



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**Optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos  
para mejorar la distribución de los productos de la compañía limitada  
PRODUALBA, ubicada en el cantón Pallatanga**

**MONSERRATH AMPARO PADILLA MUÑOZ**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN MATEMÁTICA MENCIÓN MODELACIÓN Y  
DOCENCIA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**JULIO 2023**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Monserrath Amparo Padilla Muñoz, declaro que el presente proyecto de investigación es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.



---

MONSERRATH AMPARO PADILLA MUÑOZ

No. Cédula 060382944-1

**©2023, Monserrath Amparo Padilla Muñoz.**

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.



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado: **Optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos para mejorar la distribución de los productos de la Compañía Limitada PRODUALBA**, ubicada en el cantón Pallatanga, de responsabilidad de la señorita Monserrath Amparo Padilla Muñoz, 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.

Dra. Narcisa de Jesús Salazar Álvarez, Mgtr.  
**PRESIDENTA**

NARCISA DE  
JESUS SALAZAR  
ALVAREZ

Firmado digitalmente por  
NARCISA DE JESUS  
SALAZAR ALVAREZ  
Fecha: 2023.07.07 12:27:08  
-05'00'

Dra. Jenny Margoth Villamarín Padilla, Mgtr.  
**TUTORA**



Firmado electrónicamente por:  
JENNY MARGOTH  
VILLAMARIN PADILLA

Ing. José Luis Llamuca Llamuca, Mgtr.  
**MIEMBRO**



Firmado electrónicamente por:  
JOSE LUIS LLAMUCA  
LLAMUCA

Ing. Fabian Patricio Londo Yanchambay, Mgtr.  
**MIEMBRO**

FABIAN  
PATRICIO  
LONDO  
YACHAMBAY

Firmado digitalmente  
por FABIAN PATRICIO  
LONDO YACHAMBAY  
Fecha: 2023.07.07  
14:13:08 -05'00'

Riobamba, julio 2023.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo investigativo lo dedico a Dios, por ser mi guía y darme la fuerza necesaria para concluir con éxito este gran anhelo. A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida, porque con su amor, trabajo, sacrificio han sabido formarme con buenos sentimientos y valores. A mi hijo David Alejandro quien es mi motor y mi mayor inspiración para nunca rendirme.

Monserrath.

## AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud a Dios por todas sus bendiciones y haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Mi profundo agradecimiento a la Compañía Limitada PRODUALBA por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo. Expreso un sincero agradecimiento a los miembros del tribunal de tesis en especial a mi tutora, Dra. Jenny Villamarín quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y paciencia me guio a través de cada una de las etapas de este trabajo. De igual manera mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias por su dedicación, apoyo incondicional y amistad. Finalmente, agradezco a mi familia por todo su amor, comprensión y respaldo para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido.

Monserrath

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Situación Problemática.</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Justificación de la investigación</b> .....	<b>2</b>
1.4.1 Justificación teórica .....	2
1.4.2 Justificación metodológica.....	2
1.4.3 Justificación práctica.....	3
<b>1.5 Objetivos</b> .....	<b>3</b>
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Antecedentes del Problema</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Bases Teóricas</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Modelo. ....	6
2.2.2 Modelos matemáticos .....	6
2.2.3 Pasos para la generación de un modelo. ....	7
2.2.4 Clasificación de los modelos matemáticos .....	7
2.2.5 El Modelo de Transporte.....	9
2.2.6 Transporte .....	12
2.2.7 Logística Terrestre en Ecuador. ....	14

2.2.8	Costos del transporte.....	15
2.2.9	Aspectos financieros .....	22
2.2.10	Descripción del Software .....	24
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>27</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Métodos de Investigación .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Población de Estudio. ....</b>	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>Técnicas de recolección de datos .....</b>	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Recolección y procesamiento de datos .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>31</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>31</b>
4.1.1	Costos.....	31
4.1.2	Costos fijos.....	31
4.1.3	Ingresos financieros .....	39
<b>4.2</b>	<b>Discusión de Resultados .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>41</b>
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Modelado Matemático del Sistema de Transporte.....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Ajustes en la compañía.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3</b>	<b>Información logística.....</b>	<b>45</b>
<b>5.4</b>	<b>Vehículo.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5</b>	<b>Modelo matemático desarrollado en Excel de Microsoft Office .....</b>	<b>48</b>
5.5.1	VRP Solver Console para la empresa .....	49
5.5.2	Ubicaciones.....	53
5.5.3	Distancias.....	53



5.5.4	Vehículos .....	54
5.5.5	Solución. ....	54
5.5.6	Visualización.....	55
<b>5.6</b>	<b>Caso práctico.....</b>	<b>55</b>
5.6.1	Ruta más rápida.....	56
5.6.2	Ruta más corta.....	60
5.6.3	Resultados .....	65
5.6.4	Interpretación de los resultados .....	65
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Representación matricial del método esquina noroeste.....	11
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación de los costos .....	17
<b>Tabla 2-3:</b> Resumen de costos y componentes.....	19
<b>Tabla 4-1:</b> Costos Fijos, mano de obra .....	31
<b>Tabla 4-2:</b> Costos fijos, mano de obra .....	32
<b>Tabla 4-3:</b> Gastos de legalización .....	32
<b>Tabla 4-4:</b> Detalle de gastos legalización.....	33
<b>Tabla 4-5:</b> Depreciación endeudamiento .....	33
<b>Tabla 4-6:</b> Depreciación .....	33
<b>Tabla 4-7:</b> Depreciación a lo largo de la vida útil .....	34
<b>Tabla 4-8:</b> Endeudamiento.....	34
<b>Tabla 4-9:</b> Depreciación, diario, semanal, anual .....	34
<b>Tabla 4-10:</b> Gastos administrativos .....	34
<b>Tabla 4-11:</b> Gastos administrativos mensual y anual.....	35
<b>Tabla 4-12:</b> Combustible .....	35
<b>Tabla 4-13:</b> Combustible, mes, anual .....	36
<b>Tabla 4-14:</b> Neumáticos .....	36
<b>Tabla 4-15:</b> Neumáticos, mensual, anual .....	37
<b>Tabla 4-16:</b> Mantenimiento preventivo.....	37
<b>Tabla 4-17:</b> Mantenimiento preventivo, por mes y año.....	38
<b>Tabla 4-18:</b> Mantenimiento correctivo .....	38
<b>Tabla 4-19:</b> Mantenimiento correctivo por mes y año .....	38
<b>Tabla 4-20:</b> Inversión por unidad vehicular .....	39
<b>Tabla 4-21:</b> Ingresos por tipo de carrera .....	39
<b>Tabla 5-1:</b> Clientes y cantidad promedio de producto solicitado .....	45
<b>Tabla 5-2:</b> Vehículo recomendado para la compañía PRODUALBA.....	48
<b>Tabla 5-3:</b> Datos de la compañía PRODUALBA (Ruta más rápida).....	56
<b>Tabla 5-4:</b> Datos del vehículo de la compañía PRODUALBA (Ruta más rápida).....	59
<b>Tabla 5-5:</b> Datos de la compañía PRODUALBA (Ruta más corta).....	60
<b>Tabla 5-6:</b> Datos del vehículo de la compañía PRODUALBA (Ruta más corta).....	63
<b>Tabla 5-7:</b> Resultados, ruta más rápida y ruta más corta .....	65
<b>Tabla 5-8:</b> Comparación de resultados, situación actual y modelo VRP .....	66
<b>Tabla 5-9:</b> Diferencia de distancia entre rutas .....	66
<b>Tabla 5-10:</b> Diferencia de tiempo entre rutas .....	67

<b>Tabla 5-11. Diferencia porcentual entre rutas.....</b>	<b>68</b>
---	-----------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1.</b> Modelo de Transporte con nodos y arcos .....	10
<b>Figura 3-1.</b> Técnicas de recolección de datos utilizadas en la investigación .....	28
<b>Figura 3-2.</b> Recorrido metodológico de la información .....	30
<b>Figura 5-1.</b> Mapa de distribución de los clientes de la compañía PRODUALBA	47
<b>Figura 5-2.</b> Vehículo de carga pesada .....	48
<b>Figura 5-3.</b> Ventana VRP Solver Console .....	49
<b>Figura 5-4.</b> Secuencia 0. Interfaz .....	49
<b>Figura 5-5.</b> Secuencia 1. Ubicaciones .....	50
<b>Figura 5-6.</b> Secuencia 2. Distancias .....	51
<b>Figura 5-7.</b> Secuencia 3. Vehículos .....	51
<b>Figura 5-8.</b> Secuencia 4. Solución .....	51
<b>Figura 5-9.</b> Secuencia 5. Visualización .....	52
<b>Figura 5-10.</b> Secuencia 6. Solucionador .....	52
<b>Figura 5-11.</b> Ventana emergente ubicaciones .....	53
<b>Figura 5-12.</b> Ventana emergente Distancias .....	54
<b>Figura 5-13.</b> Ventana emergente Vehículos .....	54
<b>Figura 5-14.</b> Ventana emergente Solución .....	55
<b>Figura 5-15.</b> Ventana principal VRP Solver Console, datos (ruta más rápida) .....	57
<b>Figura 5-16.</b> Ventana emergente Ubicaciones, datos (Ruta más rápida) .....	57
<b>Figura 5-17.</b> Mapa de clientes a quienes se entrega el producto (Ruta más rápida)	58
<b>Figura 5-18.</b> Ventana emergente distancias, datos PRODUALBA (Ruta más rápida).	58
<b>Figura 5-19.</b> Ventana emergente vehículos, datos PRODUALBA (Ruta más rápida).	59
<b>Figura 5-20.</b> Ventana emergente Solución. datos PRODUALBA (Ruta más rápida)	59
<b>Figura 5-21.</b> Ventana emergente Visualización, datos (Ruta más rápida) .....	60
<b>Figura 5-22.</b> Ventana principal VRP Solver Console, datos (Ruta más corta) .....	61
<b>Figura 5-23.</b> Ventana emergente Ubicaciones, datos PRODUALBA (Ruta más corta). .....	62
<b>Figura 5-24.</b> Mapa de clientes a quien se entrega el producto (Ruta más corta)	62
<b>Figura 5-25.</b> Ventana emergente Distancias, datos (Ruta más corta) .....	63
<b>Figura 5-26.</b> Ventana emergente Vehículos, datos PRODUALBA (Ruta más corta)	64
<b>Figura 5-27.</b> Ventana emergente Solución, datos PRODUALBA (Ruta más corta)	64
<b>Figura 5-28.</b> Ventana emergente Visualización, datos PRODUALBA (Ruta más corta) .....	64

**Figura 5-29.** Ruta más corta vs. Ruta más rápida .....67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 5-1.</b> Distancia recorrida en las diferentes rutas.....	66
<b>Gráfico 5-2.</b> Diferencia de tiempo entre rutas .....	68
<b>Gráfico 5-3.</b> Diferencia porcentual de costos entre rutas.....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Tabla general de resultados y de comparación.

**Anexo B.** Entrevista gerente de PRODUALBA

## RESUMEN

El objetivo fue desarrollar una optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos (VRP) para mejorar la distribución de productos de la compañía PRODUALBA ubicada en el Cantón de Pallatanga. Se utiliza un enfoque cuali-cuantitativo, documental y de campo, junto con un diseño no experimental de corte transversal y un alcance descriptivo. La metodología empleada incluye enfoques inductivos, deductivos, analítico-sintéticos y bibliográficos para investigar la eficacia y eficiencia del modelo matemático propuesto. Los resultados obtenidos muestran que es posible optimizar las rutas de dos formas diferentes. La primera se basa en la ruta más corta, lo cual resulta en una reducción del 26% en la distancia recorrida en comparación con el enfoque empírico. La segunda opción es la ruta más rápida, lo cual conduce a una reducción del 16% en los costos por hora recorrida en comparación con el enfoque empírico. En conclusión, este estudio demuestra que mediante la utilización de modelos matemáticos y algoritmos de optimización basados en VRP, es posible encontrar soluciones óptimas para la asignación de rutas, la planificación de horarios y la gestión de recursos de transporte. Estas soluciones permiten minimizar la distancia recorrida y los tiempos de entrega, y se recomienda la implementación de un sistema que facilite la planificación y gestión eficiente de rutas y horarios de entrega. Esto contribuirá a optimizar la asignación de recursos y reducir los tiempos de entrega, mejorando la satisfacción del cliente y la eficiencia general de la compañía.

**Palabras clave:** < MODELO MATEMÁTICO>, <OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA>, <TRANSPORTE>, <MODELO VEHICULAR VRP>



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS**



27-06-2023

0065-DBRA-UPT-IPEC-2023



## ABSTRACT

The objective was to develop a mathematical optimization based on the vehicle routing model (VRP) to improve the distribution of products of the company PRODUALBA located in the Canton of Pallatanga. A quali-quantitative, documentary and field approach is used, together with a non-experimental cross-sectional design and a descriptive scope. The methodology employed includes inductive, deductive, analytical-synthetic and bibliographic approaches to investigate the effectiveness and efficiency of the proposed mathematical model. The results obtained show that it is possible to optimize the routes in two different ways. The first is based on the shortest route, which results in a 26% reduction in the distance traveled compared to the empirical approach. The second option is the fastest route, which leads to a 16% reduction in costs per hour traveled compared to the empirical approach. In conclusion, this study demonstrates that by using mathematical models and optimization algorithms based on VRP, it is possible to find optimal solutions for route allocation, schedule planning and transportation resource management. These solutions help minimize distance traveled and delivery times, and it is recommended that a system be implemented to facilitate the efficient planning and management of routes and delivery schedules. This will help optimize resource allocation and reduce delivery times, improving customer satisfaction and overall company efficiency.

Keywords: <MATHEMATIC MODEL>, <MATHEMATIC OPTIMIZATION>, <TRANSPORT>, <VRP VEHICULAR MODEL>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 Situación Problemática.

La compañía limitada Produalba ubicada en el cantón Pallatanga se dedica a la fabricación y distribución de alimentos preparados para animales de granja. Las operaciones de logística y transporte de los productos se realizan de forma empírica, basándose en la experiencia del conductor; por lo que no se dispone de horarios ni rutas establecidas, ello ha provocado numerosos casos de retraso en las entregas y pérdidas económicas. Este problema se ha ido agravando por la alta rotación del personal, lo que ocasiona problemas de distribución, tiempo y dinero. Por ello, la empresa quiere implementar el uso de herramientas tecnológicas para mejorar la calidad en la distribución de sus productos.

La globalización es un hecho que ha llevado a cambios rápidos en la economía, haciendo que las demandas de bienes en nuestro entorno aumenten cada día. Como es el caso de la gestión de la cadena de suministro, el cual se ha convertido en una gran ventaja para el desarrollo en el sector empresarial, debido a que es el medio más importante en la competitividad. En la optimización combinatoria, el Problema de Rutas de Vehículos, a menudo conocido como VRP, se considera uno de los más difíciles. Su definición es la de planificar una ruta desde un centro de distribución hasta un grupo definido de clientes o lugares. Esto se refiere a la logística, que es la actividad principal que hace mucho más importante el enfoque de cómo gestionar con ella. Referente a la cadena de suministro, los componentes básicos son: las organizaciones, los clientes, las actividades y la información donde hay una interacción entre ellos. Otra característica importante al hablar de cadena de suministro es que esta se puede dividir en tres categorías: la compra, la fabricación y el transporte.

La competencia entre las empresas que prestan servicios de transporte es considerable, como resultado los costes aumentan con gran rapidez. Esto significa que la alta producción de bienes no puede ser entregada en corto tiempo, por lo que esta situación crea las necesidades de mejorar el transporte de los productos. Este hecho crea también la necesidad de aumentar el número y tipos de empresas de transporte. Como la demanda y los clientes siguen creciendo, ha provocado problemas en el: coste, modo y eficiencia del transporte. Las soluciones en problemas como estos se dan a partir del Modelo Matemático de Ruteo de Vehículos (VRP). El VRP tiene como objetivo principal diseñar una ruta con el mínimo coste y tiempo en la entrega, partiendo desde el depósito hacia un conjunto de clientes. Por lo tanto, se refiere a un problema de optimización que requiere la determinación de una solución óptima con un número de rutas utilizadas por una flota de vehículos.

Con base en lo anterior, es imperativo que la empresa cuente con una planificación y programación más adecuada para entregar el producto a sus clientes. Los sistemas de distribución inconsistentes pueden afectar los tiempos de entrega, los niveles de inventario inadecuados y otros problemas que afectan la competitividad de una empresa. Por ello, uno de los mejores apoyos a la toma de decisiones para la planificación de la distribución de productos, es la optimización matemática aplicando el modelo VRP.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Cómo el desarrollo de una optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos (VRP) influye en la distribución de los productos de la Compañía Limitada PRODUALBA del Cantón Pallatanga?

## **1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación.**

¿Cuál es la logística del transporte que se utiliza en la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga?

¿De qué forma se puede aplicar la optimización matemática a la logística del transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga?

¿Cómo validar el funcionamiento del modelo matemático aplicado a la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga?

## **1.4 Justificación de la investigación.**

### ***1.4.1 Justificación teórica.***

Este trabajo investigativo se realiza con el propósito de aportar con mayor conocimiento acerca de la importancia de la optimización matemática y VRP, de este modo, se construye un andamiaje teórico que sirve de base para la gestión administrativa, financiera y de cumplimiento. Se busca con ello, que la logística del transporte utilizada por la compañía sirva de referente para otras por los beneficios potenciales que se pueden obtener.

### ***1.4.2 Justificación metodológica.***

Ante la falta de trabajos que permitan mejorar el proceso de distribución de mercancía en las ciudades de Ecuador, este estudio pretende contribuir en este campo investigativo, ofreciendo un método matemático de optimización basado en VPR, que busca reducir el tiempo y distancia en el reparto de productos de la compañía PRODUALBA y así pueda competir con redes de distribución exitentes. La utilidad metodológica de esta investigación se fundamenta en las características tanto de la población como del lugar de estudio, la utilización de modelos de ruteo

de vehículos, la aplicación de algoritmos de optimización, la evaluación y validación del modelo propuesto. Gracias a esto, futuras investigaciones podrán hacer uso de ella, de manera que se posibilitarán análisis conjuntos y compartivos.

#### ***1.4.3 Justificación práctica.***

La compañía enfrenta retos muy grandes en lo relacionado a la cadena de distribución de productos, siendo crucial la manera como llega y atiende los mercados y los clientes, por tal razón, la implementación de la optimización matemática basado en VRP tiene mucha importancia al mejorar la eficiencia operativa, la reducción de costos, la satisfacción del cliente y la capacidad de adaptación a la demanda y al crecimiento empresarial, desde un punto de vista práctico.

### **1.5 Objetivos.**

#### ***1.5.1 Objetivo general.***

Desarrollar una optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos (VRP) para mejorar la distribución de los productos de la compañía limitada PRODUALBA ubicada en el Cantón de Pallatanga.

#### ***1.5.2 Objetivos específicos.***

1. Diagnosticar la logística del transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga.
2. Aplicar la optimización matemática a la logística del transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga.
3. Validar el funcionamiento del modelo matemático aplicado a la Compañía Limitada PRODUALBA del cantón Pallatanga.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1 Antecedentes del Problema.

En varios países alrededor del mundo se han desarrollado optimizaciones matemáticas que son utilizadas para prever desajustes en los volúmenes de transporte de productos y/o los flujos de vehículos (Oviedo & Puris, 2018). La presente investigación acorde a la problemática en la gestión de transporte pretende crear un modelo matemático para optimizar tiempo y costos en la distribución de los productos de la empresa PRODUALBA, por lo cual es importante que se revisen los diferentes modelos matemáticos que existen y conocer sus características.

El modelo de transporte de productos tiene sus raíces en la modelización de la demanda de pasajeros basada en la actividad. El enfoque basado en la actividad se adoptó para hacer hincapié en los aspectos de comportamiento del transporte de productos. La modelización basada en la actividad pretende superar varias deficiencias en la práctica, entre ellas: conversiones burdas de los flujos de productos en flujos vehiculares, escasa explicación de los vehículos vacíos e incapacidad de los modelos agregados para prever los impactos debidos a los cambios en las estructuras logísticas (Oviedo et al., 2018).

El trabajo de investigación *Freight Travel Demand Modeling: Synthesis of Approaches and Development of a Framework*, indica que la modelización del transporte tiene cuatro pasos que pueden aplicarse al transporte de productos, incorpora elementos y aspectos exclusivos de esta actividad y también las diferencias que pueden existir entre los sectores industriales y los tipos de productos, las posibles colaboraciones intermodales y los niveles geográficos de agregación (Rześny-Cieplińska et al., 2021). Provocando que el modelo de cuatro pasos recopile y forme una base de datos, incluyendo datos demográficos, socioeconómicos, industriales, de actividad económica y de la red multimodal (Ortúzar, 2000). Además de información sobre el flujo de productos, recuentos de clasificación de camiones y otros movimientos de transporte de productos del año base, para estimar y calibrar los componentes del modelo (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Los modelos matemáticos de actividad económica se refieren al uso del suelo e incorporan mecanismos de retroalimentación con los costes del transporte de productos (Rave & Álvarez, 2013). Estos modelos se usan para la elección de rutas racionales de transporte de productos, utilizando la carretera, el ferrocarril y el transporte fluvial y teniendo en cuenta los parqueaderos particulares de las distintas instalaciones de transporte. Las relaciones establecidas entre los principales factores que influyen en el proceso de transporte de productos también fueron

definidas mediante dos criterios clave generalizados, a saber, los costes y los gastos de transporte (Gonzalez et al., 2015).

Un modelo de previsión de pasajeros y productos a nivel estatal basado en un modelo económico y de comportamiento del uso del suelo. La optimización del modelo en sí, es una combinación de siete módulos conectados, algunas representaciones agregadas que se basan en soluciones de equilibrio y otras micro simulaciones dinámicas basadas en agentes (Potvin, 2009). El sistema del modelo evoluciona en el tiempo, provocando que los cambios demográficos de los hogares, las decisiones de localización residencial, las opciones de empleo, la formación asociada y los patrones de actividad diaria se representen mediante micro simulación.

Otro modelo de optimización matemática para la distribución de productos, es el modelo de ruteo de vehículos (VRP); este consiste en diseñar rutas óptimas de entrega o recogida desde un depósito central a un conjunto de clientes geográficamente dispersos, con sujeción a diversas restricciones (Ruiz Moreno et al., 2020). El VRP sirve para generar tiempos de viaje de enlaces fiables por medio de una combinación de datos espacialmente desagregados y agregados sobre las condiciones de tráfico simuladas en una red vial urbana. Por medio de este modelo de optimización se logró obtener rutas óptimas de los vehículos de carga (Zapata Cortes et al., 2020). El VRP para minimizar el tiempo de ruta y el nivel de emisión de los vehículos, incluye en el modelo características seleccionadas de la infraestructura de transporte urbano como: las distancias, los límites de velocidad, las zonas o el efecto de las horas punta. Considera también los diferentes tipos de vehículos según los requisitos de la tarea, las características de las emisiones y las condiciones cambiantes del tráfico. El modelo se implementa en una representación de una red de transporte real y se resuelve para los datos dados con dos heurísticas por pasos, basadas en un algoritmo (Sánchez Galván et al., 2017).

