASCUAL, Juan**. *localhost o IP 127.0.0.1* [blog]. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/internet/que-es-localhost-ip-127001-que-utiliza-48046>

**BOULANGER, Francisco Jiménez & ESPINOZA GUTIERRES, Carlos Luis**. *Costos Industriales* [en línea]. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica, 2007. [Consulta: 28 abril 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=jRdhIWgPe60C&printsec=frontcover&hl=es&source=gs\\_bse\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=jRdhIWgPe60C&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_bse_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**CÁSAS, Roberto**. *El análisis de la factibilidad económica* [en línea]. Paraguay: Proyecto IICA, 2002. [Consulta: 28 de febrero 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/El\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_la\\_factibilidad\\_econ%C3%B3mica.html?hl=es&id=ruwqAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/El_an%C3%A1lisis_de_la_factibilidad_econ%C3%B3mica.html?hl=es&id=ruwqAAAAYAAJ&redir_esc=y)

**OLAVARRIETA DE LA TORRE, Jorge**. *Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa* [en línea]. Lomas de Santa Fe-México: Universidad iberoamericana, 1999. [Consulta: 28 abril 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Conceptos\\_generales\\_de\\_productividad\\_sistemas\\_normalizaci%C3%B3n\\_y\\_competitividad\\_para\\_la\\_peque%C3%B1a\\_y\\_mediana\\_empresa.html?hl=es&id=EXzhFaRE9rUC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Conceptos_generales_de_productividad_sistemas_normalizaci%C3%B3n_y_competitividad_para_la_peque%C3%B1a_y_mediana_empresa.html?hl=es&id=EXzhFaRE9rUC&redir_esc=y)



## ANEXOS

### ANEXO A: FORMATO DE RECOLECCIÓN

Recolección sección Nocturna				
Lunes-viernes	Martes-Sábado	Miércoles	Jueves	Domingo
Policía (Parque)	Calle Fco. De Orellana-Col. Andoas	Vicentino	Calle 10 de Agosto	Col. Vicentino
Calle Sucre	Radio Mía	Vacas Galindo	Complejo México	Col. Vacas Galindo
Mercado Mariscal	Centinela	Policía "Parque"	Jacinto Dávila	Complejo México
Amazonas #1	Edipcentro	Mercado Mariscal	Av. Tnt. Hugo Ortiz	Jacinto Dávila
Amazonas #2	Amazonas #4	Amazonas #1	Calle Bolívar	A.v Tnt. Hugo Ortiz
Mercado la Merced	Amazonas #5	Amazonas #2	Amazonas #3	Calle Bolívar
Reina Cumanda "Parada"	24 de Mayo	Mercado la Merced	Amazonas #4- Amazonas #5	Calle 10 de agosto

Recolección sección Diurna		
Lunes-Jueves	Martes-Viernes	Miércoles-Sábado
Calle amazonas-Col. 12 de Mayo	Terminal	Calle Gonzales Suarez
Calle 9 de Octubre-Esc. Pompeya	Mercado el Dorado	Cdla. El Chofer Calle Carchi/El Oro
Av. Alberto Zambrano	Col. Orellana	Calle quito-Dique Pambay
Cdla. Paraíso	Calle Pomona	Calle 20 de Julio
Calle Lucindo Ortega	Picolino	Obrero Boayacu
Av. Tnt. Hugo Ortiz: Pab/Deportes - Morete puyo	Dique las palmas	Obrero Mirador
Plaza Cívica	Cdla. Miraflores	Calle Sucre Merced Jefatura de policía

## **ANEXO B: ENCUESTA**

**Fecha:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Nombre del entrevistado:** \_\_\_\_\_

**Empresa o institución:** \_\_\_\_\_

### **OBJETIVO:**

Identificar los inconvenientes que se puedan estar presentando en el proceso de recolección de desechos sólidos.

### **PREGUNTAS:**

**1.- ¿Cuenta con un sistema programado para el recorrido de rutas?**

No

Sí, pero no lo utilizo

Sí, pero es Ineficiente

Sí, pero no es claro

**2.- ¿Lleva a cabo con normalidad el recorrido?**

Si

No, falta tiempo

No, el camión se llena rápido

No, Escojo otras rutas de circulación

**3.- ¿El sistema actual es eficiente en el proceso de recolección?**

Si

No, incumple con la recolección necesaria

No, incumple con el recorrido necesario

**4.- ¿Cumple con el recorrido planificado para el proceso de recolección?**

No

No, sigo mi propia ruta

Sí, cumpla el recorrido planificado

Sí, sigo otras rutas cuando veo contenedores llenos

**5.- ¿Llega a visitar todos los contenedores de basuras especificados?**

No

No, visito solo los contenedores que se encuentran llenos

Sí, visito los contenedores especificados

Sí, en caso de ser necesario visito otros contenedores