Por ejemplo, una dificultad especial de optimización es el de Problema de Rutas de Vehículos Mixtos Cerrados y Abiertos, en un sistema de transporte (Serrano Cervantes & Montero García, 2019). La optimización matemática se codifica sin delimitadores de viaje, provocando que el procedimiento de evaluación del entorno se transforme en el problema del camino más corto restringido. El rendimiento del VRP se comprueba en una serie de casos de prueba, incluyendo instancias a pequeña escala y a gran escala (Granillo Macias et al., 2019).

Integrar el Problema de Rutas de Vehículos (VRP) con una hoja de cálculo, se trata de una solución basada en Excel de código abierto para resolver numerosas formas del problema de rutas de vehículos. La optimización matemática ha permitido reducir los costes de transporte y mejorar las rutas de una flota de vehículos fija (Enciso-Gómez et al., 2019).

## **2.2 Bases Teóricas.**

### **2.2.1 Modelo.**

Al referirnos a la palabra modelo se consideran diferentes interpretaciones. Un modelo no es más que una descripción simplificada, especialmente matemática de un sistema, para ayudar a realizar cálculos y predicciones. Además, un modelo es un proceso mediante el cual se pueden expresar fenómenos reales a fin de determinar las causas y las posibles soluciones racionales de un problema (Argueta et al., 2014).

En general al tener un modelo se puede realizar y determinar mediante el uso de ecuaciones matemáticas las causas y efectos de un fenómeno que puede estar representado en la vida real o de forma empírica. El uso de estas ecuaciones da como resultado la creación de un modelo matemático, el cual es una actividad cognitiva en la que se piensa y se elaboran modelos para describir el comportamiento de dispositivos u objetos de interés (Martínez et al., 2014).

Dado que la modelización de elementos y mecanismos constituye un aspecto imprescindible para la ciencia y la tecnología, los científicos y los investigadores disponen de razones muy concretas para realizar modelos matemáticos. Además, los ingenieros, científicos y matemáticos quieren experimentar el puro placer de formular y resolver problemas matemáticos (Brea, 2013).

### **2.2.2 Modelos matemáticos.**

Actualmente existen diferentes dispositivos o elementos que se usan para determinar el comportamiento de fenómenos. Podemos utilizar palabras, dibujos o bocetos, modelos físicos, programas informáticos o modelos matemáticos. La modelización matemática es una actividad basada en elementos que tienen a la vez principios y métodos que pueden aplicarse con éxito (Caballero & Grossmann, 2007).

Los principios generales de la naturaleza y de la filosofía, se formulan como preguntas sobre las intenciones y propósitos de la modelización matemática. Los métodos dentro una modalización matemática están además basadas en principios matemáticos que incluyen: la homogeneidad dimensional, la abstracción y el escalado, los principios de conservación y equilibrio y las consecuencias de la linealidad (Millán Páramo et al., 2014).

Diferentes principios metodológicos de modelización se plasman en la siguiente lista de preguntas y respuestas:

- **¿Por qué?** ¿Qué buscamos? Identificar la necesidad del modelo
- **¿Encontrar?** ¿Qué queremos saber? Enumerar los datos que buscamos.

- **¿Dado?** ¿Qué sabemos? Identificar los datos relevantes disponibles.
- **¿Asumir?** ¿Qué podemos asumir? Identifica las circunstancias que se aplican
- **¿Predecir?** ¿Qué predecirá nuestro modelo? Identifica las ecuaciones que se utilizarán, los cálculos que se harán y las respuestas que se obtendrán. resultado.
- **¿Verificar?** ¿Son buenas las predicciones? Identifique las pruebas que pueden realizarse para verificar el modelo, es decir, ¿es útil en términos de la razón inicial por la que se hizo?
- **¿Utilización?** ¿Cómo vamos a ejercitar el modelo? ¿Qué haremos con el modelo?

Hay que tener en cuenta que la lista presentada constituye un procedimiento para construir un modelo matemático. Sin embargo, siempre se debe tener interrogantes individuales presentes, ya que a medida que el modelo avance, las preguntas se irán repitiendo, generando un enfoque general de la modelización matemática (Fernández-Vargas & Bonilla-Petriciolet, 2014).

### ***2.2.3 Pasos para la generación de un modelo.***

Construir un modelo matemático para un proyecto puede ser una tarea difícil pero interesante, para ello, es necesario conocer a fondo los conceptos científicos subyacentes, también es mejor trabajar en equipo para disponer de más capacidad de reflexión. En la industria y la ingeniería, es habitual que un equipo de personas trabaje conjuntamente en la construcción de un modelo, aportando cada uno de los miembros del equipo diferentes áreas de experiencia al proyecto que, si bien los problemas requieren métodos de solución muy diferentes, los siguientes pasos muestran un enfoque general del proceso de modelización matemática:

- Identificar el problema, definir los términos del problema y dibujar diagramas cuando sea necesario.
- Comenzar con un modelo sencillo, indicando las suposiciones que hace al centrarse en aspectos particulares del fenómeno.
- Identificar las variables y constantes importantes y determinar cómo se relacionan entre sí.
- Desarrollar la(s) ecuación(es) que expresan las relaciones entre las variables y las constantes.

Este proceso de perfeccionamiento debe continuar hasta que se obtenga un modelo que se ajuste lo más posible a las observaciones del mundo real del fenómeno que se ha propuesto modelar (Puente et al., 2013).

### ***2.2.4 Clasificación de los modelos matemáticos.***

Hoy en día existen innumerables clasificaciones de modelos matemáticos que poseen aspectos diferentes el uno del otro, un ejemplo de esta diferencia son los modelos determinísticos y



probabilísticos; estos dos tipos de modelización se pueden distinguir por si usan probabilidades o no. Mientras que, existen modelos que se consideran intervenciones temporales. Estos modelos se pueden clasificar de forma estática o dinámica, este último modelo generalmente se refiere a modelos que están interesados en la evolución de un sistema en particular a lo largo del tiempo (Quintero González, 2016).

A continuación, se mencionan algunos modelos que son generalmente utilizados:

#### *2.2.4.1 Modelos en función del objeto de estudio.*

Al igual que los propios modelos, el objeto de estudio puede representar una amplia gama de objetos de la vida real, pero en general la gama de los objetos puede dividirse en dos grandes categorías: objetos simples y sistemas de objetos. Un objeto simple es aquel que tiene una estructura interior despreciable de cara a la presente investigación. Un ejemplo de este tipo de objeto simple es un punto material ingravido en la mecánica clásica. Por el contrario, un sistema-objeto constituye un conjunto de piezas interconectadas y divididas por algún límite externo y que reaccionan con el conjunto del entorno. Un ejemplo de objeto sistema puede ser el modelo de un avión que se compone de una serie de elementos y subsistemas y tiene que interactuar con el entorno durante su funcionamiento (Serna-Uran et al., 2016).

#### *2.2.4.2 Modelo en función del modelo operador.*

Otra forma de clasificar los modelos matemáticos se basa en el operador que el modelo representa. El operador puede variar en función del objeto para el que se utiliza el modelo. Se denomina a un modelo lineal cuando su agente utiliza relaciones lineales con las salidas y las entradas del propio modelo. Los modelos no lineales son aquellos en los que el operador utiliza dependencias no lineales entre las salidas y las entradas. Son más difíciles de analizar y no tienen la propiedad de superposición en comparación con los modelos lineales (Ruiz et al., 2017).

#### *2.2.4.3 Modelos basados en los parámetros del modelo.*

Cada modelo matemático puede utilizar hasta cuatro conjuntos de parámetros distintos y no superpuestos (1) Parámetros de entrada que se utilizan como entradas para el operador del modelo. (2) Parámetros de salida que son devueltos por el operador del modelo a partir del conjunto de las entradas del modelo. (3) Parámetros influyentes e incontrolables que no pueden ser influenciados directamente por el diseñador del modelo y que pueden afectar directamente a los parámetros de salida del modelo. (4) Parámetros influyentes y controlables que el diseñador del modelo puede controlar y ajustar directamente durante el funcionamiento del modelo y que pueden afectar directamente a los parámetros de salida del modelo (Castaño et al., 2018).

#### *2.2.4.4 Modelos basados en función del objetivo de modelización.*

Según el objetivo de la modelización, los modelos se clasifican en descriptivos, de optimización y de decisión. Por ejemplo, un modelo de un cohete espacial lanzado desde un punto de la tierra es descriptivo, ya que su objetivo es definir la velocidad y las coordenadas del cohete en un momento dado después del lanzamiento. Los modelos de optimización se utilizan para encontrar los parámetros óptimos del objeto de estudio dados los criterios de optimización. Un ejemplo de este tipo de modelos puede ser el modelo destinado a encontrar la menor masa posible de un cohete lanzado desde la Tierra para alcanzar un determinado punto en el espacio (Callejas-Cuervo et al., 2014).

#### *2.2.4.5 Modelos basados en los métodos de aplicación del modelo.*

En función de los detalles de aplicación, los modelos matemáticos pueden dividirse en dos categorías. (1) Los modelos analíticos son los que permiten expresar analíticamente sus parámetros de salida, como una combinación de operaciones matemáticas sobre sus entradas, parámetros controlables y no controlables. Ejemplos de estos modelos pueden ser el modelo de la trayectoria de una pelota lanzada hacia arriba con la velocidad conocida y bajo el ángulo conocido con respecto al horizonte. (2) Los modelos algorítmicos son aquellos en los que los resultados del modelo se calculan de forma aproximada, siguiendo el enfoque algorítmico; estos modelos algorítmicos se dividen en modelos numéricos y de simulación (Gonzalez et al., 2015).

#### **2.2.5 El Modelo de Transporte.**

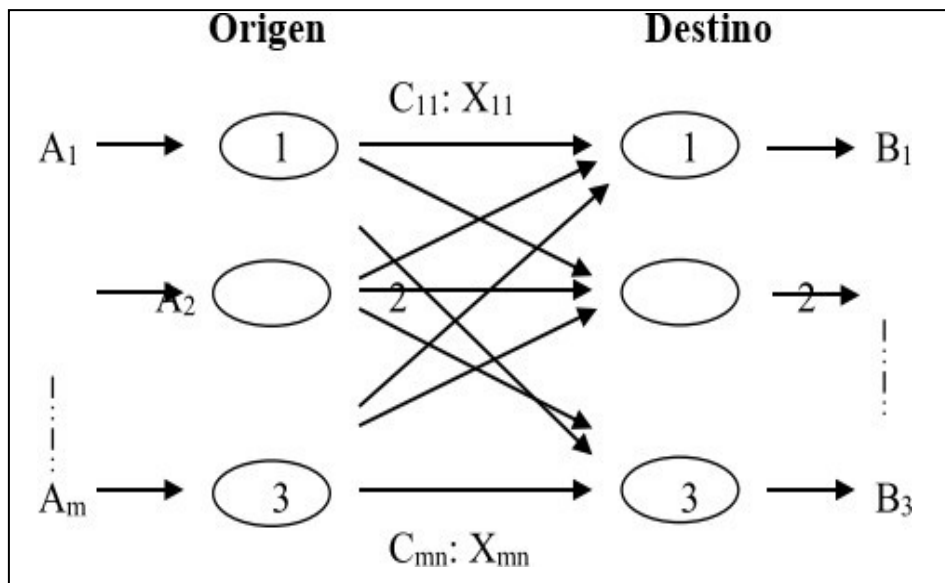
Los modelos de transporte son una representación sistemática del complejo sistema de transporte y uso del suelo del mundo real, tal y como existe. Son herramientas poderosas para evaluar el impacto de las opciones de infraestructura de transporte y para identificar cómo es probable que funcione el sistema de transporte en el futuro, lo que es esencial para el desarrollo de una práctica de planificación urbana eficaz. Los modelos de transporte utilizan relaciones matemáticas para representar las numerosas y complejas decisiones que toman las personas en materia de desplazamientos, de modo que se pueda predecir la demanda futura y reproducir las pautas de viaje observadas en distintos niveles geográficos (Batero Manso et al., 2018).

El desarrollo y la aplicación de modelos de transporte son fundamentales para la evaluación de muchas iniciativas porque:

- Proporciona un marco analítico para evaluar las demandas existentes en el sistema de transporte y proyecta demandas futuras para probar sistemáticamente el impacto de las opciones de transporte y uso del suelo.
- Permite la generación de medidas cuantitativas para proporcionar indicadores clave en la evaluación del caso de negocio y la valoración económica.

### 2.2.5.1 Definición del Modelo de Transporte.

La distribución que muestra la **Figura 2-1** representa el modelo de transporte en la cual hay  $m$  fuentes y  $n$  destinos, cada uno representado por un nodo. Los arcos muestran las rutas entre origen-destino. El arco  $(i, j)$  que une la fuente  $i$  con el destino  $j$  lleva dos datos: el coste de transporte por unidad,  $C_{i,j}$  y la cantidad enviada  $X_{i, j}$ . La cantidad de oferta en la fuente  $i$  es  $a_i$ , y la cantidad de demanda en el destino  $j$  es  $b_j$ . El objetivo del modelo es determinar las incógnitas  $X_{i, j}$  que minimicen el coste total del transporte satisfaciendo todas las restricciones de oferta y demanda (Ruiz-Meza & Ruiz-Meza, 2021).



**Figura 2-1.** Modelo de Transporte con nodos y arcos.  
*Fuente:* (Ruiz-Meza, 2021).

Los modelos matemáticos al ser basados en ciencias exactas como las matemáticas pueden presentar variaciones en su diseño con el fin de poder adoptar o generar una optimización del modelo. Una de las variaciones de modelado más utilizadas es la programación lineal; mediante esta variación se puede definir un plan óptimo para minimizar costos asociados a la distribución de mercancías desde un origen hasta el destino (Vesga Ferreira et al., 2016).

### 2.2.5.2 Modelos de Transporte.

La implantación de infraestructuras y servicios de transporte se deriva de los resultados de la planificación y modelización del transporte. La modelización y la simulación del transporte, como interfaz en el proceso de planificación, desempeñan un papel importante a la hora de permitir el desarrollo espacial. Los modelos desarrollados por los profesionales de la planificación del transporte son representaciones simplificadas de la realidad que pueden utilizarse para explorar las consecuencias de determinadas políticas, estrategias y cambios espaciales (Sánchez et al.,

2022). Los modelos prevén la demanda de transporte en función del desarrollo espacial, la población y el crecimiento económico, lo que se traduce en la creación de viajes adicionales en la red de carreteras que requieren la ampliación o la provisión de infraestructuras para una variedad de modos de transporte. Por ello, se han creado diferentes métodos de transporte como son (1) método de la esquina noroeste, (2) método de costos mínimos, (3) método de Vogel y (4) método de RUSSEL (Neri & Cotta, 2012).

*Método de la Esquina Noroeste.*

La solución inicial factible del problema de transporte puede calcularse utilizando la regla de la esquina noroeste. Esta estrategia se conoce como la esquina noroeste ya que las variables primarias se seleccionan desde el extremo izquierdo. He aquí un ejemplo de cómo podría explicarse la noción de esquina noroeste (Jia et al., 2019):

**Tabla 2-1:** Representación matricial del método esquina noroeste

<b>Destino</b> <b>Origen</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>Suministro</b>
<b>A</b>	5	8	4	50
<b>B</b>	6	6	3	40
<b>C</b>	3	9	6	60
<b>Demanda</b>	<b>20</b>	<b>95</b>	<b>35</b>	<b>150</b>

Fuente: Jia et al., 2019

Realizado por: Padilla M, 2023

La premisa que permite solucionar el problema de transporte consiste en que la demanda resulte ser igual a la oferta. En cambio, si la demanda es mayor que la oferta, se agrega un lugar de origen ficticio según la **Tabla 2-1**. La demanda del lugar de origen ficticio coincide con la brecha entre la oferta total y la demanda total. Por lo tanto, el coste asociado al origen ficticio es nulo (Rizopoulos & Esztergár-Kiss, 2020).

*Método de Costos Mínimos.*

Otro enfoque para encontrar una solución inicial y viable al problema del transporte es emplear el método del coste mínimo. En este caso, la asignación comienza con la celda más barata. Las celdas con los costes de transporte más bajos se eligen sobre las celdas con los costes de transporte más altos. Se cree que la técnica del coste mínimo es mejor que el método de la esquina noroeste, porque tiene en cuenta los costes de transporte a la hora de asignar; mientras que, el enfoque de

la esquina noroeste sólo tiene en cuenta la disponibilidad y los requisitos de suministro y asigna desde la esquina más a la izquierda (Ortega, 2021)

#### *Método de Vogel.*

Se utiliza para encontrar una primera solución factible a un problema de transporte. El procedimiento comienza encontrando las dos celdas de menor coste para cada fila y columna en la matriz del problema de transporte. Restando el menor de estos costes del otro, se obtiene un número de Vogel para cada fila y columna. Se selecciona el número de Vogel más grande y se realiza la primera asignación a la celda de menor coste correspondiente, donde la asignación es la cantidad máxima que se puede enviar desde el origen correspondiente al destino correspondiente (Ortega et al., 2021). Después de cada asignación, los números de Vogel se vuelven a calcular en función de las filas y columnas restantes de la matriz. El procedimiento se repite hasta que se realizan todas las asignaciones (envíos).

#### *Método de Russel.*

Consiste en realizar una distribución entre diferentes cantidades de objetos desde el origen al destino de la manera óptima. La resolución del problema de optimización de los costes de transporte mediante el método de aproximación de Russel puede decirse que tiene la misma lógica o método de trabajo utilizando el método de aproximación de Vogel. (1) Se ordena la matriz de valor de los costes de transporte y el valor de la capacidad de cada fuente en columnas y filas, (2) se encuentra el valor de coste más alto para cada fila y columna, (3) resta cada valor de coste en las columnas y filas a su mayor coste, (4) selecciona la celda que tiene el mayor valor negativo del cálculo del paso 2 (dos) y luego asignar las mercancías o productos en la celda, (5) repita el paso 2 hasta el paso 4 hasta que todos los productos estén distribuidos y (6) si la asignación se ha completado, entonces calcula el coste de distribución (Ortega et al., 2021).

#### **2.2.6 Transporte.**

El transporte, el movimiento de bienes y personas de un lugar a otro y los diversos medios por los que se realiza dicho movimiento. Los modos de transporte son el aire, el ferrocarril, la carretera, el agua, el cable, las tuberías y el espacio. Este campo puede dividirse en infraestructuras, automóviles y operaciones. El transporte es importante porque permite el comercio entre individuos, lo que a su vez establece civilizaciones (Moyano et al., 2018).

El transporte terrestre incluye los desplazamientos a pie, en bicicleta, en transporte público y el uso de vehículos privados y de mercancías. El transporte afecta a la salud, tanto de forma beneficiosa como perjudicial (Ortega, et al., 2020). Los efectos positivos incluyen el ocio, el ejercicio y el acceso al empleo, la educación, las tiendas, las redes de apoyo social, los servicios

sanitarios y el campo. Los efectos negativos son la contaminación, las lesiones causadas por el tráfico, el ruido, el estrés y la ansiedad, el peligro, la ruptura de la comunidad, la pérdida de tierras y la pérdida de la planificación (Ortega, et al., 2020).

El transporte terrestre es, en segundo lugar, después de la generación de energía, el mayor emisor de CO<sub>2</sub> a nivel mundial, cubriendo alrededor del 23% de las emisiones totales globales. El transporte terrestre representó 4,58 Gt y 6,54 Gt, lo que supone un aumento de aproximadamente el 43%. Dentro del transporte por carretera, los automóviles y los camiones ligeros producen más del 60% de las emisiones, pero en los países en desarrollo de ingresos bajos y medios, los camiones de carga consumen más combustible y emiten más CO<sub>2</sub> que los automóviles y los camiones ligeros (Ortega, Tóth, Péter, et al., 2020).

#### *2.2.6.1 Transporte terrestre de carga pesada.*

El transporte terrestre de mercancías se define como el proceso de traslado remunerado de mercancías, bienes, cargas y otros productos de un lugar a otro mediante el uso de vehículos con ruedas, originalmente sólo se denominaba transporte por mar, pero posteriormente se hizo posible el transporte de mercancías por tierra y aire. (Ortega Jairo, Tóth János, 2019).

Es el transporte de artículos que no pueden ser transportados en unidades de carga normales, como contenedores, o que requieren el uso de un vehículo particular.

Se trata de un tipo de transporte especial que puede realizarse por tierra, mar o aire y que requiere equipos y elementos especializados para su manipulación y transporte en función del modo de transporte (Tsugawa, 2013). El método más común de transporte de carga pesada a través de las fronteras internacionales es el camión, que es el preferido por una amplia gama de empresas de transporte internacional (Nadarajah & Bookbinder, 2013).

La longitud máxima de un vehículo articulado no debe superar los 16,5 metros y la anchura máxima no debe superar los 2,5 metros. Sin embargo, un vehículo con estas características puede no ser capaz de transportar una gran cantidad de peso. Por ello, se necesitarán vehículos más grandes o capaces de transportar más de 40 toneladas (Sánchez & Gutiérrez, 2022).

Debido al peso de la carga, se debe obtener un permiso de circulación específico. Si el vehículo que se utiliza lleva una carga que supera la masa, el tamaño o la presión del pavimento máximos del Reglamento General de Vehículos, se debe adquirir este permiso (Ruiz-Meza, 2021).

Las autorizaciones especiales pueden dividirse en tres categorías. En primer lugar, los vehículos con una longitud máxima de 20,55 metros, una anchura máxima de 3 metros, una altura máxima de 4,5 metros y un peso máximo de 45 toneladas con carga reciben un permiso genérico.

Los vehículos con una longitud y un peso superior o igual a 24,55 metros y que no superen las 100 toneladas requieren un tipo de permiso adicional.

Por último, la autorización única es para camiones de hasta 100 toneladas de peso y 24,55 metros de longitud, 4,5 metros de altura y 5 metros de anchura.

#### *2.2.6.2 Transporte de carga pesada en Ecuador.*

El parque automotor del país ha presentado un crecimiento exponencial debido a que cada vez la población aumenta. Uno de los sectores que ha palpado este crecimiento exponencial son los sistemas de transporte debido a que al aumentar la población la necesidad de transportarse ya sea por trabajo, estudios, turismo u otras también aumentan. Por ello es muy importante que se realicen investigaciones sobre este sector más aún si se trata no solo del transporte de personas si no también del transporte de mercancías. Dentro del territorio ecuatoriano se destacan diferentes sistemas de transporte, entre los cuales tenemos: (1) el sistema de transporte terrestre, (2) el transporte aéreo y (3) el transporte marítimo (Ayala Landeros et al., 2021)

#### *2.2.7 Logística Terrestre en Ecuador.*

Aunque el envío por vía aérea puede ser una opción conveniente para las empresas, los métodos tradicionales de envío por tierra tienen más sentido en muchos casos. El transporte terrestre tiende a proporcionar un transporte seguro y asequible a la vez que envía el producto de forma consistente. Los clientes también pueden utilizar la logística terrestre para los envíos de corta y larga distancia y personalizar los servicios a sus necesidades específicas. Países como el Ecuador han priorizado el desarrollo del sector logístico terrestre como un eje central para sus exportaciones para hacer frente a las demandas emergentes o las cadenas de producción nacional. Un ejemplo de esto es el desarrollo de nuevas tecnologías en el área de entrega y recepción de mercancías a través de un rastreo satelital para transporte de carga o telemetría; mediante estas tecnologías se puede dar seguimiento de múltiples indicadores fuera o dentro del camión que son fundamentales al momento de gestionar una flota en las rutas de entregas (Zapata Cortes et al., 2020).

### *2.2.7.1 Costo de transporte Ecuador.*

La Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial es la encargada de aplicar la normativa y los planes nacionales para estos medios de transporte, a través de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, que en su primer artículo menciona: “Esta Ley tiene por objeto la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan de un lugar a otro por la red vial del territorio ecuatoriano, y a las personas y lugares expuestos a las contingencias de dicho desplazamiento, contribuyendo al desarrollo socio-económico del país en aras de lograr el bienestar general de los ciudadanos”.

Además, una de sus responsabilidades es la realización de investigaciones asociadas a la regulación tarifaria de los servicios de transporte terrestre, en las múltiples modalidades que le encomienda la ley para el cumplimiento de sus funciones. Al respecto menciona la misma Ley en el Art. 3.- El Estado garantizará que la prestación del servicio de transporte público se ajuste a los principios de seguridad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, con tarifas socialmente justas.

### *2.2.8 Costos del transporte.*

Los costos de transporte terrestre son los gastos que asume una empresa o proveedor para realizar las funciones de entrega de mercancía a los clientes finales. En el proceso de transportación se incluyen varios costos: combustible, mantenimiento, rodamientos, lubricantes, mano de obra, entre otros. Los costos pueden dividirse en fijos y variables, los primeros no están relacionados directamente con el volumen de carga, mientras que los segundos tienen que ver directamente con éste; sin embargo, se puede decir que todos los costos son parcialmente fijos y parcialmente variables por cuanto no existe una asignación precisa entre ellos (Gámez-Pérez et al., 2019).

#### *2.2.8.1 Estructura de componentes para cálculo del costo de una ruta de transporte.*

Para calcular la carga pesada por kilómetro, el modelo matemático basado en VRP, examina la estructura de los componentes. La financiación de la inversión y la amortización de la deuda también se compone de:

- Ingresos percibidos y kilómetros disponibles.
- El coste de funcionamiento de un vehículo.
- Costes predeterminados
- Costes que están sujetos a cambios



- Análisis del presupuesto
- Tomar una decisión en función de los resultados mostrados en la cuenta de resultados
- Análisis de costes/beneficios
- Determinación de la inversión

La identificación de la inversión la proporciona el valor monetario incurrido en la obtención del bien que se usará en el proceso de producción (Colque et al., 2021). En este caso en particular, la inversión estará compuesta por los siguientes rubros: inversión, compra de carrocería y compra de chasis. Puede obtener esta información solicitando presupuestos a varios fabricantes de automóviles, talleres de carrocería y proveedores de sistemas o consultando las facturas correspondientes que avalan la inversión.

#### *Demanda.*

Las encuestas sobre el terreno o los informes del sistema (si están disponibles) pueden ayudar a determinar el tipo de carga empleada por el sistema de transporte investigado.

Para la optimización matemática basada en VRP se elaboró una ficha con los orígenes y destinos de los diferentes tipos de carga analizados. Para ello primero se realiza la clasificación de carga (Arango Serna et al., 2017).

#### *Carga general.*

Estos productos requieren un embalaje especializado para distinguirlos entre sí. La carga puede manipularse de dos formas únicas: individualmente o como parte de una unidad mayor. La carga general unificada, que se refiere a las cargas que se embalan juntas para el proceso logístico, es un subconjunto de la carga general que puede manipularse individualmente. Ambos enfoques tienen ventajas y desventajas. Las unidades se utilizan en todos los casos para determinar el peso total de la carga.

#### *Carga a granel.*

Dado que se trata de comercio preparado para ser transportado directamente y que el propio medio de transporte hace las veces de contenedor, a menudo especializado, este tipo de carga no se contabiliza en unidades, sino según criterios basados en su volumen (Hurtado-Bringas et al., 2018).

En otras palabras, son artículos que se transportan sin su embalaje original y se envían "sultos". Por poner algunos ejemplos, los productos en cuestión suelen ser gases, líquidos u otras sustancias que, por la propia naturaleza de su composición, son difíciles de envasar.

#### 2.2.8.2 Costos de operación.

En lo referente a la estructura de costos operativos de transporte de carga por carretera, los propietarios de los vehículos para mantenerlos en capacidad óptima de servicio incurren en costos que se determinan en consideración a factores como son: frecuencia de ocurrencia del costo y el valor asignado a cada costo, que dan como resultado el costo por movilizar una tonelada de carga por kilómetro recorrido (Moreno Alba et al., 2021).

En la **Tabla 2-2** se muestran algunos ejemplos de los costos clasificados en fijos y variables en el transporte:

**Tabla 2-2:** Clasificación de los costos.

Costos Fijos	Costos Variables
Salario conductor	Precio de Combustible
IESS Aporte patronal	Llantas
Fondos de Reserva	Mantenimiento del vehículo
Décimo Tercer Sueldo	Baterías
Décimo Cuarto Sueldo	Imprevistos
Vacaciones	
Seguro de vehículo	
Matrícula de vehículo	
Depreciaciones	
Amortizaciones	
Viáticos	
Peajes	

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito (ANT)

Realizado por: Padilla M, 2023

Esto se refiere a todos los rubros que se incurre para mantener en operación el servicio de transporte comercial de una unidad y se componen de los siguientes costos (Zamora Torres & Pedraza Rendón, 2013):

- Costos fijos.

- Costos variables.
- Costos de capital.

Mediante la aplicación de la Ecuación 1 se calcula los costos operativos.

**Ecuación 1:**

$$CO = \sum(Cfi + Cvi + Cci)$$

Dónde:

CO: Costos operacionales mensuales

Cfi: Costos fijos Mensuales

Cvi: Costos Variables Mensuales

Cci: Costos de capital mensual

*Costos fijos.*

El principal coste fijo que se analiza es el de la mano de obra, que se compone de los gastos del conductor, del personal administrativo, por tanto, se refiere a la organización de la empresa. Estos son conceptos económicos en los que el propietario de una unidad incurre de forma obligatoria e independientemente del nivel de operaciones, para poder prestar el servicio (Camarena, 2014).

**Ecuación 2:**

$$Cfi = \sum(MO + Seg + Leg + GA + GOP)$$

Dónde:

Cfi: Costos fijos mensuales

MO: Gasto mensual en mano de obra

Seg: Gasto en seguros para el vehículo

Leg: Gastos en legalización

GA: Gastos administrativos

GOP: Gastos operativos

**Tabla 2-3:** Resumen de costos y componentes.

<b>Costos</b>	<b>Componentes</b>
Mano de obra	Sueldo del conductor
Seguros	Seguro privado anual
Legalización	Matriculación vehicular Permisos de operación y habilitación Revisión vehicular Impuesto fiscal
Gastos Administrativos	Cuotas sociales Otros gastos administrativos
Gastos Operativos	Comunicación de radios Garaje

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Sueldo del conductor:** Salario mensual del conductor, esto se puede obtener según la Comisión Sectorial No. 17 “Transporte, Almacenamiento y Logística”

**Matriculación vehicular:** La matrícula está dividida en varios valores como son Impuesto a la propiedad, Impuesto ambiental, Tasa de matriculación, Impuesto al Rodaje.

**Permisos de operación y habilitación:** Cuadro tarifario, en el cual se detalla el permiso de operación de vehículos de transporte público fijado en doscientos dólares americanos.

**Revisión vehicular:** El objetivo principal de la inspección técnica de vehículos es garantizar que los automóviles cumplen un nivel mínimo de seguridad, teniendo en cuenta los criterios que se aplican a su diseño y fabricación.

**Impuesto fiscal:** Aunque la matrícula del vehículo sea válida, el propietario debe pagar cada año el impuesto sobre la propiedad de los vehículos de transporte terrestre y de mercancías. Para establecer el impuesto a pagar, el SRI utiliza el valor de tasación del vehículo como base imponible. En el caso de los vehículos nuevos, la tasación se basa en el precio de venta al público más alto comunicado por los concesionarios, mientras que, en el caso de los vehículos con más de un año de antigüedad, la tasación se basa en el precio de venta al público más alto comunicado

por los concesionarios, menos un 20% de depreciación anual, sin que el valor residual sea inferior al 10% del precio comunicado inicialmente.

*Gastos Administrativos.*

**Cuotas sociales:** Corresponde a los rubros basados de acuerdo con los estatutos o reglamentos internos de las empresas (Luyando Cuevas et al., 2014).

*Gastos Operativos.*

**Comunicación a través de radios:** En las organizaciones de servicios comerciales, se utiliza un localizador por radio para comunicarse con un centro de llamadas que le ayudará en su trabajo.

**Garaje:** Una consideración importante en relación con los automóviles es el espacio físico en el que se deja el vehículo cuando no se utiliza durante un periodo de tiempo desconocido.

*Costos variables.*

Los costes variables corresponden a los conceptos que están en función del nivel de actividad de la propia empresa de transporte; es un valor directamente proporcional, puesto que, si el nivel de actividad aumenta, dicho valor también se incrementa y viceversa. Los costes variables incluyen las siguientes (Bravo et al., 2007):

- Combustible
- Neumáticos
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Correctivo

Para calcular los costos variables se aplica:

**Ecuación 3:**

$$Cvi = \sum(Com + Rod + MPre + Mco)$$

Dónde:

Cvi: Costos variables mensuales

Com: Gasto en combustible

Rod: Gasto en Neumáticos

MPre: Mantenimiento preventivo

Mco: Mantenimiento correctivo

**Combustible:** Es la cantidad de dinero que se destina cada día a la compra de combustible para garantizar que un vehículo pueda funcionar con normalidad y que la industria del transporte pueda seguir generando ingresos. La potencia del motor, las condiciones de conducción y el valor de la unidad de combustible afectan a la cantidad de combustible que se paga.

**Neumáticos:** Se refiere a los rubros destinados a la adquisición de neumáticos y sistema de traslación y desplazamiento del vehículo.

**Mantenimiento Preventivo:** Las revisiones y separaciones de equipos e instalaciones forman parte del mantenimiento rutinario, y estas piezas se incluyen en esta categoría. Se realiza en los automóviles para evitar o minimizar los efectos de las averías, previniendo los problemas antes de que se produzcan.

**Mantenimiento Correctivo:** Las cosas que están destinadas a arreglar o remediar los problemas del vehículo se denominan "artículos de corrección". Los gastos de reparaciones y piezas de recambio que no se prevén por la necesidad de sustituir algún equipo se producen cuando existe una avería o un fallo, que no se puede evitar de antemano.

#### **Inversión Total.**

El coste del capital constituye la cuota mínima de beneficio que se exige a los diferentes tipos de refinanciación, y que sirve para que el dueño del camión pueda afrontar el coste de los medios financieros requeridos para hacer frente a la inversión (Izar-Landeta et al., 2016).

#### **Ecuación 4**

$$Ck = Tc \frac{CP}{CP + D} + Kd(1 - 1f) \frac{D}{CP + D}$$

Dónde:

Ck: Costo de Capital

Tc: Tasa de interés real

CP: Capital Propio

D: Endeudamiento

Kd: Interés de Deuda

If: Impuesto fiscal (SRI)

Es preciso considerar la adquisición del vehículo, por lo cual un tanto por ciento pertenecerá al endeudamiento y otro a los fondos propios.

## **Costo Promedio por km de transporte por pasajero.**

El objetivo de este indicador es conocer la eficiencia en costos del kilómetro por pasajero.

### **Ecuación 5:**

$$CPTT = \frac{\left(\frac{CT}{TI}\right)}{n}$$

$CPTT =$	Costo Promedio por km de transporte por pasajero
$CT =$	es el costo total en la operación I
$TI =$	representa las toneladas o pasajeros totales movilizados en la operación i
$n =$	el número de km en período año

### **2.2.9 Aspectos financieros.**

La deficiente oferta de transporte público es suplida por el servicio particular y vehículos que actúan de forma pirata, los cuales permiten el traslado de personas y mercancías a la mayoría de las comunidades con acceso vehicular. Esta dinámica incide en el incremento del costo de transportación y el aumento de medios utilizados para desplazarse de forma cotidiana (Ramírez Huerta, 2018).

#### **2.2.9.1 Descripción Técnica.**

*Factibilidad:* Un proyecto se considera práctico si tiene un plan que puede llevarse a cabo y ha sido sometido a análisis técnicos, financieros y socioeconómicos fundamentales.

*Viabilidad:* La viabilidad financiera conlleva el estudio sectorial y medioambiental, el análisis de mercado, el informe técnico, el diagnóstico legal, el informe administrativo. La confirmación de cada una de las evaluaciones para la viabilidad del proyecto establece al menos tres tipos de viabilidad: técnica, legal y económica.

*Estudio Sectorial:* Tanto el comportamiento como las circunstancias de los sujetos a los que se refiere el término "medio ambiente" están influidos por una compleja red de aspectos y situaciones naturales, artificiales, socioculturales, económicas, políticas y tecnológicas.

*Estudio de Mercado:* Implica recopilar, planificar, analizar y transmitir información esencial sobre la situación del mercado en relación con el proyecto. Dependiendo del nivel de detalle y precisión necesario, estas investigaciones pueden ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa.

*Demanda y Oferta:* La oferta se refiere a los productos o servicios que un fabricante ofrece para satisfacer la demanda de un cliente de un determinado bien o servicio.

*El Precio:* es el valor expresado en dinero de un bien o servicio ofrecido en el mercado.

*Definición del producto:* El transporte combinado tiene cualidades que lo definen como tal: facilidad de compra, disponibilidad rápida y demanda constante. Como resultado del proceso de producción puede ser un artículo o un servicio. En este caso, sería un servicio de consumo.

*Análisis de la demanda:* La comunidad utiliza un objeto para satisfacer sus deseos, definidos como la necesidad o demanda de los compradores o consumidores del servicio. Esto se conoce como uso comunitario.

*Análisis de la oferta:* Es la capacidad de los productores de satisfacer las necesidades de los clientes prestando un servicio a la comunidad local y creando así valor mediante un procedimiento operativo.

*Evaluación Técnica:* La ubicación del proyecto, su tamaño, dimensiones y emplazamiento, así como la capacidad diseñada, instalada y utilizada, deben mostrarse para establecer si el proyecto se ajusta o no a las necesidades del mercado.

*Localización:* Para que un proyecto tenga éxito, debe situarse en un lugar en el que pueda alcanzar sus objetivos declarados, como cubrir el mayor número de personas.

*Legal:* Los requisitos legales, los gastos fiscales y jurídicos y la estructura jurídica del proyecto forman parte de este proceso. Por ello, si hay normas vigentes que pueden ayudar o dificultar el progreso del proyecto o costarle más dinero a largo plazo; es necesario un análisis minucioso de las leyes vigentes en todo el horizonte temporal del proyecto.

*Evaluación Social:* Para, identificar a los que se beneficiarán del proyecto y a los que soportarán sus costes financieros y no financieros, se debe examinar cómo afectaría este proyecto en las comunidades locales y a la normativa de contratación vigente.

*Evaluación Organizacional:* Hay que examinar a fondo tanto la fase de ejecución del proyecto como su fase de funcionamiento, así como su estructura administrativa de gestión, para determinar la estructura organizativa que se empleará para administrar este proyecto. La definición de los recursos humanos necesarios, sus perfiles, funciones y responsabilidades, la asignación de compensaciones, los planes de formación, el tipo de contratación y la estructura adecuada también forman parte del proceso.



### ***2.2.10 Descripción del Software.***

Excel y Google Sheets tienen la capacidad de organizar las rutas mediante la acumulación de toda la documentación relevante. Sin embargo, estos programas no permiten optimizar los desplazamientos, es decir, sacar el máximo partido a los recursos logísticos disponibles. Estas plataformas son muy útiles, pero su función fundamental no es la optimización. Sin embargo, en el mejor de los casos, habrá encontrado un espacio para que todos sus clientes realicen una entrega o una visita. Para ello la siguiente información es necesaria (Cardoso-Vargas, 2016):

- Kilómetros recorridos.
- Clientes
- Consumo de combustible.

Combinado la hoja de cálculo habitual, un programa de optimización de rutas permite alcanzar un nuevo objetivo más ambicioso: lograr una organización óptima de los recursos, teniendo en cuenta un conjunto de restricciones. En otras palabras, un programa de optimización de rutas (Rojas Amaya, 2014).

En resumen, los programas de optimización conciben y calculan todos los escenarios posibles y eligen el mejor. El programa establece las alternativas más favorables en pocos minutos, gracias a potentes algoritmos (Delgado Jalón et al., 2014).

#### ***2.2.10.1 Escenarios.***

Hay varios factores que intervienen en el diseño de una ruta de transporte logístico, tanto internos como externos a la empresa. PERLOG: Perfil Logístico de América Latina, por ejemplo, muestra que el transporte por carretera se utiliza cada vez más como modo principal de distribución logística en América Latina. De hecho, la concentración del transporte por carretera en la región es 15 veces mayor que la de Estados Unidos. La calidad y la disponibilidad de las carreteras suponen un problema para el tránsito logístico terrestre, así como la selección de las diferentes rutas de transporte.

Estas condiciones hacen que la optimización de las rutas de transporte sea aún más crítica para garantizar la eficacia de los procedimientos de distribución logística. Dependiendo del lugar al que se dirija, hay dos tipos distintos de rutas a tener en cuenta:

1. La entrega al cliente final se realiza mediante una ruta de transporte de distribución. Las regiones urbanas sirven como centros de distribución para estas operaciones de última milla.

2. Las rutas de transporte de larga distancia son las que entregan grandes cantidades de producto a través de largas distancias, tanto a nivel nacional como internacional, utilizando camiones u otros medios de transporte (Sánchez Toledano et al., 2014).

Como alternativa, se pueden implementar los siguientes tipos de rutas de transporte de acuerdo con la estrategia:

- Los lugares de entrega y recogida en circuito cerrado pueden ser continuos o discontinuos durante un periodo de tiempo determinado en rutas de transporte fijas.
- Las rutas que pueden reprogramarse para adaptarse a las necesidades cambiantes del cliente se conocen como rutas de transporte dinámicas. Las unidades de transporte de productos se utilizan de forma más eficiente que en el pasado.

#### 2.2.10.2 Simulación.

La simulación es una técnica numérica que se utiliza para la realización de experimentos en un computador, en ella se considera toda la teoría relacionada con los procesos, aquí se considera situaciones reales que cambian por otras creadas artificialmente.

En los últimos años, la simulación de procesos ha llegado a ser una herramienta adecuada y oportuna de apoyo para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. Para aplicar estas simulaciones existen en la actualidad una gran variedad de simuladores de procesos.

En el ámbito del sector del transporte, los sistemas de movilización se pueden considerar como un proceso crítico para las empresas manufactureras, ya que éstas deben trasladar las materias primas y los productos terminados desde sus orígenes hacia sus destinos. El sistema definitivo se da con la participación de los siguientes modelos:

**Modelo Conceptual:** Análisis del desempeño del sistema de transporte que se está utilizando en el traslado de productos.

**Modelo Computacional:** El enfoque de mejoramiento del sistema de transporte en el sector de la transportación terrestre de carga.

A partir de los resultados de la simulación del modelo de transporte se realiza un análisis del estado de algunas variables de salida o respuesta del sistema de transporte como:

- Cantidad de servicios de transporte programados y cantidad obtenida
- Tiempo promedio de traslado
- Cantidad de productos en cola en centros de acopio
- Tiempo promedio en cola en centros de acopio
- Capacidad utilizada en el vehículo de carga
- Los resultados obtenidos del modelo de transporte se comparan con los estándares en el mercado de la transportación.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito desarrollar una optimización matemática, basada en el Modelo de Ruteo de Vehículos (VRP) de manera que se minimice el tiempo y la distancia en la distribución de los productos de la Compañía Limitada PRODUALBA del Cantón Pallatanga, basado en un enfoque cuali-cuantitativo, documental y de campo, el diseño es de carácter no experimental de corte transversal. El proyecto tiene un alcance descriptivo en el que se detalla el problema de la distribución de productos, se muestra con precisión el funcionamiento y se identifican las variables a medir a fin de recolectar los datos que sirven de base para esta investigación, es muy importante para esto, ser precisa en la observación de las situaciones y el contexto en el que se dan los eventos que son necesarios registrar.

Lo primero fue realizar un análisis de tipo documental basado en información teórica extraída de fuentes como artículos científicos, revistas, secciones de libros, informes, etc., que ayudó para la formación de criterios y contar con una amplia visión del tema y de ese modo facilitar su comprensión e interpretación.

#### 3.2 Métodos de Investigación

Los métodos empleados en la investigación son:

##### **Inductivo:**

En el método inductivo se procede de lo particular a lo general para esto se observa, identifica regularidades y pautas, formula principios y generalizaciones de los hechos y registros que posea la empresa, es decir proporciona una base empírica sólida de la información obteniendo la derivación de la problemática, para abordar la optimización del ruteo de vehículos, asegurando una comprensión contextualizada del problema y la generación de soluciones innovadoras y orientadas a la realidad de la Compañía.

##### **Deductivo:**

En el método deductivo que va de lo general a lo particular, en este caso se utiliza la síntesis, sinopsis, demostración de forma esquemática la problemática de la investigación, mediante mapas y gráficos, utilizando procesos rigurosos y estructurados que abordan la optimización del ruteo de vehículos, asegurando una fundamentación teórica sólida, resultados coherentes y validados para la Compañía.

### **Analítico - sintético:**

El método analítico – sintético descompone un problema complejo en partes más pequeñas y abordar cada parte por separado antes de volver a sintetizarlas en una solución compleja.

Partiendo de que el VRP es un problema complejo que involucra la distribución óptima de una cantidad limitada de recursos (vehículos) para atender a un conjunto de clientes, minimizando ciertas restricciones como: distancias, tiempos, costos, etc., proporciona un marco sólido y riguroso para abordar la optimización del ruteo de vehículos, asegurando una comprensión profunda del problema y una propuesta de solución efectiva y viable para la Compañía.

### **Bibliográfico:**

La fuente primaria que se utilizó en la presente investigación correspondiente a la planificación del proceso logístico y transporte estipulada en la literatura, fundamentando teóricamente la investigación a través de la revisión bibliográfica es esencial para contextualizar la investigación, establecer una base sólida y generar aportes significativos al campo de estudio.

### **3.3 Población de Estudio.**

La población o universo de estudio está constituida por el gerente, el chofer de la Compañía Limitada PRODUALBA y las 15 empresas a las que se entrega el producto desde el cantón Pallatanga.

### **3.4 Técnicas de recolección de datos.**

La información fue recolectada a través de una matriz de observación, permitiendo recopilar información de la compañía. Para complementar, se realizaron entrevistas al gerente de la compañía. En la **Figura 3-1** se ilustra las técnicas de recolección de datos utilizadas y que sirvieron de base para desarrollar el modelo matemático.



**Figura 3-1.** Técnicas de recolección de datos utilizadas en la investigación

Realizado por: Padilla M, 2023

### **3.5 Recolección y procesamiento de datos.**

Luego de la recolección de datos se utilizó la hoja electrónica excel para el procesamiento de información y así poder evidenciar la optimización de tiempo y distancia, posteriormente esta información sirvió para el desarrollo del software. A continuación, se presenta el recorrido metodológico que sigue esta investigación para luego exponerlo de manera clara en la **Figura 3-2** para un mejor entendimiento.

Este trabajo se dividió en siete fases y subfases:

#### **Fase 1.-** Recolección de información sobre los modelos matemáticos

Esta fase se descompone en los siguientes puntos:

- Pasos para generar un modelo matemático.
- Clasificación de modelos matemáticos.
- Modelo de transporte

#### **Fase 2.-** Recolección de datos y procesamiento de información de la C.L. PRODUALBA.

#### **Fase 3.-** Definición de la propuesta la misma que consta de:

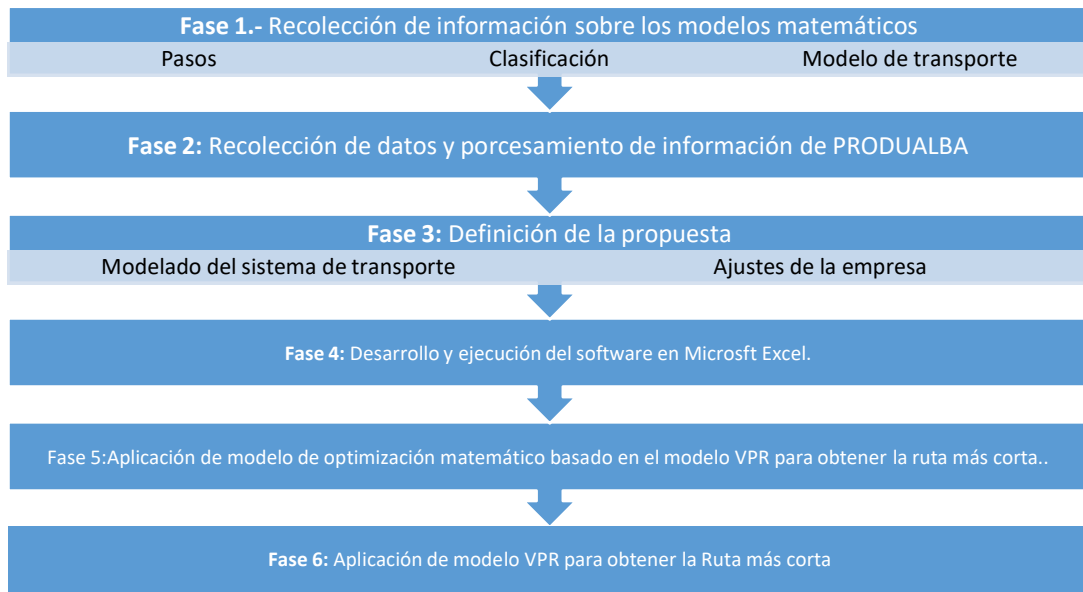
- Modelado del sistema de transporte
- Ajustes de la empresa

#### **Fase 4.-** Desarrollo y ejecución del software en Microsoft Excel.

**Fase 5.-** Aplicación de modelo de optimización matemático basado en el modelo VPR para obtener la ruta más rápida.

**Fase 6.-** Aplicación de modelo de optimización matemático basado en el modelo VPR para obtener la ruta más corta.

**Fase 7.-** Interpretación de resultados.



**Figura 3-2.**Recorrido metodológico de la información.

**Realizado por:** Padilla M, 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Según el levantamiento de la información descrita en el Capítulo III y en base a la matriz de observación, la entrevista realizada al gerente se conoció a detalle la operación de la compañía. Determinando que la empresa no cuenta con un orgánico establecido. Por ello se basa en evidencias que la compañía posee sobre costos, así como orígenes y destinos. A continuación, se presenta los resultados de la información recopilada:

#### 4.1 Resultados.

Levantamiento de información sobre el aspecto económico de la empresa y con respecto a operar un vehículo o camión de carga pesada son presentados a continuación.

##### 4.1.1 Costos.

Los costes son examinados por unidad de transporte, con unidades de transporte aprobadas. Por lo tanto, trabajan una media de 24 días al mes, con un promedio de 6 días por semana o 4 semanas al mes. Por ello, el estudio se basa en el gasto anual, que corresponde a los 12 meses del año, las 52 semanas y los 365 días.

##### 4.1.2 Costos fijos.

###### 4.1.2.1 Gastos Mano de Obra.

Los elementos de gasto de mano de obra incluyen el salario del conductor, que es esencial para que la unidad siga funcionando y siga prestando un servicio óptimo.

**Tabla 4-1:** Costos Fijos, mano de obra

Ítem	Valor \$
Sueldo Mensual	614.8
Aportaciones al IESS Mensual	68.6
Sueldos y Aportación Anual	8,200.7
13ro Sueldo	614.8
14to Sueldo	400.0
Fondos reserva	614.8
Vacaciones	307.4
Costo Anual	10,137.8
Número de personas	1



Ítem	Valor \$
Costo Subtotal	10,137.8
Factor de proporcionalidad	1.0
Costo Total	10,137.8

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

En la **Tabla 4-2** se observan los costos fijos en que incurre la empresa de manera diaria, semanal, mensual y anual. Dato importante que finalmente nos permitirá ir alimentando en software de manera puntual.

**Tabla 4-2:** Costos fijos, mano de obra.

Item	Unidad Promedio
Gasto Diario	27.77
Gasto Semanal	194.96
Gasto Mensual	844.82
Gasto Anual	10,138

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### 4.1.2.2 Gastos Legalización.

Las partidas de registro corresponden a todos los gastos incurridos durante el año para el funcionamiento normal de la unidad de acuerdo con las normas y reglamentos aplicables, como: la matriculación del vehículo, la adquisición del seguro obligatorio de accidentes de tránsito, la inspección del vehículo, el permiso de operación.

**Tabla 4-3:** Gastos de legalización.

Ítem	Valor \$
Matrícula	60.90
Permiso de operación & habilitación	17.00
Revisión vehicular	35.17
SPPAT	77.14
Total	190,21

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

En la **Tabla 4-4** se muestran los gastos de legalización de la empresa detallado de forma diaria, semanal, mensual y anual.

**Tabla 4-4:** Detalle de gastos legalización.

Descripción	Unidad Promedio
Gasto Diario	0.52
Gasto Semanal	3.66
Gasto Mensual	15.85
Gasto Anual	190.21

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### 4.1.2.3 Depreciación .

Se trata de una estrategia básica, ampliamente utilizada, que se basa en la identificación de la vida útil limitada y, en consecuencia, en la consideración de la pérdida gradual de utilidad a lo largo del tiempo.

**Tabla 4-5:** Depreciación endeudamiento.

Endeudamiento y Financiamiento		
Ítem	Cantidad	Unidad
Patrimonio propio	100	%
Deuda	0	%
Tasa interés financiamiento de la deuda	18.9	%
Años plazo para financiar la deuda	30	Años
Años de gracia	0	Años
Fecha de inicio del financiamiento		Fecha
Amortización cada:	360	Día

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-6:** Depreciación.

Inversión	Valor
Vehículo	\$ 20,000.0
Total	\$ 20,000.0

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-7:** Depreciación a lo largo de la vida útil.

Depreciación	Valor
Años de vida útil	30
Valor depreciable \$	19,300.00
Valor depreciable anual \$	643.30
Valor residual \$	700.00

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-8:** Endeudamiento.

Endeudamiento	Valor	Porcentaje
Patrimonio propio	\$ 20,000.0	100%
Deuda	\$ -	0%
Total	\$ 20,000.0	Dólares

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-9:** Depreciación, diario, semanal, anual.

Item	Unidad Promedio
Gasto Diario	1.76
Gasto Semanal	12.37
Gasto Mensual	53.61
Gasto Anual	643.3

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### 4.1.2.4 Gastos Administrativos.

Conlleva a los gastos de rubros como: Cuotas Sociales, Estacionamiento, Peaje al año, Transmisión de datos GPS.

**Tabla 4-10:** Gastos administrativos.

GASTOS ADMINISTRATIVOS		
Ítem	Cantidad	Unidad
Incentivo cuota social \$	700.00	Dólares
Participación trabajadores en utilidades	15.0%	Porcentaje
Tasa de descuento	12.0%	Porcentaje

<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Gastos Administrativos \$	160.00	Dólares
Garaje \$	-	Dólares
Tasa de crecimiento urbano	2.0%	Porcentaje

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-11:** Gastos administrativos mensual y anual.

<b>Tipo de gasto</b>	<b>Unidad Promedio \$</b>
Gasto Diario	2.36
Gasto Semanal	1.38
Gasto Mensual	71.67
Gasto Anual	860.00

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### 4.1.2.5 Gastos variables.

##### *Gasto Combustible.*

Se trata de las sumas de dinero utilizadas para la compra diaria de carburante necesario para el normal funcionamiento del camión y la permanencia de la actividad económica del servicio de transporte.

**Tabla 4-12:** Combustible.

<b>Combustibles</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Precio promedio galón de combustible	1.75	Dólares
Rendimiento del combustible	42.00	Km/Gal
Costo del combustible por kilómetro	0.042	Dólares
Recorrido promedio diario	100.0	Dólares
Consumo diario de combustible	2.38	Galones
Costo diario de combustible	4.2	Dólares

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-13:** Combustible, mes, anual.

	Unidad Promedio
Gasto Diario	4.17
Gasto Semanal	29.25
Gasto Mensual	126.74
Gasto Anual	1,520.83

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### *Gastos neumáticos.*

Se denomina así a los elementos destinados a la adquisición de neumáticos, más conocidos como llantas, que son parte esencial del funcionamiento del automotor.

**Tabla 4-14:** Neumáticos.

Sistema Neumático	Valor y cantidad
Precio en mercado de un neumático nuevo \$	170.00
Cantidad de neumáticos necesarios	5.0
Rendimiento promedio de neumáticos nuevos (Km)	40,000
Costo por juego de neumáticos nuevo \$	850.0
Precio en mercado de 1 reencauche \$	100.00
Cantidad de neumáticos a reencaucharse	1.0
Rendimiento promedio de neumáticos nuevos (Km)	20000
Costo por neumáticos reencauchados \$	100.0
Rendimiento total neumáticos nuevos y reencauchados \$	40,000
Costo total neumáticos nuevos y reencauchados \$	950.0
Costo de neumáticos por kilómetro \$	0.02
Costos neumáticos diario \$	2.4
Costos neumáticos mensual \$	71.3
Costos neumáticos anual \$	855.0

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-15:** Neumáticos, mensual, anual.

	<b>Unidad Promedio</b>	<b>Flota de la Operadora Actual</b>
Gasto Diario	\$ 2.34	\$ 4.68
Gasto Semanal	\$ 16.44	\$ 32.88
Gasto Mensual	\$ 71.25	\$ 142.50
Gasto Anual	\$ 855.0	\$ 1,710.00

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

*Gasto Mantenimiento Preventivo.*

Corresponde a los elementos que habitualmente se destinan al mantenimiento del automóvil, donde se realizan revisiones y arreglos para garantizar el buen funcionamiento y la fiabilidad. Se lleva a cabo para evitar o mitigar las consecuencias de las averías en los vehículos.

**Tabla 4-16:** Mantenimiento preventivo.

Precio Unitario	Unidad	Intervalo de Cambio	Cantidad necesaria por vehículo	Gasto Total por cambio	Número de Cambios al año	Gasto Total al año
Aceite de motor	GLNS	5,000 km	1	\$ 21.00	9.0	\$ 189.00
Aceite de caja	GLNS	60,000 km	1	\$ 12.00	0.8	\$ 9.00
Aceite de diferencial	GLNS	60,000 km	1	\$ 10.00	0.8	\$ 7.50
Aceite hidráulico	GLN	80,000 km	1	\$ 7.50	0.6	\$ 4.22
Engrase general	KG.	5,000 km	1	\$ 1.00	9.0	\$ 9.00
Filtro de aceite de motor	UD.	5,000 km	1	\$ 4.00	9.0	\$ 36.00
Filtro de aire	UD.	25,000 km	1	\$ 6.50	1.8	\$ 11.70
Filtro de combustible	UD.	5,000 km	1	\$ 3.00	9.0	\$ 27.00
Refrigerante de motor	GLNS.	80,000 km	1	\$ 10.00	0.6	\$ 5.63
Zapatillas y pastillas (frenos) x 4	UD.	30,000 km	4	\$ 25.00	1.5	\$ 37.50
Embrague(juego)	UD.	80,000 km	1	\$ 60.00	0.6	\$ 33.75
Baterías	UD.	80,000 km	1	\$ 60.00	0.6	\$ 33.75
Bandas	UD.	40,000 km	3	\$ 20.00	1.1	\$ 22.50
Cambio tambores (juego)	UD.	70,000 km	2	\$ 30.00	0.6	\$ 19.29
Sistema eléctrico	UD.	5,000 km	1.5	\$ 5.00	9.0	\$ 45.00
Amortiguadores	UD.	60,000 km	4	\$ 80.00	0.8	\$ 60.00
Rotulas de dirección	JGO.	75,000 km	1	\$ 30.00	0.6	\$ 18.00
Ballestas (4 hojas)	JGO.	100,000 km	1	\$ 40.00	0.5	\$ 18.00
Pines y bocines de dirección	JGO.	75,000 km	1	\$ 25.00	0.6	\$ 15.00
Cambio de toberas de inyectores	JGO.	75,000 km	1	\$ 20.00	0.6	\$ 12.00
Lavado motor/ chasis	UD.	5,000 km	1	\$ 3.00	9.0	\$ 27.00
Engrasado puntas ejes	UD.	45,000 km	4	\$ 2.00	1.0	\$ 2.00
Cambio aceite dirección	GLN	150,000 km	1	\$ 8.00	0.3	\$ 2.40
Arreglo de carrocería	UND	50,000 km	1	\$ 60.00	0.9	\$ 54.00
<b>Costo Total Mantenimiento Preventivo</b>						<b>\$ 699.23</b>

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-17:** Mantenimiento preventivo, por mes y año.

	Unidad Promedio
Gasto Diario	\$ 1.53
Gasto Semanal	\$ 10.76
Gasto Mensual	\$ 46.62
Gasto Anual	\$ 559.4

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

#### *Gasto Mantenimiento Correctivo.*

Elementos utilizados para reparar los defectos encontrados en los vehículos; consiste en localizar y reparar o corregir los defectos o daños. Tiene lugar tras una avería o fallo en el vehículo, que por su naturaleza no puede planificarse con antelación y el coste de las reparaciones y las piezas de recambio no está presupuestado, ya que implica la sustitución de piezas y componentes individuales del vehículo.

**Tabla 4-18:** Mantenimiento correctivo.

Mantenimiento Correctivo	Precio Unitario	Unidad	Intervalo de Cambio	Cantidad necesaria	Gasto Total por cambio	Número de Cambios al año	Gasto Total al año
Reparación de la bomba de inyección.	\$ 100.00	U	100,000 km	1	\$ 200.00	0.5	\$ 90.00
Reparación del motor	\$ 200.00	U	400,000 km	1	\$ 1,000.00	0.1	\$ 112.50
Reparación de caja	\$ 100.00	U	100,000 km	1	\$ 200.00	0.5	\$ 90.00
Reparación del diferencial	\$ 100.00	U	200,000 km	1	\$ 50.00	0.2	\$ 11.25
Costo Total Mantenimiento Correctivo							\$ 303.75

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

**Tabla 4-19:** Mantenimiento correctivo por mes y año.

Gasto	Unidad Promedio
Gasto Diario	0,67
Gasto Semanal	4,67
Gasto Mensual	20,25
Gasto Anual	243,00

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

### *Inversión total.*

Indica la inversión total a realizar en la compra de los vehículos necesarios para: el funcionamiento del plan propuesto, las características de los vehículos a adquirir, el precio de mercado, el coste de la financiación, el plazo de amortización de la deuda.

**Tabla 4-20:** Inversión por unidad vehicular.

<b>Inversión</b>	<b>Valor \$</b>
Vehículo	20.000,00
Total	20.000,00

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

### **4.1.3 Ingresos financieros.**

Para describir claramente el flujo de ingresos diarios de la operación de la unidad vehicular, puede utilizar los siguientes datos.

**Tabla 4-21:** Ingresos por tipo de carrera.

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Número de carreras o viajes (c/semana)	1
Costo promedio de una carrera o viaje (Transportando carga)	700
Ingresos (USD/semana)	700

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

## **4.2 Discusión de Resultados.**

Del análisis de los resultados de este estudio se puede afirmar la necesidad de aplicar un modelo matemático para el cálculo de la logística de transporte, es necesario ya que la información que tiene la compañía es de forma empírica sin ningún fundamento técnico.

Es decir, el gasto en combustible depende del viaje, pero no de los kilómetros recorridos. Al igual que la ruta logística es desordenada. Se basa en la experiencia del conductor sin embargo no existe una hoja de ruta a seguir.

La información con respecto a gastos e ingresos son una muestra de que no se sigue un control de las rutas que debe seguir en la entrega de los productos que transporta.



Es imperioso que se desarrolle un tipo de software mediante la optimización matemática que permita conocer los tiempos de parada y trazar una hoja de ruta de los productos a distribuir a lo largo de la ruta.

Uno de los principales resultados es el costo por kilometro que al final permitirá determinar el ahorro que se realiza con la optimización matemática logística. Permite comparar el ahorro de realizar la ruta logística de manera empírica a modo matemático. Costo del combustible por kilómetro \$ 0.042 dólares. El gasto por hora el cual proviene del gasto diario calculado en cada ítem se desprende el costo de operación por hora del vehículo el cual es de \$ 5.14 dólares.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA.

En esta sección se describe la optimización matemática basada en el modelo de ruteo de vehículos (VRP) para mejorar la distribución de los productos de la compañía limitada PRODUALBA ubicada en el cantón Pallatanga.

#### 5.1 Modelado Matemático del Sistema de Transporte.

En función de los objetivos planteados en la investigación, se desarrolla un modelo matemático basado en VRP, el mismo que resolverá los problemas de las Rutas de transporte de los Vehículos al momento de movilizar y entregar los productos a los diferentes clientes, esto se logró mediante la utilización de las siguientes expresiones matemáticas:

Minimizar:

$$\sum_{ig \in V_c} \sum_{kg \in K} P_i y_i^k - \sum_{(i,j) \in A} \sum_{kg \in K} c_{ij}^k x_{ij}^k - \sum_{jg \in V_c} \sum_{kg \in K} f_{o^k,j}^k x_{o^k,j}^k - \pi \sum_{ig \in V} V_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1 \forall i \in V_i \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\sum_{k \in K} y_i^k \leq 1 \forall i \in V_i \setminus V_M \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\sum_{jg \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \leq \sum_{jg \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k \forall j \in V_c, k \in K \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\sum_{pg \in S, qg \in V \setminus S} x_{i,j}^k \geq y_i^k \forall j \in V_c, k \in K, S \subset V: o^k \in S, i \in V \setminus S \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\sum_{pg \in S, qg \in V \setminus S} x_{pq}^k \geq \Omega y_i^k \forall i \in V_c, k \in K, S \subset V: i \in S, r^k \in V \setminus S \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\sum_{jg \in V_c} x_{o^k,j}^k \leq 1 \forall k \in K \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\sum_{kg \in K} x_{ij}^k \leq 1 - \beta \forall (i,j) \in A: q_i > 0 \text{ y } \hat{q} > 0 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\sum_{ig \in V \setminus \{i\}} w_{ij}^k - \sum_{jg \in V \setminus \{i\}} w_{ij}^k = q_i y_i^k \forall k \in K \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\sum_{igV_c} w_{i,r}^k = \sum_{jgV_c} q_j y_j^k \forall k \in K \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\sum_{jgV \setminus \{i\}} z_{ji}^k - \sum_{jgV \setminus \{i\}} z_{ji}^k = \hat{q} y_j^k \forall i \in V_c, k \in K \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\sum_{igV_c} z_{o^k,j}^k = \sum_{igV_c} z_{ji}^k = \hat{q} y_i^k \forall k \in K \quad \text{Ecuación 12}$$

$$t_i^k + (d_{ij} + S_i) x_{ij}^k - W^k (1 - x_{ij}^k) \leq t_j^k \forall (i,j) \in A: j \in V_c, k \in K \quad \text{Ecuación 13}$$

$$a_i \leq t_i^k b_i - s_i + V_i \forall i \in V_c, k \in K \quad \text{Ecuación 14}$$

$$V_i \leq M \phi \forall i \in V_c \quad \text{Ecuación 15}$$

$$t_{o^k}^k = r^k \forall k \in K \quad \text{Ecuación 16}$$

$$t_i^k + (S_i + d_{ij}) x_{i,r}^k \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\leq b_{r,k} + V_{r,k} + M(1 - \Omega) \forall (i,j) \in V_c, k \in K$$

$$w_{ij}^k + z_{ji}^k \leq Q^k x_{ij}^k \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\sum_{(i,j) \in gA} d_{ij} x_{ij}^k \leq D^k \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\sum_{(i,j) \in gA} \hat{d}_j x_{ij}^k \leq \hat{D} \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\sum_{igV_c} s_i y_i^k + \sum_{(i,j) \in gA} d_{ij} x_{ij}^k \leq W^k \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 21}$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 22}$$

$$y_i^k \in \{0,1\} \forall i \in V_c, k \in K \quad \text{Ecuación 23}$$

$$V_i \geq 0 \forall i \in V_c \quad \text{Ecuación 24}$$

$$w_{ij}^k \geq 0 \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 25}$$

$$z_{ij}^k \geq 0 \forall (i,j) \in A, k \in K \quad \text{Ecuación 26}$$

**Dónde:**

$V_D$ : Vertice que contiene el conjunto de depósitos

$V_c$ : Vertice que contiene el conjunto de cliente

$V_M \subseteq V_c$ :	<i>Vertice de clientes que deben ser visitado</i>
$K$ :	<i>Conjunto de vehículos disponibles</i>
$P_i$ :	<i>Beneficio x atender a un cliente <math>i</math></i>
$q_i$ :	<i>Cantidad a recoger de un cliente <math>i</math></i>
$s_i$ :	<i>Tiempo de servicio cliente <math>i</math></i>
$[a_i, b_i]$ :	<i>Intervalo de tiempo para atender un cliente <math>i</math></i>
$d_{i,j}$ :	<i>Distancia entre cliente</i>
$o^k$ :	<i>Deposito de origen del vehículo</i>
$T^k$ :	<i>Hora de inicio de operación del vehículo</i>
$F^k$ :	<i>Costo fijo de utilización del vehículo</i>
$Q^k$ :	<i>Capacidad del vehículo</i>
$D^k$ :	<i>Limite de distancia para el vehículo</i>
$\hat{D}$ :	<i>Limite de tiempo de conducción</i>
$W^k$ :	<i>Limite de tiempo de trabajo</i>
$r^k$ :	<i>Deposito de retorno del vehículo</i>
$\hat{\phi}$ :	<i>Tiempo de conducción entre cliente</i>
$c_{ij}^k$ :	<i>Costo de recorrer usar el vehículo <math>k</math> en el arco <math>i,j</math></i>
$\Omega$ :	<i>vehículo retorna a su depósito (1), en otro caso (0)</i>
$Q$ :	<i>Si se presenta una restricción de backhaul</i>
$\phi$ :	<i>Si hay violación de la ventana de tiempo</i>
$\Pi$ :	<i>Costo de penalización por violación de TW</i>
$x_{ij}^k$ :	<i>El vehículo <math>k</math> usa el arco <math>i,j</math>? (0,1)</i>
$y_i^k$ :	<i>El vehículo <math>k</math> visita al cliente <math>i</math>? (0,1)</i>
$z_{i,j}^k$ :	<i>Cantidad entregada por el vehiculo <math>k</math> en el arco <math>i,j</math></i>
$t_i^k$ :	<i>Tiempo en que el vehículo arriva al cliente <math>i</math></i>
$v_i$ :	<i>Tiempo de violación de la ventana de tiempo</i>

**La Ecuación 6:** maximiza el beneficio total recaudado menos el coste de desplazamiento de los vehículos, el coste fijo de utilización de los vehículos y la penalización por violar las ventanas de tiempo.

**La Ecuación 7:** garantiza que cada cliente sea visitado como máximo una vez y la **Ecuación 8** obliga a visitar a los clientes que deben ser visitados.

**La Ecuación 4:** constituye un modelo flexible de las conocidas restricciones de conservación de flujos, que exigen un flujo de entrada si hay un flujo de salida, y se adapta a las variantes de VRP en las que el vehículo no tiene que volver a su depósito.

**La Ecuación 5:** proporciona la conectividad entre el depósito de origen del vehículo  $k$  y los clientes visitados por este vehículo, y la **Ecuación 6** dicta que el vehículo regrese a su depósito si es necesario.

**La Ecuación 7:** establece que cada vehículo puede utilizarse como máximo una vez, mientras que la backhaul de retroceso se cumple mediante la **Ecuación 8**.

**Las Ecuación 9 y Ecuación 10:** aseguran la recolección del producto, mientras que las **Ecuación 11 y Ecuación 12** aseguran la entrega del producto.

**La Ecuación 13:** proporciona el marco para las ventanas de tiempo es decir los límites inferior y superior de la ventana de tiempo para cada cliente.

La variable a tener en cuenta en caso de violación, se indican en las **Ecuación 14 y Ecuación 15**.

**Las Ecuación 16 y Ecuación 17:** fijan el inicio del tiempo de trabajo para el vehículo  $k$  y garantizan que el vehículo regrese a su depósito.

**La Ecuación 18:** asegura la capacidad máxima del vehículo.

**La Ecuación 19, Ecuación 20 y Ecuación 21:** establecen los límites de distancia, tiempo de conducción y tiempo de trabajo para cada vehículo.

Finalmente, la **Ecuación 22, Ecuación 23, Ecuación 24, Ecuación 25 y Ecuación 26:** son condiciones de integridad y ausencia de negatividad.

## **5.2 Ajustes en la compañía.**

Una vez establecidas las formulaciones matemáticas para el desarrollo del modelo matemático basado en VRP. Se prosigue a detallar los cambios que la compañía adoptará para aplicar este modelo.

La compañía dedicada a la compra, venta, importación, exportación, elaboración, producción, comercialización y distribución de alimentos balanceados para aves y cerdos llamada PRODUALBA, se encuentra ubicada en el cantón Pallatanga provincia de Chimborazo. La compañía debe adquirir un vehículo con las especificaciones del estudio para la entrega del producto a sus clientes (ver **Tabla 5-2**).

La compañía que distribuye sus productos a otras ciudades como: Cumandá, Chillanes, Riobamba, Alausí, Latacumga, Ambato, Bucay, Alluriquin y Santo Domingo, realizará las entregas durante la jornada de la mañana que comprende desde las 06:00 am a 12:00 pm, y también en la tarde de 14:00 pm a 23:00 pm. Al terminar las entregas, el vehículo debe regresar

al depósito para alistar la siguiente ruta. El reparto del producto se realiza de acuerdo a la demanda de los clientes es decir las veces que se requiera por semana para lograr cumplir.

### 5.3 Información logística.

Para efectos del cálculo del VRP se tendrá en cuenta los clientes a quienes se entrega el producto semanalmente de acuerdo a la **Tabla 5-1**.

La compañía distribuye balanceado de pollo y cerdo, clasificado según el tipo como: inicial (I), crecimiento (C), engorde (E), destete (D) o postura (P). Estos productos que se distribuyen en sacos de 40 kg., son cargados en el vehículo de acuerdo a la demanda que se ha generado con anticipación por cada cliente (ver **Tabla 5-1**).

El depósito de la compañía PRODUALBA se encuentra ubicado en la ciudad de Pallatanga desde donde distribuye el balanceado a 15 clientes que son visitados una vez por semana, es decir, cada cliente es visitado una vez durante el recorrido de la ruta. El proveedor conoce previamente el pedido del cliente por lo que está preparado para cubrir dicho pedido y no cabe la posibilidad de que, al visitarlo, éste no realice ningún pedido.

**Tabla 5-1:** Clientes y cantidad promedio de producto solicitado.

No.	Cliente	Ubicación del cliente (Dirección)	Cantidad de Producto enviado una vez por semana (sacos de 40 Kg)						
			Balanceado Pollo			Balanceado Cerdo			
			I	C	E	D	C	E	P
1	Distribuidora de Alimentos Balanceados. DIVINE	CUMANDÁ: Primera Constituyente y Abdón Calderón.	40	100	50	30	100	80	30
2	LUCIO SALAZAR PEDRO	CHILLANES: 24 de mayo y 10 de agosto.	30	50	20	15	30	30	20
3	BALANCEADO EL CISNE	CHILLANES: Santa Rosa de Agua Clara Av. Panamericana a lado de la Gasolinera.	30	50	20	10	20	20	
4	NUTRIGAND #2	RIOBAMBA: Sector Licán	20	50	40	10	20	20	
5	ZU CAMPO	RIOBAMBA: 10 de agosto 1953 y Tarqui (BODEGA).	20	70	30	20	20	30	

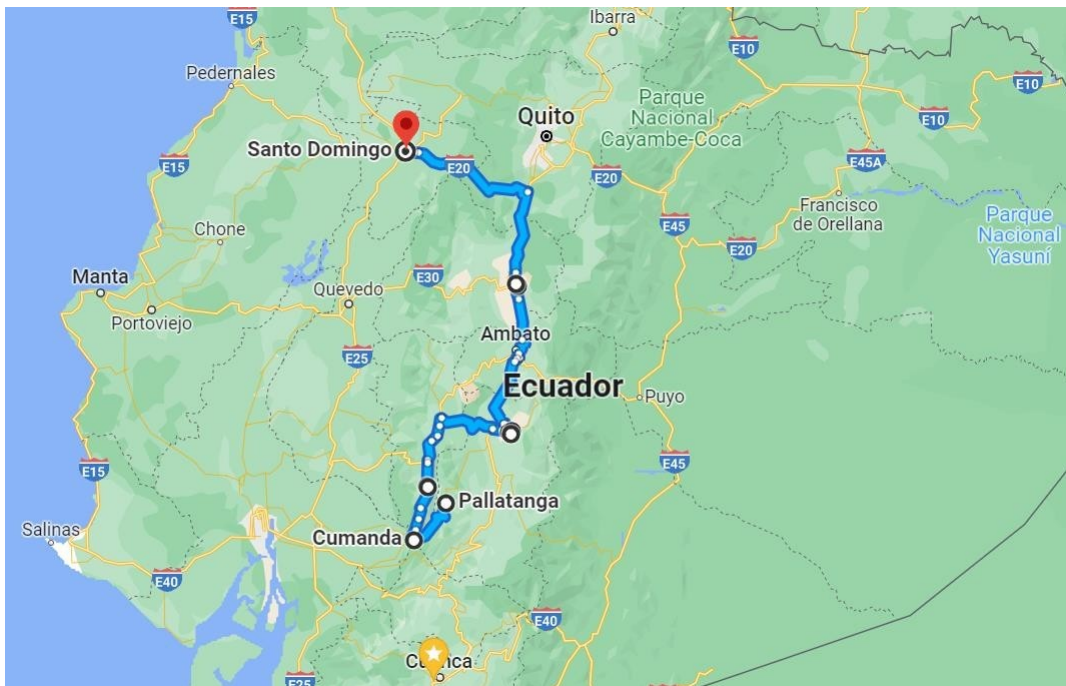
No.	Cliente	Ubicación del cliente (Dirección)	Cantidad de Producto enviado una vez por semana (sacos de 40 Kg)						
			Balanceado Pollo			Balanceado Cerdo			
			I	C	E	D	C	E	P
6	BALANCEADO JEFFERSON	ALAUSÍ: Av. 10 de agosto y 21 de abril.	35	50	40	10	30	40	
7	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.	LATACUNGA: Panamericana Sur Km 44 Lasso, sector El Chasqui.	50	100	40	30	60	50	50
8	MEGAGROSTORE	LATACUNGA: Av. Marco Aurelio Subía e Imbabura. Centro de Negocios Puertas del Hierro Local 7 y 8. 200 metros al sur del Terminal Terrestre.	40	80	50	10	40	50	50
9	AVÍCOLA DANNY	AMBATO: Ciudadela España, Gustavo Adolfo 01-76 y Gerona 12 de octubre.	20	50	40	5	30	40	40
10	COMERCIAL SV	AMBATO: Maldonado 1007 y Darquea	15	70	20	10	40	20	
11	MEGAGROSTORE	AMBATO: Huachi Grande Km 7 Vía a Riobamba/ frente a la Tenencia Política	25	70	40	20	50	30	
12	AGROMARKET	BUCAY: 19 de agosto 112 y Eloy Alfaro Autopista Naranjito	30	100	40	10	30	30	20
13	MEGAGROSTORE	ALLURIQUIN: Alluriquín, Vía a Quito y Eugenio Espejo, diagonal casa parroquial Vía Alóag Santo Domingo.	50	80	70	30	50	40	
14	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	SANTO DOMINGO: Av. Tsáchila y Río Zamora Santo Domingo de los Colorados – Ecuador	40	100	50	20	80	40	40
15	RANCHO MARY	SANTO DOMINGO: Km 4 vía a Quevedo margen derecho, Av. Principal	50	80	50	20	80	40	40

No.	Cliente	Ubicación del cliente (Dirección)	Cantidad de Producto enviado una vez por semana (sacos de 40 Kg)							
			Balanceado Pollo			Balanceado Cerdo				
			I	C	E	D	C	E	P	
		<b>SUB TOTAL:</b>	495	1100	600	250	680	560	290	
		<b>TOTAL SACOS SEMANALES:</b>							<b>3975</b>	

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

La **Figura 5-1**, muestra la ruta que actualmente se sigue para la entrega de productos a los clientes de la empresa.



**Figura 5-1.** Mapa de distribución de los clientes de la compañía PRODUALBA.

Fuente: (Google Maps, 2022).

#### 5.4 Vehículo.

De acuerdo con la **Tabla 5-1**, se distribuye por semana total 3.975 sacos de 40 kg de producto (159000 kg). Basados en el estudio se puede determinar que la empresa debe adquirir un vehículo de carga pesada de mayor capacidad. La **Tabla 5-2** muestra el vehículo utilizado para esta investigación que se encuentra en la lista de homologación vehicular de la ANT.



**Tabla 5-2:** Vehículo recomendado para la compañía PRODUALBA

Marca	Modelo	Versión	Tipo (MTOPE)	Cap. Carga (Kg)	Aplicación
JAC	HFC1314KR1LT	HFC1314KR1LT AC 11.6 2P 8X4 TM DIESEL	3-A	22260	Particular / Carga Pesada

Fuente: Listado de homologación vehicular agencia nacional de tránsito (ANT), 2022

Realizado por: Padilla M, 2023

Mediante información obtenida de la cantidad de productos a entregar y el límite de carga del camión JAC se necesitaría que la empresa pague el servicio de transporte a siete camiones o bien se realicen siete viajes para la entrega en una semana de los productos.



**Figura 5-2.** Vehículo de carga pesada.

Fuente: (Searates, 2022).

### 5.5 Modelo matemático desarrollado en Excel de Microsoft Office.

El modelo matemático basado en VRP está compuesto por una ventana principal llamada VRP Solver Console, en esta hoja de trabajo se agrega la información inicial para ejecutar el VRP. Esta ventana principal está compuesta por diferentes secuencias (hojas de cálculo en excel) que son: 0 interfaz, 1 ubicación, 2 distancias, 3 vehículos, 4. solución, 5 visualización y 6. solucionador.

Otra particularidad de este modelo VRP es que una vez ingresado los datos que requiere la ventana principal VRP Solver Console, se puede generar en secuencia ventanas como: 1 Ubicación, 2 Distancias, 3 Vehículos, 4 Solución y 5 Visualización.

Para una mejor comprensión del modelo matemático aplicado en excel. A continuación, se detallan las ventanas que componen el modelo matemático desarrollado en Excel.

### 5.5.1 VRP Solver Console para la empresa.

La hoja de trabajo llamada “VRP Solver Console” está compuesta por diferentes secuencias que deben ser llenadas con el objetivo de ejecutar las ventanas emergentes para el desarrollo del VRP. Para tener una mejor comprensión de cada secuencia (ver **Figura 5-3**), primero es necesario describir cada uno de los parámetros.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
0. Interfaz	Idioma	Espanola	Consulte el manual para modificar la interfaz.
	Opcional: clave de Bing Maps	AkAWEGoh-zO5rXw89Dhv5M13M	Puede obtener una clave de prueba gratuita en <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
1 Ubicaciones	Número de depósitos	1	[1, 20]
	Numero de clientes	15	[5, 200]
2. Distancias	Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing	Recomendación: utilice el formato 'código postal, país' para las direcciones
	Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing	
	Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo	
	Tipo de ruta de Bing Maps	Lo más rápido	Recomendación: use 'más rápido'
	Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3	[0, 10]
	Velocidad media del vehículo	70	
3. Vehículos	Número de tipos de vehículos	1	
4. Solución	¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?	Sí, solo una vez al final	
	Tipo de ventana de tiempo	Difícil	
	Backhauls?	No	Si está activado, los lugares de entrega deben visitarse antes que los lugares de recogida
5. Opcional - Visualización	Fondo de visualización	Mapas de Bing	
	Etiquetas de ubicación	ID de ubicación	
6 solucionador	¿Arranque en caliente?	si	
	¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No	
	Límite de tiempo de la CPU (segundos)	60	Recomendación: al menos 60 segundos

**Figura 5-3.** Ventana VRP Solver Console

*Fuente: (Excel, 2022).*

#### Secuencia (0) Interfaz.

La primera secuencia (Interfaz) está compuesta por dos parámetros (Ver **Figura 5-4**) que son:

**Idioma:** Dentro de este parámetro el usuario puede cambiar el idioma de la hoja de trabajo.

**Clave de Bing Maps:** Aquí se inserta una clave de validación de Bing Maps que sirve para rellenar la Latitud/Longitud, las distancias y la duración, y para generar la visualización de las localizaciones y las rutas en un mapa.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
0. Interfaz	Idioma	Espanola	Consulte el manual para modificar la interfaz.
	Opcional: clave de Bing Maps	AkAWEGoh-zO5rXw89Dhv5M13M	Puede obtener una clave de prueba gratuita en <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>

**Figura 5-4.** Secuencia 0. Interfaz

*Fuente: (Excel, 2022).*

#### Secuencia (1) Ubicaciones

La Ubicaciones está formada por dos parámetros (ver **Figura 5-5**) que son:

**Número de depósitos:** En este parámetro se agregan el número de depósitos que sirven como puntos de inicio y final de las rutas de los vehículos.

**Número de clientes:** Este parámetro no incluye los depósitos, por lo que es el número de ubicaciones a las que sirven sus vehículos.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
1	ubicaciones		1 [1, 20]
	Numero de clientes		15 [5, 200]

**Figura 5-5.** Secuencia 1. Ubicaciones

Fuente: (Excel, 2022).

### **Secuencia (2) Distancias.**

En la **Figura 5-6** se muestra que las Distancias están compuestas por 6 parámetros.

**Método de cálculo de distancia:** Este parámetro describe cómo deben rellenarse las distancias, si es que lo hacen. Las opciones son Entrada manual, Distancias euclidianas, Distancias euclidianas redondeadas, Distancias de Hamming (Manhattan), Distancias de vuelo y Distancias de conducción de Bing Maps.

**Método de cálculo de la distancia/duración:** Este parámetro permite calcular la dirección del vehículo mediante el uso del servicio web de Bing Maps, dando como resultado una formulación en kilómetros.

**Modo de viaje de Bing Maps:** Aquí se puede elegir el modo de viaje que tendrán las rutas, estas, están compuestas por “conduciendo”, “camión” y “caminando”.

**Tipo de ruta de Bing Maps:** Este parámetro describe el tipo de ruta que devuelve Bing Maps. Las opciones son la más corta, la más rápida con tráfico en tiempo real.

**Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps:** El nivel de detalle se refiere a la forma de ver los puntos dentro del mapa al realizar el cálculo del VRP.

**Velocidad media del vehículo:** Los resultados del cálculo de la distancia se dividen por el valor de este parámetro para determinar el tiempo de viaje.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
2.Distancias	Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing	Recomendación: utilice el formato 'código postal, país' para las direcciones
	Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing	
	Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo	
	Tipo de ruta de Bing Maps	Lo más rápido	Recomendación: use 'más rápido'
	Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3	[0, 10]
	Velocidad media del vehículo	70	

**Figura 5-6.** Secuencia 2. Distancias  
Fuente: (Excel, 2022).

### **Secuencia (3) vehículos**

Dentro de vehículos existe un parámetro llamado Numero de vehículos en el cual el usuario puede agregar cuantos vehículos van a estar involucrados en la ruta logística (ver **Figura 5-7**).

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
3.Vehículos	Número de tipos de vehículos	1	

**Figura 5-7.**Secuencia 3. Vehículos  
Fuente: (Excel, 2022).

### **Secuencia (4) Solución**

La Solución está formada por tres parámetros (ver **Figura 5-8**) como son:

**¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?:** Si el usuario selecciona la opción “Sí” obliga a todos los vehículos a regresar al depósito al final de su servicio. Mientras que la opción “No” es útil cuando los vehículos se subcontratan y se facturan sólo por el servicio y no por el retorno. Finalmente, las opciones “Solo una vez al final” y “Puede hacerlos varias veces” significa que los vehículos deben seguir el mismo viaje en la misma dirección al regresar.

**Tipo de ventana de tiempo:** Dentro de este parámetro existen dos tipos de ventanas de tiempo: (1) las ventanas de tiempo "duras" significa que existe una solución en la que un vehículo visita la ubicación de un cliente fuera de la ventana de tiempo dada es inviable. (2) las ventanas de tiempo "blandas", tal solución es indeseable pero factible.

**Backhauls?:** Si se activa esta ventana, los lugares de entrega deben ser visitados antes de los lugares de recogida.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
4.Solución	¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?	Sí, solo una vez al final	
	Tipo de ventana de tiempo	Difícil	
	Backhauls?	No	Si está activado, los lugares de entrega deben visitarse antes que los lugares de recogida

**Figura 5-8.** Secuencia 4. Solución  
Fuente: (Excel, 2022).

### Secuencia (5) Visualización

La secuencia Visualización (ver **Figura 5-9**) tiene diferentes parámetros como son:

**Fondo de visualización:** Este parámetro tiene dos opciones que son Mapas de Bing y Blanco. Si se selecciona Mapas de Bing, el libro de trabajo descargará el mapa apropiado que contiene las coordenadas de los lugares, y lo utilizará como imagen de fondo del gráfico de dispersión que representa las rutas.

**Etiquetas de ubicación:** Las opciones son Blanco, ID de ubicación y Nombres de ubicación. Si se selecciona ID de ubicación, el número de ID de la ubicación se mostrará encima de la ubicación en el mapa. Si se selecciona Nombres de ubicación, el nombre de la ubicación se mostrará en la parte superior de la ubicación en el mapa.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
5.Opcional - Visualización	Fondo de visualización	Mapas de Bing	
	Etiquetas de ubicación	ID de ubicación	

**Figura 5-9.** Secuencia 5. Visualización

*Fuente: (Excel, 2022).*

### Secuencia (6) Solucionador

El solucionador (ver **Figura 5-10**) está compuesto por tres parámetros que son:

**¿Arranque en caliente?:** Si se selecciona "Sí", el modelo matemático de solución intentará utilizar la solución existente en la hoja de solución como punto de partida.

**¿Mostrar progreso en la barra de estado?:** Si se selecciona "Sí", el modelo matemático de solución mostrará el **número** de iteración y el mejor valor de solución obtenido en la parte inferior izquierda de la ventana de Excel.

**Límite de tiempo de la unidad central de procesamiento (CPU) en segundos:** Este parámetro indica el límite de tiempo de ejecución del VRP. Como regla general, una ejecución más larga da una mayor probabilidad de encontrar una buena solución.

Secuencia	Parámetro	Valor	Observaciones
6 solucionador	¿Arranque en caliente?	si	
	¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No	
	Límite de tiempo de la CPU (segundos)		60 Recomendación: al menos 60 segundos

**Figura 5-10.** Secuencia 6. Solucionador.

*Fuente: Excel, 2022).*

### 5.5.2 Ubicaciones.

La primera ventana emergente que se genera al completar los datos requeridos en la ventana principal VRP Solver Console es la ventana emergente llamada Ubicaciones. Dentro de esta ventana existen diferentes columnas (ver **Figura 5-11**) que se detallan a continuación.

**ID de ubicación:** Esta columna se genera automáticamente y son los puntos que forman parte de la ruta

**Nombre:** Es el nombre que se le da al depósito o a cada uno de los puntos a ser visitados en la ruta logística.

**Habla a:** Es la dirección de cada una de las ubicaciones.

**Latitud / Longitud:** Son las coordenadas de las ubicaciones.

**Inicio de ventana de tiempo:** El inicio de la ventana temporal de visita para cada lugar.

**Fin de la ventana de tiempo:** El final de la ventana de tiempo de visita para cada lugar.

**¿Debe ser visitado?:** Esta columna cuenta varias opciones como son Debe ser visitado, Puede ser visitado y No visitar. La opción Puede ser visitado deja la elección al solucionador que decide en función del beneficio total. La opción No visitar simplemente quita la ubicación de la consideración sin alterar el resto de los datos.

**Tiempo de servicio:** La cantidad de tiempo que un vehículo pasa durante una visita.

**Importe de recogida:** Indica el importe que debe recogerse.

**Importe de entrega:** Indica la cantidad a entregar.

**Lucro:** La cantidad de ganancia monetaria asociada a la visita a un lugar.

ID de ubicación	Nombre	Habla a	Latitud (y)	Longitud (x)	Inicio de la ventana de tiempo	Fin de la ventana de tiempo	¿Debe ser visitado?	Tiempo de servicio	Importe de recogida	Importe de la entrega	Lucro
0	deposito				00:00	23:59	Lugar de inicio	0:00	0	0	0
1	Cliente1				00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	0
2	Cliente2				00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	0
3	Cliente3				00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	0

**Figura 5-11.** Ventana emergente ubicaciones.

*Fuente: (Excel, 2022).*

### 5.5.3 Distancias.

Como se ve en la **Figura 5-12**, la ventana emergente llamada Distancias se encuentra formado por diferentes columnas las cuales se explican a detalles.

**Desde:** El origen.

**A:** El destino.

**Distancia:** La distancia entre puntos.

**Duración:** La duración de viaje entre los puntos.

Método:			
Desde	A	Distancia	Duración
deposito	deposito	0,00	0:00
deposito	Cliente1	0,00	0:00
deposito	Cliente2	0,00	0:00
deposito	Cliente3	0,00	0:00

**Figura 5-12.** Ventana emergente Distancias.  
Fuente: (Excel, 2022).

#### 5.5.4 Vehículos.

Las columnas (ver **Figura 5-13**) de esta ventana emergente (Vehículos) se explican en los siguientes puntos.

**Depósito inicial:** Esta columna se genera automáticamente y es el depósito de donde sale el producto.

**Tipo de vehículo:** Es el tipo de vehículo a utilizar.

**Capacidad:** La capacidad que tienen los vehículos

**Costo fijo por viaje:** Es el costo que se da por el viaje realizado.

**Costo por unidad de distancia:** Es el costo que se da por la distancia recorrida.

**Multiplicador de duración:** Este parámetro multiplica la duración de viaje del vehículo.

**Límite de distancia:** Este parámetro indica la distancia máxima que puede recorrer un vehículo.

**Hora de inicio del trabajo:** Este parámetro indica la hora de salida de los vehículos del depósito.

**Límite de tiempo de conducción:** Este parámetro denota la cantidad máxima de tiempo que un vehículo puede ser conducido.

**Límite de tiempo de trabajo:** Este parámetro denota la cantidad máxima de tiempo que un conductor puede trabajar en un día.

**Depósito de devolución:** Se refiere el lunar a donde los vehículos retornan.

**Número de vehículos:** Este parámetro indica cuantos vehículos son utilizados.

Depósito inicial	Tipo de vehículo	Capacidad	Costo fijo por viaje	Costo por unidad de distancia	Multiplicador de duración	Límite de distancia	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de conducción	Límite de tiempo de trabajo	Depósito de devolución	Numero de vehículos
deposito	T1	1	0,00	1,00	1,00	500,00	08:00	9:00	10:00	deposito	1

**Figura 5-13.** Ventana emergente Vehículos.  
Fuente: (Excel, 2022)

#### 5.5.5 Solución.

Para cada vehículo se generará un conjunto de columnas (ver **Figura 5-14**) que detallan su ruta. Puede desplazarse hacia la derecha para ver las rutas de otros vehículos.

**Detener cuenta:** Número de paradas que realiza el vehículo, incluido el regreso al depósito si lo hace.

**Nombre del lugar:** Esta columna se compone de celdas con menús desplegables, pobladas con los nombres de las localidades en lugar de los índices.

**Distancia recorrida:** Tiempo de conducción acumulado del vehículo.

**Tiempo de conducción:** Tiempo total de conducción de los vehículos.

**Hora de llegada:** Hora de llegada del vehículo a la parada.

**Hora de salida:** Hora de salida del vehículo de la parada.

**Tiempo de trabajo:** La suma de los tiempos de conducción y de servicio, hasta la parada incluida.

**Beneficio recaudado**

**Carga:** Importe acumulado de los beneficios recaudados por el vehículo.

**Carga:** Importe total (recogido y por entregar) a bordo, en el momento de la salida.

Beneficio neto total:	0,00							
Vehículo:	V1	Paradas:	0	Beneficio neto:	0,00			
Detener la cuenta	Nombre del lugar	Distancia recorrida	Tiempo de conducción	Hora de llegada	Hora de salida	Tiempo de trabajo	Beneficio recaudado	Carga
	0 deposito	0,00	0:00		08:00	0:00	0	0
	1							
	2							

**Figura 5-14.** Ventana emergente Solución.

*Fuente: (Excel, 2022)*

### 5.5.6 Visualización.

Esta ventana emergente es opcional y si se genera contiene un gráfico de dispersión que muestra las ubicaciones y las rutas de los vehículos. El gráfico puede tener el mismo formato que cualquier otro gráfico de Excel.

## 5.6 Caso práctico.

Para la resolución del costo de transporte, independientemente cual sea el método a aplicar, se requiere de la estructura básica de un problema de programación lineal, misma que involucra la oferta y la demanda, así como los costos respectivos; es decir, la matriz de  $C_{ij}$  y la matriz de  $X_{ij}$  (**Ecuación 1**).

En esta sección se presenta la aplicación del modelo matemático basado en VRP y realizado en Excel. Para ello se van a realizar dos tipos de casos prácticos:

- El primero tendrá como particularidad que tendrá la Ruta más rápida
- Mientras que el segundo tendrá la Ruta más corta.



### 5.6.1 Ruta más rápida.

El primer caso práctico tiene como nombre "Ruta más rápida", el objetivo de esta ruta es que el vehículo realice todas las entregas del producto a los clientes de la compañía PRODUALBA en el menor tiempo posible. Para determinar este objetivo a continuación se desarrollan diferentes pasos.

**Paso 1:** Se ingresa los datos de la compañía PRODUALBA en la ventana principal llamada VRP Solver Console (ver **Figura 5-14**). Para ello se utiliza la **Tabla 5-3** que muestra los datos utilizados para el desarrollo del VRP.

**Tabla 5-3:** Datos de la compañía PRODUALBA (Ruta más rápida).

Nombre	Datos
Número de depósitos	1
Número de clientes	15
Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing Maps (km)
Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing Maps
Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo
Tipo de ruta de Bing Maps	Lo más rápido
Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3
Velocidad media del vehículo	70 (km)
Número de tipos de vehículos	1
¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?	Sí, solo una vez al final
Tipo de ventana de tiempo	Difícil
Backhauls?	No
Fondo de visualización	Mapas de Bing
Etiquetas de ubicación	ID de ubicación
¿Arranque en caliente?	Si
¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No
Límite de tiempo de la CPU (segundos)	60

**Fuente:** Ficha técnica PRODUALBA

**Realizado por:** Padilla M, 2023

	A	B	C	D
1	<b>Secuencia</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
2	<b>0. Interfaz</b>	Idioma	Espanola	Consulte el manual para modificar la interfaz.
3		Opcional: clave de Bing Maps	AkAWEGoh-z05rXw89Dhv5M13lv	Puede obtener una clave de prueba gratuita en <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
4				
5	<b>1. Ubicaciones</b>	Número de depósitos	1	[1, 20]
6		Número de clientes	15	[5, 200]
7				
8	<b>2. Distancias</b>	Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing	Recomendación: utilice el formato 'código postal, país' para las direcciones
9		Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing	
10		Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo	
11		Tipo de ruta de Bing Maps	Lo más rápido	Recomendación: use 'más rápido'
12		Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3	[0, 10]
13		Velocidad media del vehículo	70	
14				
15	<b>3. Vehículos</b>	Número de tipos de vehículos	1	
16				
17	<b>4. Solución</b>	¿Los vehículos regresan a su(s) depósito(s)?	Si, solo una vez al final	
18		Tipo de ventana de tiempo	Difícil	
19		Backhauls?	No	Si está activado, los lugares de entrega deben visitarse antes que los lugares de recogida
20				
21	<b>5. Opcional - Visualización</b>	Fondo de visualización	Mapas de Bing	
22		Etiquetas de ubicación	ID de ubicación	
23				
24	<b>6. Solucionador</b>	¿Arranque en caliente?	si	
25		¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No	
26		Límite de tiempo de la CPU (segundos)	60	Recomendación: al menos 60 segundos

**Figura 5-15.** Ventana principal VRP Solver Console, datos (ruta más rápida).

*Fuente: (Excel, 2022).*

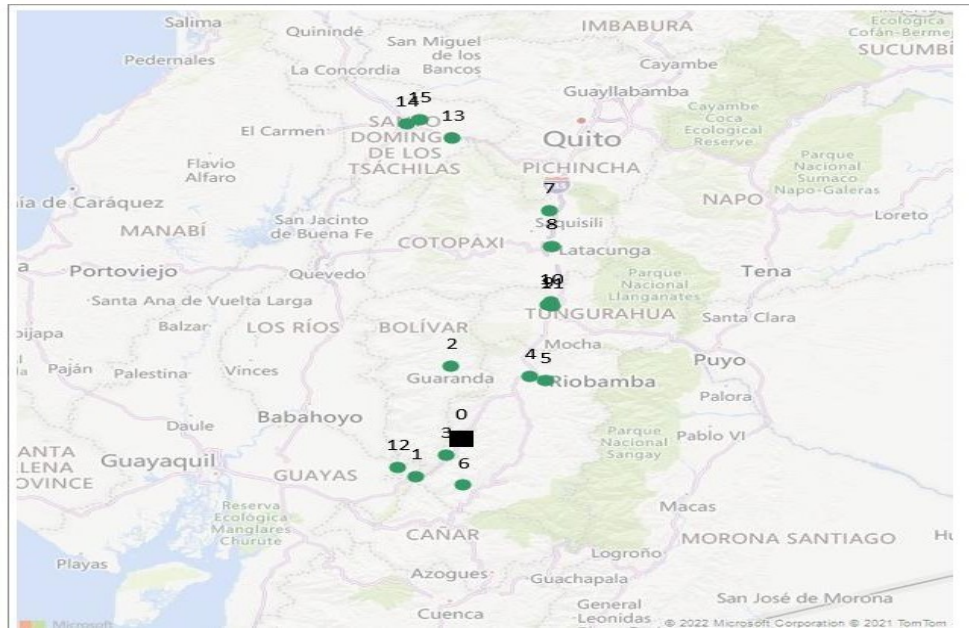
**Paso 2:** Una vez ingresado los datos de la compañía, se genera la primera ventana emergente llamada ubicaciones. En esta ventana se debe agregar el nombre de cada lugar y la dirección del cliente que va a visitar el vehículo. Además, en esta ventana emergente se puede agregar el importe de entrega y recogida que tendrá el vehículo en cada uno de los lugares de la ruta logística. Los datos que se utilizan en ubicaciones son los que se presentan en la **Tabla 5-1**.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Nombre	Habla	Latitud (Y)	Longitud (X)	Inicio de la ventana de tiempo	Fin de la ventana de tiempo	¿Debe ser visitado?	Tiempo de servicio	Importe de recogida	Importe de la entrega	Lucro
2	Deposito	XZHG+GV, Pallatanga	-1,9933901	-78,9655762	00:00	23:59	Lugar de inicio	0:00	0	0	0
3	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	10 de Agosto, Cumanda, Ec	-2,2085651	-79,1328489	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	430	0
4	LUCIO SALAZAR PEDRO	C. 7 de Mayo 509-503, Guaranda	-1,5923300	-79,0004000	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	195	0
5	BALANCEADO EL CISNE	E487	-2,0906700	-79,0295900	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	150	0
6	NUTRIGANO #2	Lican	-1,6519030	-78,7054977	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	160	0
7	ZU CAMPO	Tarqui 2231-2181, Riobamba	-1,6781900	-78,6472100	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	190	0
8	BALANCEADO JEFFERSON	Sibambe	-2,2589099	-78,9553640	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	205	0
9	AGROSCOPIO CRIDAGRO S.A.	San Juan de Pastocalle	-0,7276190	-78,6346817	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	380	0
10	MEGAGROSTORE A	397H+9WC, Av. Marco Aurelio Subia, Latacunga	-0,9330988	-78,6222896	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	320	0
11	AVICOLA DANNY	12 De Octubre 1991-1879, Ambato	-1,2518000	-78,6365100	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	225	0
12	COMERCIALSV	Maldonado 984-1032, Ambato	-1,2258100	-78,6264200	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	175	0
13	MEGAGROSTORE B	Montana, Ambato	-2,2096100	-79,0910200	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	235	0
14	AGROMARKET	General Antonio Elizalde	-2,1562729	-79,2019272	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	260	0
15	MEGAGROSTORE C	Alluriquin	-0,3222240	-78,9964861	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	320	0
16	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	Rio Yamino, Santo Domingo	-0,2433286	-79,1688533	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	370	0
17	RANCHO MARY	E25, Santo Domingo, Ec	-0,2193400	-79,1208600	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	360	0

**Figura 5-16.** Ventana emergente Ubicaciones, datos (Ruta más rápida).

*Fuente: (Excel, 2022).*

A continuación, se presenta en la **Figura 5-16** un mapa en donde se observa la ruta más rápida que arroja el modelo basado en VRP.



**Figura 5-17.** Mapa de clientes a quienes se entrega el producto (Ruta más rápida).  
 Fuente: (Excel, 2022).

**Paso 3:** Una vez obtenido los datos de ubicación, se procede a obtener los datos de distancias. En esta ventana emergente (ver **Figura 5-18**) es posible visualizar la distancia y duración que existe entre los diferentes clientes a quienes se entrega el producto.

	A	B	C	D	L	M
1 Método:	Distancias de conducción de Bing Maps (km) / Duraciones de conducción de Bing Maps / Conduciendo					
2 Desde	A		Distancia	Duración		
3 Pallatanga	Pallatanga		0,00	0:00		
4 Pallatanga	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"		42,14	0:37		
5 Pallatanga	LUCIO SALAZAR PEDRO		118,46	1:46		
6 Pallatanga	BALANCEADO EL CISNE		18,94	0:16		
7 Pallatanga	NUTRIGAND #2		80,32	1:01		
8 Pallatanga	ZU CAMPO		87,50	1:12		
9 Pallatanga	BALANCEADO JEFFERSON		105,79	1:49		
10 Pallatanga	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.		211,43	2:47		
11 Pallatanga	MEGAGROSTORE A		181,76	2:33		
12 Pallatanga	AVÍCOLA DANNY		138,35	2:01		
13 Pallatanga	COMERCIAL SV		142,01	2:03		
14 Pallatanga	MEGAGROSTORE B		137,06	2:00		
15 Pallatanga	AGROMARKET		52,81	0:51		
16 Pallatanga	MEGAGROSTORE C		319,86	4:29		
17 Pallatanga	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA		344,60	4:54		
18 Pallatanga	RANCHO MARY		347,58	4:58		
19 DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	Pallatanga		42,15	0:36		
20 DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"		0,00	0:00		
21 DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	LUCIO SALAZAR PEDRO		112,11	2:07		

**Figura 5-18.** Ventana emergente distancias, datos PRODUALBA (Ruta más rápida).  
 Fuente: (Excel, 2022)

**Paso 4:** En este paso se agrega la información del vehículo adquirido por la empresa y que entregarán el producto a los clientes (ver **Figura 5-19**). Debido a que la carga total que deben soportar los vehículos es de 3975 sacos de 40 kg (ver **Tabla 5-1**), se escogió el vehículo con mayor capacidad de carga de la **Tabla 5-2**.

Para una mejor comprensión del paso 4, en la **Tabla 5-4** se muestra los datos que se agregaron en la ventana emergente Vehículos. La hora de inicio de trabajo se refiere a la hora que debe

comenzar el vehículo la distribución del producto. El límite de tiempo de conducción se refiere al límite que el vehículo puede estar en operación. En el software el controlador logístico puede variar este tiempo para controlar la operación vehicular.

**Tabla 5-4.** Datos del vehículo de la compañía PRODUALBA (Ruta más rápida).

Depósito Inicial	Depósito
Capacidad	22260
Límite de distancia	1200 km
Hora de inicio del trabajo	08:00 am
Límite de tiempo de conducción (horas)	20
Límite de tiempo de trabajo (horas)	23:00 pm
Depósito de devolución	Depósito
Número de Vehículos	1

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

	A	B	C	D	E	F	G
1	Depósito inicial	Tipo de vehículo	Capacidad	Costo fijo por viaje	Costo por unidad de distancia	Multiplicador de duración	Límite de distancia
2	Pallatanga	JAC	22260	0,00	1,00	1,00	1200,00

	H	I	J	K	M
	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de conducción	Límite de tiempo de trabajo	Depósito de devolución	Numero de vehiculos
	08:00	15:00	23:00	Deposito	1

**Figura 5-19.** Ventana emergente vehículos, datos PRODUALBA (Ruta más rápida).

Fuente: (Excel, 2022).

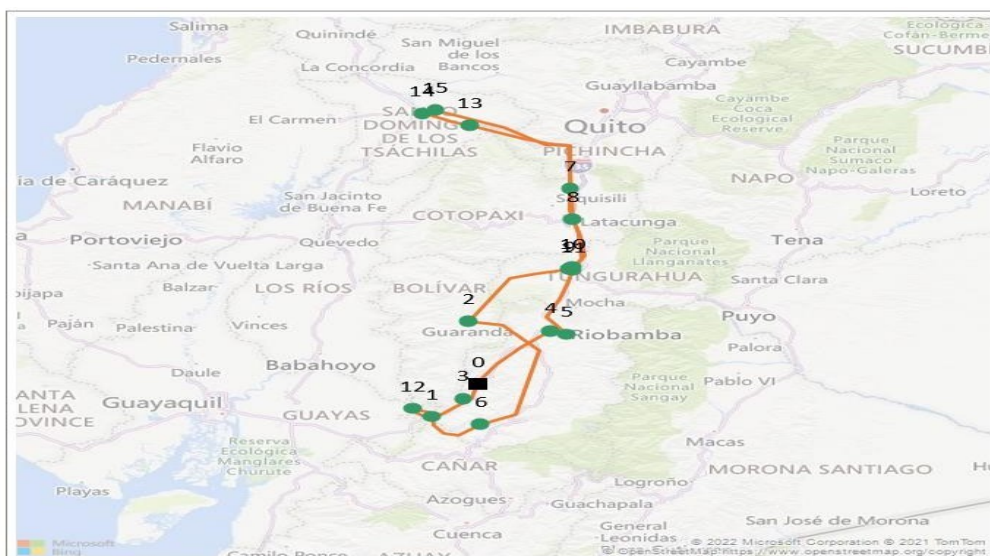
**Paso 5:** En este paso se determina la ruta que el vehículo debe seguir para realizar las entregas de los productos de la compañía PRODUALBA a cada uno de los clientes.

3	Vehículo:	JAC	Paradas:	16					
4	Detener la cuenta	Nombre del lugar	Distancia recorrida	Tiempo de conducción	Hora de llegada	Hora de salida	Tiempo de trabajo	Beneficio recaudado	Carga
5	0	Pallatanga	0,00	0:00	08:00	08:00	0:00	0	3975
6	1	BALANCEADO EL CISNE	18,94	0:16	08:16	08:16	0:16	0	3825
7	2	AGROMARKET	52,81	0:51	08:51	08:51	0:51	0	3565
8	3	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	65,40	1:10	09:10	09:10	1:10	0	3135
9	4	BALANCEADO JEFFERSON	129,48	2:24	10:24	10:24	2:24	0	2930
10	5	LUCIO SALAZAR PEDRO	282,93	4:52	12:52	12:52	4:52	0	2735
11	6	AVÍCOLA DANNY	368,54	6:25	14:25	14:25	6:25	0	2510
12	7	MEGAGROSTORE A	411,40	7:11	15:11	15:11	7:11	0	2190
13	8	RANCHO MARY	573,99	9:45	17:45	17:45	9:45	0	1830
14	9	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	584,26	9:58	17:58	17:58	9:58	0	1460
15	10	MEGAGROSTORE C	609,02	10:24	18:24	18:24	10:24	0	1140
16	11	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.	722,48	12:13	20:13	20:13	12:13	0	760
17	12	COMERCIAL SV	791,37	13:06	21:06	21:06	13:06	0	585
18	13	MEGAGROSTORE B	793,96	13:12	21:12	21:12	13:12	0	350
19	14	ZU CAMPO	851,60	14:13	22:13	22:13	14:13	0	160
20	15	NUTRIGAND #2	859,00	14:27	22:27	22:27	14:27	0	0
21	16	Pallatanga	939,33	15:28	23:28	23:28	15:28	0	0

**Figura 5-20.** Ventana emergente Solución. datos PRODUALBA (Ruta más rápida).

Fuente: (Excel, 2022)

**Paso 6:** Para una mejor visualización de la solución a través de la ventana emergente Visualización se crea un mapa en el que se observa la ruta logística que hace el vehículo de la compañía PRODUALBA a cada uno de los clientes.



**Figura 5-21.** Ventana emergente Visualización, datos (Ruta más rápida).  
*Fuente:* (Excel, 2022).

### 5.6.2 Ruta más corta.

El segundo caso práctico tiene como nombre "Ruta más corta" el objetivo de esta ruta es que el vehículo realice todas sus entregas a las empresas o personas que requieren el producto de la compañía PRODUALCA con la menor distancia de recorrido. Para determinar este objetivo a continuación se desarrollan los mismos pasos que se hicieron con la Ruta más rápida.

**Paso 1:** Se ingresa los datos de la compañía PRODUALBA en la ventana principal llamada VRP Solver Console (ver **Figura 5-22**). Para ello se utiliza la **Tabla 5-5** que muestra los datos utilizados para el desarrollo del VRP.

**Tabla 5-5.** Datos de la compañía PRODUALBA (Ruta más corta)

Nombre	Datos
Número de depósitos	1
Número de clientes	15
Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing Maps (km)
Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing Maps
Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo
Tipo de ruta de Bing Maps	Lo más rápido
Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3
Velocidad media del vehículo	70 (km)
Número de tipos de vehículos	1



Nombre	Datos
¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?	Sí, solo una vez al final
Tipo de ventana de tiempo	Difícil
Backhauls?	No
Fondo de visualización	Mapas de Bing
Etiquetas de ubicación	ID de ubicación
¿Arranque en caliente?	Si
¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No
Límite de tiempo de la CPU (segundos)	60

Fuente: Ficha técnica PRODUALBA

Realizado por: Padilla M, 2023

	A	B	C	D
1	<b>Secuencia</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Observaciones</b>
2	<b>0. Interfaz</b>	Idioma	Espanola	Consulte el manual para modificar la interfaz.
3		Opcional: clave de Bing Maps	AkAWEGoh-z05FXw89Dhv5M131vE8	Puede obtener una clave de prueba gratuita en <a href="https://www.bingmapsportal.com/">https://www.bingmapsportal.com/</a>
4				
5	<b>1 ubicaciones</b>	Número de depósitos	1	[1, 20]
6		Número de clientes	15	[5, 200]
7				
8	<b>2. Distancias</b>	Método de cálculo de distancia	Distancias de conducción de Bing M	Recomendación: utilice el formato 'código postal, país' para las direcciones
9		Método de cálculo de duración	Duraciones de conducción de Bing M	
10		Modo de viaje de Bing Maps	Conduciendo	
11		Tipo de ruta de Bing Maps	Más corto	Recomendación: use 'más rápido'
12		Nivel de detalle de la ruta de Bing Maps	3	[0, 10]
13		Velocidad media del vehículo	70	
14				
15	<b>3. Vehículos</b>	Número de tipos de vehículos	1	
16				
17	<b>4. Solución</b>	¿Los vehículos regresan a su (s) depósito (s)?	Si, solo una vez al final	
18		Tipo de ventana de tiempo	Difícil	
19		Backhauls?	No	Si está activado, los lugares de entrega deben visitarse antes que los lugares de recogida
20				
21	<b>5. Opcional - Visualización</b>	Fondo de visualización	Mapas de Bing	
22		Etiquetas de ubicación	ID de ubicación	
23				
24	<b>6 solucionador</b>	¿Arranque en caliente?	si	
25		¿Mostrar progreso en la barra de estado?	No	
26		Límite de tiempo de la CPU (segundos)	60	Recomendación: al menos 60 segundos
27				

Figura 5-22. Ventana principal VRP Solver Console, datos (Ruta más corta).

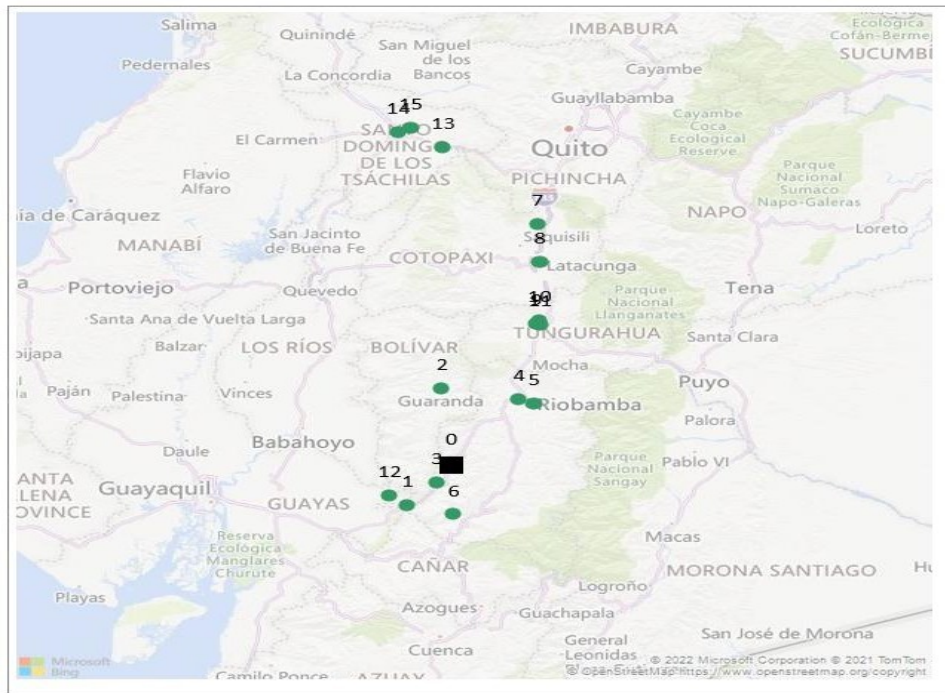
Fuente: (Excel, 2022).

**Paso 2:** Una vez ingresado los datos de la compañía, se genera la primera ventana emergente llamada ubicaciones. En esta ventana se debe agregar el nombre de cada lugar y la dirección que vaya a visitar el vehículo. Además, en esta ventana emergente se puede agregar el importe de entrega y recogida que tendrá el vehículo en cada uno de los lugares de la ruta logística. Los datos que se utilizan en ubicaciones son los que se presentan en la **Tabla 5-1**.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Nombre	Habla a	Latitud (y)	Longitud (x)	Inicio de la ventana de tiempo	Fin de la ventana de tiempo	(Debe ser visitado?)	Tiempo de servicio	Importe de recogida	Importe de la entrega	Lucro
2	Deposito	XCHG+YGV, Pallatanga	-1,9933980	-78,9655762	00:00	23:59	Lugar de inicio	0:00	0	0	0
3	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	10 de Agosto, Cumanda, Ec	-2,2065651	-79,1326489	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	430
4	LUCIO SALAZAR PEDRO	C. 7 de Mayo 509-509, Guaranda	-1,5923300	-79,0004000	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	195
5	BALANCEADO EL CISNE	E497	-2,0906700	-79,0209500	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	150
6	NUTRIGANO #2	Lican	-1,6519030	-78,7054977	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	160
7	ZU CAMPO	Tarqui 2231-2181, Riobamba	-1,6731900	-78,6472100	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	190
8	BALANCEADO JEFFERSON	Sibambe	-2,2539199	-78,9559640	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	205
9	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.	San Juan de Pastorcalle	-0,7276190	-78,6346837	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	380
10	MEGAGROSTORE A	397H+9WC, Av. Marco Aurelio Subia, Latacunga	-0,9330988	-78,6222896	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	320
11	AVÍCOLA DANNY	12 De Octubre 1391-1879, Ambato	-1,2518000	-78,6395100	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	225
12	COMERCIAL SV	Maldonado 984-1032, Ambato	-1,2338100	-78,6264200	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	175
13	MEGAGROSTORE B	Montana, Ambato	-2,2096100	-79,8910200	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	235
14	AGROMARKET	General Antonio Elizalde	-2,1562729	-79,2019272	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	260
15	MEGAGROSTORE C	Alluriquin	-0,3222240	-78,9964981	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	320
16	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	Rio Yamino, Santo Domingo	-0,2433286	-79,1668533	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	370
17	RANCHO MARY	E25, Santo Domingo, Ec	-0,2133400	-79,1208600	00:00	23:59	Debe ser visitado	0:00	0	0	360

**Figura 5-23.** Ventana emergente Ubicaciones, datos PRODUALBA (Ruta más corta).  
*Fuente: (Excel, 2022).*

La **Figura 5-24**, muestra el mapa de los clientes y la ruta más corta del modelo VRP.



**Figura 5-24.** Mapa de clientes a quien se entrega el producto (Ruta más corta).  
*Fuente: Excel, 2022*

**Paso 3:** Una vez obtenido los datos de ubicación, se procede a obtener los datos de distancias. En esta ventana emergente (ver **Figura 5-25**) es posible visualizar la distancia y duración que existe entre los diferentes empresas o personas a quien se entrega el producto.

	A	B	C	D	L	M
1	Método:	Distancias de conducción de Bing Maps (km) / Duraciones de conducción de Bing Maps / Conduciendo				
2	Desde	A	Distancia	Duración		
3	Pallatanga	Pallatanga	0,00	0:00		
4	Pallatanga	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	42,14	0:37		
5	Pallatanga	LUCIO SALAZAR PEDRO	118,46	1:46		
6	Pallatanga	BALANCEADO EL CISNE	18,94	0:16		
7	Pallatanga	NUTRIGAND #2	80,32	1:01		
8	Pallatanga	ZU CAMPO	87,50	1:12		
9	Pallatanga	BALANCEADO JEFFERSON	105,79	1:49		
10	Pallatanga	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.	211,43	2:47		
11	Pallatanga	MEGAGROSTORE A	181,76	2:33		
12	Pallatanga	AVÍCOLA DANNY	138,35	2:01		
13	Pallatanga	COMERCIAL SV	142,01	2:03		
14	Pallatanga	MEGAGROSTORE B	137,06	2:00		
15	Pallatanga	AGROMARKET	52,81	0:51		
16	Pallatanga	MEGAGROSTORE C	319,86	4:29		
17	Pallatanga	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	344,60	4:54		
18	Pallatanga	RANCHO MARY	347,58	4:58		
19	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	Pallatanga	42,15	0:36		
20	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	0,00	0:00		
21	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	LUCIO SALAZAR PEDRO	112,11	2:07		

**Figura 5-25.** Ventana emergente Distancias, datos (Ruta más corta).

*Fuente:* (Excel, 2022).

**Paso 4:** En este paso se agrega la información de los vehículos que van a entregar el producto a los clientes (ver **Tabla 5-1**). Debido a la carga total que debe soportar el vehículo es de 3975 sacos de 40kg (ver **Tabla 5-1**), se escogió el vehículo con mayor capacidad de carga.

Para una mejor comprensión del paso 4, en la Tabla 5-4 se muestra los datos que se agregaron en la ventana emergente Vehículos. La hora de inicio de trabajo se refiere a la hora que debe comenzar el vehículo la distribución del producto. El límite de tiempo de conducción se refiere al límite que el vehículo puede estar en operación. En el software el controlador logístico puede variar este tiempo para controlar la operación vehicular.

**Tabla 5-6.** Datos del vehículo de la compañía PRODUALBA (Ruta más corta).

Descripción	Datos
Depósito Inicial	Depósito
Marca del vehículo	Jack
Capacidad Kg	22260
Límite de distancia	1200 km
Hora de inicio del trabajo	08:00 am
Límite de tiempo de conducción	20:00 horas
Límite de tiempo de trabajo	23:00 pm
Depósito de devolución	Depósito
Número de Vehículos	1

**Fuente:** Ficha técnica PRODUALBA

**Realizado por:** Padilla M, 2023



	A	B	C	D	E	F	G
1	Depósito inicial	Tipo de vehículo	Capacidad	Costo fijo por viaje	Costo por unidad de distancia	Multiplicador de duración	Límite de distancia
2	Pallatanga	JAC	22260	0,00	1,00	1,00	1200,00
	H	I	J	K	M		
	Hora de inicio del trabajo	Límite de tiempo de conducción	Límite de tiempo de trabajo	Depósito de devolución	Numero de vehículos		
	08:00		15:00	23:00	Deposito		1

**Figura 5-26.** Ventana emergente Vehículos, datos PRODUALBA (Ruta más corta).

*Fuente: (Excel, 2022).*

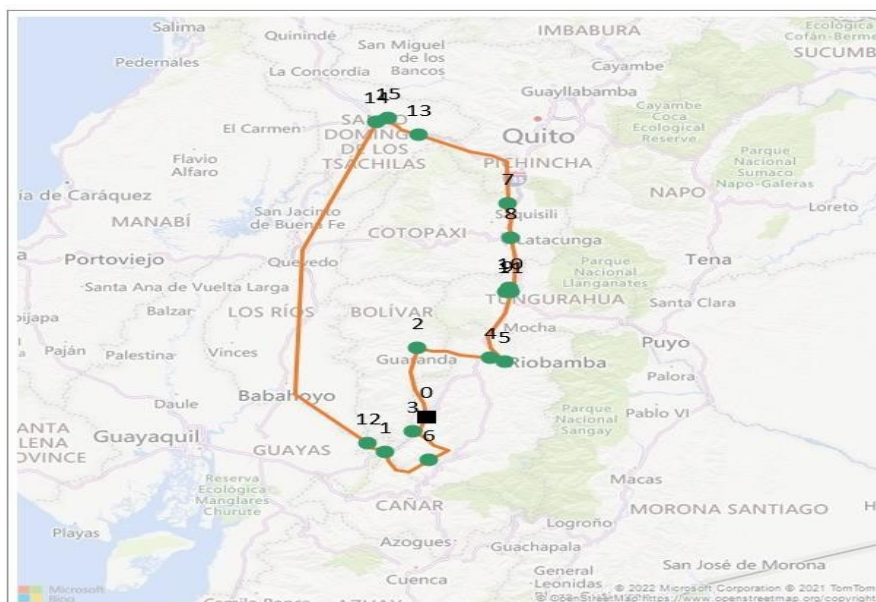
**Paso 5:** Este paso determina la ruta que el vehículo debe seguir para realizar las entregas de los productos de la compañía PRODUALBA a cada uno de sus clientes.

Vehículo:	JAC	Paradas:	16	Beneficio neto:	-819,35			
Detener la cuenta	Nombre del lugar	Distancia recorrida	Tiempo de conducción	Hora de llegada	Hora de salida	Tiempo de trabajo	Beneficio recaudado	Carga
0	Pallatanga	0,00	0:00	08:00	08:00	0:00	0	3975
1	BALANCEADO EL CISNE	18,94	0:16	08:16	08:16	0:16	0	3825
2	BALANCEADO JEFFERSON	84,06	1:53	09:53	09:53	1:53	0	3620
3	DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS "DIVINE"	148,12	3:06	11:06	11:06	3:06	0	3190
4	AGROMARKET	160,44	3:26	11:26	11:26	3:26	0	2930
5	FARMACIA AGROPECUARIA LA FINCA	428,64	8:30	16:30	16:30	8:30	0	2560
6	RANCHO MARY	437,99	8:50	16:50	16:50	8:50	0	2200
7	MEGAGROSTORE C	459,56	9:20	17:20	17:20	9:20	0	1880
8	AGROSCOPIO ORDAGRO S.A.	566,21	12:05	20:05	20:05	12:05	0	1500
9	MEGAGROSTORE A	591,49	12:36	20:36	20:36	12:36	0	1180
10	COMERCIAL SV	628,79	13:17	21:17	21:17	13:17	0	1005
11	AVICOLA DANNY	631,61	13:23	21:23	21:23	13:23	0	780
12	MEGAGROSTORE B	633,84	13:28	21:28	21:28	13:28	0	545
13	ZU CAMPO	689,79	14:51	22:51	22:51	14:51	0	355
14	NUTRIGAND #2	697,20	15:06	23:06	23:06	15:06	0	195
15	LUCIO SALAZAR PEDRO	746,81	16:06	00:06	00:06	16:06	0	0
16	Pallatanga	819,35	18:01	02:01	18:01	18:01	0	0

**Figura 5-27.** Ventana emergente Solución, datos PRODUALBA (Ruta más corta).

*Fuente: (Excel, 2022).*

**Paso 6:** Para una mejor ilustración de la solución a través de la ventana emergente Visualización se crea un mapa en el que se observa la ruta logística que hace el vehículo de la compañía PRODUALCA a cada uno de los clientes.



**Figura 5-28.** Ventana emergente Visualización, datos PRODUALBA (Ruta más corta)

*Fuente: (Excel, 2022).*

### 5.6.3 Resultados.

En base a la aplicación del modelo matemático basado en VRP realizado en excel, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación considerando dos casos: la ruta más rápida y la ruta más corta.

**Ruta más rápida:** el modelo matemático en este caso práctico arroja valores como: el tiempo total de trabajo que realiza el vehículo que es 15, 28 horas y un recorrido de 939,33 km de distancia, lo que se puede observar en la **Figura 5-27**. Además, se aprecia que cuando el vehículo empieza a recorrer tiene la carga en su máxima capacidad y que cuando llega al destino final regresa con una carga total de 0 kg. Este dato sugiere que el vehículo entregó todo el producto a los clientes dentro de la ruta logística.

**Ruta más corta:** En este segundo caso práctico cuyos datos se encuentran en la **Figura 5-27**, se puede observar que el tiempo total de trabajo que realiza el vehículo es de 18, 01 horas, con un recorrido de 819,35 km. También se aprecia que cuando el vehículo empieza el recorrido tiene una carga de máxima capacidad y cuando llega al destino final tiene una carga de 0 kg. Concluyendo que el vehículo ha entregado todo el producto a los clientes dentro de la ruta logística. Los datos que arroja el modelo matemático VRP para los dos casos lo resumimos en la **Tabla 5-7** y, de esta forma se aprecian los resultados de manera más clara.

**Tabla 5-7.** Resultados, ruta más rápida y ruta más corta

	Ruta más rápida	Ruta más corta
<b>Distancia total recorrida (km)</b>	930,33	819,35
<b>Tiempo total de conducción (horas)</b>	15,28	18,01

Realizado por: Padilla M, 2023

### 5.6.4 Interpretación de los resultados.

Son muchas las interpretaciones que podemos dar a los resultados obtenidos. En este punto partimos por realizar una comparación general entre la ruta empírica que es la ruta actual y las rutas que arroja el modelo VRP que son la Ruta más rápida y la más corta. La **Tabla 5-8** muestra estos datos que permiten apreciar la diferencia entre uno y otro caso, pudiendo observar la diferencia en distancia, tiempo y costo y estos son los parámetros para nuestro posterior análisis

**Tabla 5-8.** Comparación de resultados, situación actual y modelo VRP.

	Ruta Empírica	Ruta más rápida	Ruta más corta
<b>Distancia total recorrida (km)</b>	1100,00	930,33	819,35
<b>Tiempo total de conducción (horas)</b>	22,00	15,28	18,10
<b>Costo kilómetro recorrido (dólares)</b>	46,52	39,07	34,41
<b>Costo por tiempo recorrido (dólares)</b>	113,08	94,88	92,52

Realizado por: Padilla M, 2023

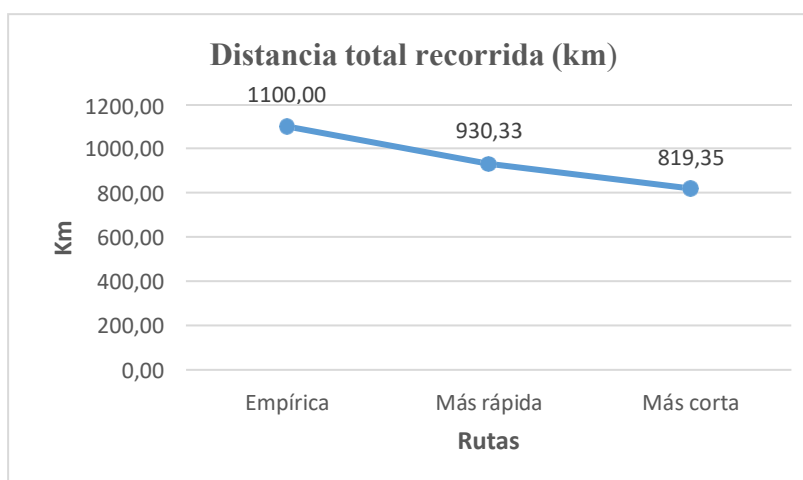
### **Distancia recorrida.**

En cuanto a la distancia recorrida la **Tabla 5-9** muestra la diferencia entre la ruta actual y las rutas obtenidas con el modelo VRP, así podemos ver que la Ruta más rápida tiene un porcentaje menor de 15 % con respecto a la ruta actual o empírica, mientras la diferencia entre la ruta actual y la Ruta más corta es de 26 %. El Gráfico 5-1 presenta de forma muy demostrativa cual de las rutas ofrece la distancia más corta que es la Ruta más corta.

**Tabla 5-9.** Diferencia de distancia entre rutas.

Descripción	Km	Porcentaje %
Diferencia entre la ruta empírica y la Ruta más rápida.	169,67	15
Diferencia entre la ruta empírica y la Ruta más corta.	280,65	26

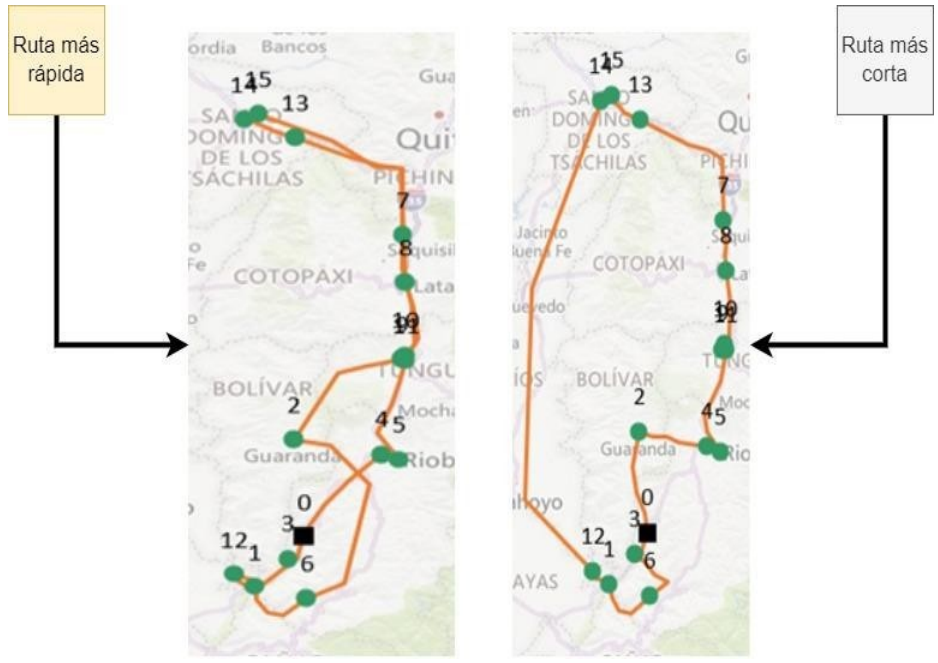
Realizado por: Padilla M, 2023



**Gráfico 5-1.** Distancia recorrida en las diferentes rutas

Realizado por: Padilla M. 2023

La diferencia de distancias también se ve reflejado en la **Figura 5-28**, los dos casos de estudio tienen diferente ruta. Esta disparidad de ruta depende de la distancia entre cada cliente y el depósito y por supuesto de la cantidad requerida de producto.



**Figura 5-29.** Ruta más corta vs. Ruta más rápida  
 Fuente: Padilla M, 2023

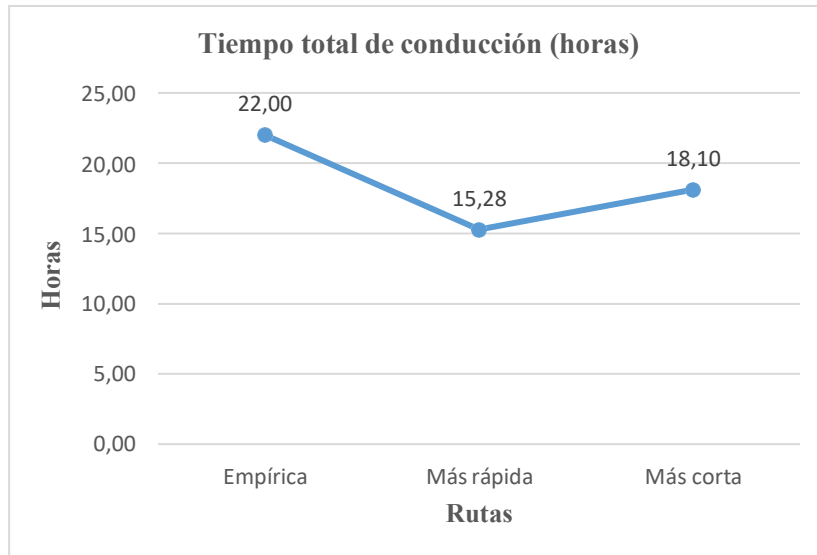
**Tiempo de conducción.**

En cuanto al tiempo de conducción también se hallan diferencias importantes con la situación actual, la **Tabla 5-10** proporciona la siguiente información relevante: el modelo VRP nos ayuda a mejorar el tiempo de conducción, con la Ruta más rápida el tiempo se reduce en un 31% y con la Ruta más corta se reduce un 18 %. En la **Gráfica 5-2** se aprecia claramente la diferencia de tiempo entre las rutas y nos deja ver que la ruta más rápida es la que menor tiempo arroja con el modelo propuesto.

**Tabla 5-10.** Diferencia de tiempo entre rutas

Descripción	Horas	Porcentaje
Diferencia entre la ruta empírica y la Ruta más rápida.	6,72	31
Diferencia entre la ruta empírica y la Ruta más corta.	3,90	18

Realizado por: Padilla M, 2023



**Gráfico 5-2.** Diferencia de tiempo entre rutas

Realizado por: Padilla M. 2023

**Costo por kilómetro recorrido y tiempo transcurrido.**

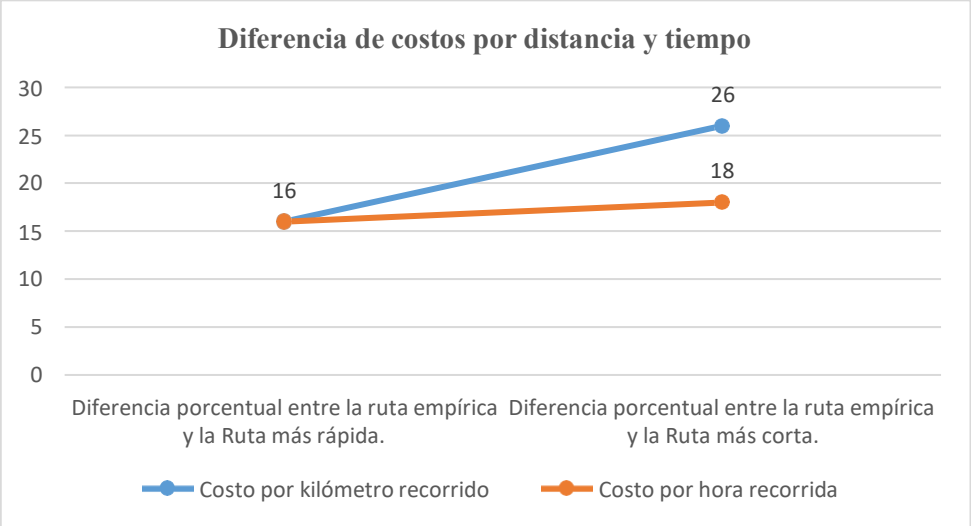
Si analizamos la **Tabla 5-11** veremos que en cuanto al costo por kilómetro recorrido la Ruta más corta se diferencia en un 26% de la ruta actual, siendo esta ruta la que menor costo ofrece. En cuanto al tiempo recorrido la que menor costo ofrece es la Ruta más corta con una disminución del 18% de la ruta empírica.

**Tabla 5-11.** Diferencia porcentual entre rutas

	Diferencia porcentual entre la Ruta empírica y la Ruta más rápida.	Diferencia porcentual entre la Ruta empírica y la Ruta más corta.
Costo por kilómetro recorrido	16%	26%
Costo por hora recorrida	16%	18%

Realizado por: Padilla M, 2023

La **Gráfica 5-3** muestra que la Ruta más corta ofrece mayor diferencia de costos por distancia recorrida en relación con la situación actual, con una reducción del 26% lo que en dólares significa una reducción de 12 dólares por cada kilómetro recorrido. En cuanto al tiempo transcurrido la Ruta más corta ofrece mayor diferencia de 18%, lo que implica una reducción de 20 dólares por cada hora recorrida.



**Gráfico 5-3.** Diferencia porcentual de costos entre rutas

Realizado por: Padilla M. 2023.

## CONCLUSIONES

Gracias a la revisión de literatura científica y los resultados obtenidos con la aplicación del modelo matemático de optimización basado en VRP desarrollados en esta investigación, se pueden concluir lo siguiente:

- En base al análisis realizado, se ha logrado diagnosticar la logística del transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA en el cantón Pallatanga y se resalta la importancia de intervenir en la logística de transportes que es un parámetro crítico por el ineficiente sistema con el que la empresa trabaja actualmente. Es fundamental desarrollar mecanismos que permitan mejorar la falta de rutas y horarios establecidos y la falta de seguimiento tecnológico en el monitoreo de los envíos.
- Mediante la utilización de modelos matemáticos y algoritmos de optimización, basado en VRP, se logró encontrar soluciones óptimas para la asignación de rutas, la planificación de horarios y la gestión de los recursos de transporte. Estas soluciones permitieron minimizar la distancia recorrida, optimizar la carga de los vehículos y reducir los tiempos de entrega. Además, demuestra una amplia variedad de opciones que pueden ayudar a la compañía con este modelo matemático a mejorar sus rutas logísticas dependiendo si es que quieren una ruta más rápida o una ruta más corta.
- La validación del funcionamiento del modelo matemático aplicado a la logística de transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA ha demostrado su efectividad y utilidad en la mejora de los procesos operativos y la toma de decisiones logísticas después de comparar los resultados obtenidos del modelo matemático con los datos y situaciones reales de la empresa, permitiendo mejorar la asignación de rutas, la optimización de los horarios de transporte y la eficiente utilización de los recursos disponibles. Se pudo observar una reducción significativa en los costos operativos, una mayor eficiencia en la entrega de productos y una mejora en la satisfacción del cliente.
- Con la aplicación del modelo matemático se evidencia que existe optimización en distancia y tiempo: en la distancia recorrida con la ruta más corta existe una reducción de 25.51% (280,65 km) en relación a la ruta empírica actual, mientras que, en el tiempo transcurrido de conducción, se aprecia que hay una reducción del 30.54% (6.72h) en la ruta más rápida obtenida con el modelo VRP con relación a la ruta empírica actual.

- La implementación exitosa del modelo matemático al asignar eficientemente rutas y horarios ha demostrado su efectividad en la optimización de procesos y, a su vez, en la minimización significativa de los costos operativos asociados al transporte, como el consumo de combustible y el desgaste de los vehículos entre otros.
- El modelo matemático de optimización basado VRP puede ser aplicado a cualquier compañía de carga que se dedique a la entrega o distribución de productos ya que este establecida o desee conformarse.



## RECOMENDACIONES

Con el fin de fortalecer la logística de transporte de la Compañía Limitada PRODUALBA para mejorar la eficiencia operativa y satisfacer las necesidades de sus clientes de manera efectiva se recomienda:

- Implementar un sistema que permita planificar y gestionar de manera eficiente las rutas y horarios de entrega. Esto ayudará a optimizar la asignación de recursos y reducir los tiempos de entrega, mejorando así la satisfacción del cliente y la eficiencia en general.
- Implementar un sistema de seguimiento y monitoreo basado en tecnología, como GPS y software de gestión logística, que permita tener un control en tiempo real sobre la ubicación de los vehículos y el estado de los envíos. Esto brindará mayor visibilidad y permitirá una respuesta rápida ante cualquier eventualidad, mejorando la eficiencia y la calidad del servicio.
- Realizar evaluaciones periódicas del modelo para verificar su funcionamiento y precisión a medida de las circunstancias y los datos cambien. Además, es importante estar atentos a nuevas oportunidades de mejora e incorporar actualizaciones al modelo para adaptarlo a las necesidades de la empresa y del mercado. Mantener el modelo actualizado garantizará que se siga aprovechando al máximo su potencial para optimizar la logística y mejorar los resultados de la compañía.
- A partir de esta investigación es conveniente que se identifiquen nuevas líneas de investigación enfocadas a dar solución al tema de costos y aumento de competitividad para otras empresas que se dedican a distribuir cualquier tipo de productos.
- Desarrollar un estudio basado en este modelo, en el que se pueda identificar si existe una reducción del impacto ambiental como consecuencia de utilizar este modelo.
- Es importante seguir indagando en otros modelos matemáticos que sirvan también para dar solución al problema de ruteo vehicular y poder realizar la comparativa que permita reconocer la eficiencia de uno u otro modelo para la toma de decisiones estratégicas y operativas que contribuyan al crecimiento, eficiencia y competitividad en el mercado.

## GLOSARIO

**Alcance descriptivo:** El alcance descriptivo en investigación hace referencia a la especificación de propiedades y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se esté estudiando; este tipo de investigación se enfoca en describir las características y detalles del objeto de estudio sin manipulación ni interpretación por parte del investigador.

**Algoritmos de optimización:** Algoritmos de optimización es un término que se refiere a un conjunto de técnicas y métodos utilizados en matemáticas y ciencias de la computación para encontrar el mejor resultado posible en un problema dado. Se utilizan en diversas áreas, como la ingeniería, la economía, la física y otros campos donde se necesita encontrar la solución más eficiente y efectiva para un problema determinado. Estos algoritmos buscan automatizar la tarea de encontrar la mejor solución posible, ahorrando tiempo y recursos.

**Asignación de recursos:** La asignación de recursos se refiere al proceso de distribuir de manera efectiva y eficiente los recursos disponibles en un momento determinado para cumplir con las necesidades y objetivos de una organización o proyecto. Esto implica identificar los recursos necesarios, su disponibilidad y asignarlos donde sean necesarios, para lograr la máxima eficiencia y eficacia en el uso de los mismos. La asignación de recursos es un componente esencial en la gestión de proyectos y en la planificación estratégica de cualquier organización.

**Asignación de rutas:** La asignación de rutas se refiere al proceso de asignar rutas específicas a los datos o recursos dentro de un sistema de archivos o una red, de modo que puedan ser accesibles para su uso. El objetivo principal de la asignación de rutas es optimizar la eficiencia y la accesibilidad del sistema o red, permitiendo un acceso rápido y eficiente a los datos y recursos para su uso.

**Diseño no experimental de corte transversal:** El diseño no experimental de corte transversal es un tipo de estudio de investigación que se enmarca en los diseños no experimentales. Este tipo de diseño no implica la manipulación de variables ni la asignación aleatoria de los participantes en grupos. En el diseño no experimental de corte transversal, los participantes representan una muestra de la población y se analiza la frecuencia de la ocurrencia de las variables estudiadas.

**Distancia recorrida:** La distancia recorrida se refiere a la longitud total del camino recorrido por un objeto en movimiento entre dos posiciones. Es una cantidad escalar que se puede representar por un valor numérico seguido de una unidad de medida que indica la distancia total entre los dos puntos. La distancia recorrida no tiene dirección ni signo, por lo que no se considera un vector.

**Distribución de productos:** La distribución de productos se refiere al proceso de llevar un producto desde el fabricante o proveedor hasta el consumidor final. Esto implica la coordinación de varias actividades, como el almacenamiento, transporte, selección y planificación de rutas, con el fin de asegurar la entrega eficiente y efectiva del producto. La distribución de productos es un

elemento clave de la cadena de suministro y puede ser gestionada internamente por las empresas o a través de terceros especializados en logística y transporte.

**Eficiencia:** El significado de eficiencia se refiere a la capacidad de lograr los resultados deseados con el uso mínimo de recursos. Es decir, se refiere a la optimización de los recursos disponibles para lograr un objetivo.

**Enfoque analítico-sintéticos:** El enfoque analítico-sintético se refiere a un método de enseñanza en el que se descompone un todo en sus partes o elementos, y posteriormente se combinan las partes o elementos en un todo nuevamente para lograr una comprensión completa del tema en cuestión. Este enfoque se utiliza en diversos ámbitos, desde la enseñanza hasta la investigación, y se considera uno de los métodos más efectivos para lograr una comprensión profunda y completa de un tema determinado.

**Enfoque bibliográfico:** El enfoque bibliográfico se refiere al uso de fuentes bibliográficas como una fuente principal de información en la investigación. Este enfoque implica la búsqueda y el análisis de información disponible en publicaciones impresas y electrónicas, como libros, artículos, tesis, informes, etc. para obtener una comprensión más profunda de un tema en particular o para abordar una pregunta de investigación. El enfoque bibliográfico se considera una técnica de investigación importante para resumir, clasificar, comparar y evaluar la información disponible en la literatura existente.

**Enfoque cuali-cuantitativo:** El enfoque cuali-cuantitativo es una combinación o mezcla de elementos de la investigación cualitativa y cuantitativa en un solo estudio. En este enfoque se trata de complementar los datos cualitativos y cuantitativos para lograr una visión más completa y detallada del objeto de estudio.

**Enfoque de campo:** El enfoque de campo se refiere a un enfoque de investigación que se enfoca en la recolección de datos a través de la observación directa y la interacción con los participantes en su propio entorno natural. Este enfoque es comúnmente utilizado en la investigación cualitativa y se enfoca en entender la perspectiva de los participantes desde su propio contexto social, cultural y político.

**Enfoque deductivo:** El enfoque deductivo es un método que consiste en llegar a conclusiones específicas a partir de premisas y principios generales previamente establecidos. Es decir, se parte de un razonamiento general y se desciende a detalles o conclusiones concretas. Esto se logra mediante la aplicación del razonamiento lógico-matemático para extraer de forma sistemática y rigurosa una conclusión a partir de un conjunto de premisas o proposiciones previas.

**Enfoque documental:** El enfoque documental se refiere a una estrategia de investigación que implica la observación y consulta de fuentes documentales escritas o grabadas para recopilar información sobre un tema de interés. Esto puede incluir la revisión de libros, artículos, registros históricos, archivos digitales y otros materiales similares. El objetivo es obtener información

precisa y confiable que pueda ser analizada, organizada y utilizada para desarrollar una comprensión más profunda del tema en cuestión.

**Enfoque empírico:** El enfoque empírico es un modelo de investigación que busca obtener conocimiento a partir de la observación de la realidad. Este enfoque se basa en la experimentación y la observación directa de los datos, y se utiliza en diferentes campos de estudio, como la ciencia, la filosofía y la psicología. El conocimiento empírico se caracteriza por ser adquirido a través de la experiencia directa y la observación, en contraposición al conocimiento teórico o especulativo.

**Enfoque inductivo:** El enfoque inductivo es una forma de razonamiento que se utiliza en la investigación científica para obtener conclusiones generales a partir de premisas particulares. Este enfoque se caracteriza por recolectar datos específicos y luego utilizarlos para formular una hipótesis o una teoría más amplia.

**Gestión de recursos de transporte:** La Gestión de Recursos de Transporte se refiere al conjunto de estrategias y técnicas utilizadas para planificar, coordinar y controlar la operación de los recursos de transporte de una organización, incluyendo vehículos, conductores y rutas. El objetivo principal de la gestión de recursos de transporte es optimizar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la calidad del servicio de transporte de bienes y personas. Esto se logra a través de una planificación inteligente, una gestión eficaz de los recursos, un seguimiento constante y una adaptación a las exigencias del mercado y los clientes.

**Modelo de ruteo de vehículos VRP:** El Modelo de ruteo de vehículos VRP (Vehicle Routing Problem) es un problema logístico-matemático de diseño de rutas que consiste en determinar una serie de rutas óptimas para una flota de vehículos que deben satisfacer un conjunto de demandas en diferentes puntos. Es decir, se trata de encontrar la forma más eficiente de realizar entregas o recogidas utilizando una cantidad finita de vehículos, minimizando el tiempo o distancia recorrida.

**Modelo matemático:** El significado del término "modelo matemático" es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la realidad, con el fin de entender o predecir su comportamiento. Un modelo matemático puede ser utilizado en diferentes campos, como en física, ingeniería, economía, entre otros, y se construye a partir de suposiciones o hipótesis que se validan a través de la comparación con datos experimentales o de la realidad.

**Optimización matemática:** La optimización matemática es el proceso de seleccionar la mejor solución entre un conjunto de posibles soluciones, con respecto a algún criterio. Se trata de una disciplina matemática que busca encontrar soluciones óptimas a problemas complejos mediante la aplicación de algoritmos y modelos matemáticos.

**Planificación de horarios:** La planificación de horarios es el proceso mediante el cual se establecen los tiempos y las fechas para llevar a cabo diferentes actividades, tareas o eventos en una organización o en cualquier otro ámbito. Esto puede incluir la asignación de trabajos y turnos

a los empleados, la planificación de reuniones y citas, la gestión de proyectos, la programación de actividades diarias, entre otros. La planificación de horarios es fundamental para asegurar que todas las actividades se completen a tiempo y de manera eficiente, lo que puede mejorar la productividad, la eficacia y la satisfacción de los implicados.

**Reducir los tiempos de entrega:** Reducir los tiempos de entrega significa disminuir el lapso que transcurre desde que se procesa un pedido hasta que este es entregado. Esto implica mejorar la eficacia y eficiencia en la gestión de los procesos logísticos, desde la recepción y preparación del pedido hasta su envío y entrega al cliente o destinatario. La reducción de los tiempos de entrega puede implicar beneficios como la mejora de la satisfacción del cliente, la optimización de los recursos empresariales y, potencialmente, la reducción de costos operativos.

**Satisfacción del cliente:** La satisfacción del cliente es una medida de la felicidad o conformidad que un cliente experimenta con los productos y servicios que ofrece una empresa. Es un indicador clave del éxito empresarial ya que los clientes satisfechos tienen más probabilidades de permanecer leales a la empresa y de recomendar sus productos o servicios a otros. La satisfacción del cliente puede medirse mediante diversas técnicas, como encuestas, análisis de comentarios y quejas, entre otras.

**Solución óptima:** La solución óptima es una solución factible que proporciona el valor más favorable de la función objetivo. Esto significa que la solución óptima es la solución que maximiza o minimiza la función objetivo, dependiendo del problema planteado. En programación lineal, la solución óptima se refiere a la solución factible que maximiza o minimiza la función objetivo y cumple con todas las restricciones del problema.

**Tiempo de entrega:** El tiempo de entrega se refiere al periodo de tiempo que transcurre desde el momento en que se realiza un pedido hasta que se entrega el producto o servicio solicitado. Es una medida clave para la gestión logística de una empresa, ya que permite planificar y optimizar el flujo de trabajo en la cadena de suministro y mejorar la satisfacción del cliente al garantizar que los productos o servicios se entreguen en el plazo acordado.

**Transporte:** El transporte se refiere al acto o proceso de trasladar algo o alguien de un lugar a otro utilizando una variada gama de medios o sistemas de transporte. Estos pueden incluir vehículos motorizados como autos, camiones, trenes, aviones, barcos, entre otros, así como también medios de transporte no motorizados como bicicletas, vehículos de tracción animal, entre otros. El transporte es un componente esencial de la vida moderna, y es fundamental para el comercio, los viajes y el movimiento de personas y bienes a nivel local, regional e internacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango Serna, M. D., Ruiz Moreno, S., Ortiz Vásquez, L. F., & Zapata Cortes, J. A. (2017). Indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: Un enfoque desde el transporte de carga terrestre. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(4), 707–720. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400707>
- Argueta, C. M., López, M. del P. E. A., & Iniestra, J. G. (2014). Un enfoque multicriterio para el diseño de una red para el transporte de embarques internacionales. *Contaduría y Administración*, 59(4), 193–221. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)70160-3](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)70160-3)
- Ayala Landeros, J. G., Román Flores, S. E., Ayala Landeros, R., Navarrete Fernández, A. C., & González Lorence, A. (2021). Optimización de un proceso industrial de fosfatado mediante simulación de eventos discretos y tiempos determinísticos. *Computación y Sistemas*, 25(1). <https://doi.org/10.13053/cys-25-1-3892>
- Batero Manso, D. F., Orjuela Castro, J. A., Batero Manso, D. F., & Orjuela Castro, J. A. (2018). El Problema de Ruteo e Inventarios en Cadenas de Suministro de Perecederos: Revisión de Literatura. *Ingeniería*, 23(2), 117–143. <https://doi.org/10.14483/23448393.12691>
- Bravo, J. J., Orejuela, J. P., & Osorio, J. C. (2007). Administración de recursos de distribución: indicadores para la priorización en transporte. *Estudios Gerenciales*, 23(102), 101–118. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(07\)70004-9](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(07)70004-9)
- Brea, E. (2013). Una extensión del método de Nelder Mead a problemas de optimización no lineales enteros mixtos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 29(3), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.06.005>
- Caballero, J. A., & Grossmann, I. E. (2007). Una revisión del estado del arte en optimización. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 4(1), 5–23. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(07\)70188-7](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(07)70188-7)
- Callejas-Cuervo, M., Valero-Bustos, Helver. A., & Alarcón-Aldana, Andrea. C. (2014). Agentes de Software como Herramienta para medir la Calidad de Servicio Prestado en un Sistema de Transporte Público Colectivo Urbano. *Información Tecnológica*, 25(5), 147–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500020>
- Camarena Luhrs, M. (2014). Transporte terrestre, un tema regional estratégico del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. *Norteamérica*, 9(2), 205–224. <https://doi.org/10.20999/nam.2014.b008>
- Cardoso-Vargas, C. E. (2016). Competencia económica en el sector de transporte aéreo de pasajeros en México. *Economía Informa*, 397, 39–60. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.03.003>
- Castaño, J. A., Diez, A. E., & Giraldo, D. P. (2018). Análisis del Consumo Energético de un Sistema de Transporte Público de Pasajeros con Tracción Eléctrica desde una Perspectiva

- Sistémica. *Información Tecnológica*, 29(1), 147–160. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000100147>
- Colque, A., Valdivia, R., Navarrete, M., & Aracena, S. (2021). Un sistema de información geográfico para el transporte público basado en el estándar GTFS realtime. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1), 51–62. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000100051>
- de Pablos Heredero, C., Perez Bermejo, L. J., & Montes Botella, J. L. (2012). Impacto de los sistemas de apoyo a la explotación (SAE) en la mejora de los servicios de transporte público urbano. *Cuadernos de Economía y Dirección de La Empresa*, 15(1), 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.cede.2011.07.001>
- Delgado Jalón, M. L., Sánchez de Lara, M. A., & Gómez Ortega, A. (2014). Financiación del servicio público de transporte urbano: un estudio empírico en las empresas españolas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa*, 20(3), 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.iedee.2013.05.003>
- Enciso-Gómez, D., Antonio Cervantes, P. H., Robles Martínez, F., Durán-Páramo, E., & Castro-Frontana, D. G. (2019). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE RESIDUOS A SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(esp02), 55–67. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.06>
- Fernández-Vargas, J. A., & Bonilla-Petriciolet, A. (2014). Desarrollo de un algoritmo de optimización global en colonias de hormigas con selección de región factible para espacios continuos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 30(3), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.06.006>
- Gámez-Pérez, K., Arroyo-López, P. E., & Gaytán-Iniestra, J. (2019). Supporting the strategic design of public bicycle sharing systems: The experience of a large Mexican city. *Contaduría y Administración*, 65(3), 180. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.2192>
- Gonzalez-L, E. C., Adarme-Jaimes, W., & Orjuela-Castro, J. A. (2015). Modelo matemático estocástico para el problema de ruteo de vehículos en la recolección de productos perecederos. *DYNA*, 82(189), 199–206. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V82N189.48549>
- Granillo Macias, R., Gonzalez Hernandez, I. J., Santana Robles, F., & Martinez Flores, J. L. (2019). Estrategia de centros de consolidación para la distribución de tuna en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 265–276. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.790>
- Hurtado-Bringas, B. A., Robles-Parra, J. M., Preciado-Rodríguez, J. M., & Bañuelos-Flores, N. (2018). Logística de transporte y desarrollo local en organizaciones exportadoras de uva de

- mesa sonorensis. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 28(51). <https://doi.org/10.24836/es.v28i51.563>
- Izar-Landeta, J. M., Ynzunza-Cortés, C. B., Castillo-Ramírez, A., & Hernández-Molinar, R. (2016). Estudio comparativo del impacto de la media y varianza del tiempo de entrega y de la demanda en el costo del inventario. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(3), 371–381. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.007>
- Jia, H., Lin, Y., Luo, Q., Li, Y., & Miao, H. (2019). Multi-objective optimization of urban road intersection signal timing based on particle swarm optimization algorithm. *Advances in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1177/1687814019842498>
- Luyando Cuevas, J. R., Tapia Castro, G. de J., & Pérez Interian, C. V. (2014). Transporte de pasajeros en el Área Metropolitana de Monterrey. *Economía Informa*, 387, 76–87. [https://doi.org/10.1016/S0185-0849\(14\)70438-4](https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)70438-4)
- Martínez, S., París, J., Colominas, I., Navarrina, F., & Casteleiro, M. (2014). Optimización mixta de estructuras de transporte de energía: aplicación del algoritmo de recocido simulado. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 30(2), 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.02.003>
- Millán Páramo, C., Begambre Carrillo, O., & Millán Romero, E. (2014). Propuesta y validación de un algoritmo Simulated annealing modificado para la solución de problemas de optimización. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 30(4), 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.10.003>
- Moreno Alba, D. F., Figueroa, Ó., & Gurdon, C. (2021). Desigualdades urbanas: costos y tiempos de viaje en el Área Metropolitana de Santiago. *Revista INVI*, 36(102), 54–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582021000200054>
- Moyano, C. M. C. M., Ortega, J. F. J. F., & Mogrovejo, D. E. D. E. (2018). Efficiency analysis during calibration of traffic microsimulation models in conflicting intersections near Universidad del Azuay, using Aimsun 8.1. *IET Seminar Digest*, 2018(1).
- Nadarajah, S., & Bookbinder, J. H. (2013). Less-Than-Truckload carrier collaboration problem: modeling framework and solution approach. *Journal of Heuristics*, 19(6), 917–942. <https://doi.org/10.1007/s10732-013-9229-7>
- Navarro, R., Navarro, R., Puris, A., Bello, R., & Herrera, F. (2011). Estudio del desempeño de la optimización basada en mallas variables en problemas con óptimos en las fronteras del espacio búsqueda. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 3(3–4). [https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=view&path\[\]=76](https://rcci.uci.cu/?journal=rcci&page=article&op=view&path[]=76)
- Neri, F., & Cotta, C. (2012). Memetic algorithms and memetic computing optimization: A literature review. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2011.11.003>
- Ortega, J. (2021). *Planning a Park and Ride System : A Literature Review*. 82–98.



- Ortega, J., Moslem, S., Tóth, J., Péter, T., Palaguachi, J., & Paguay, M. (2020). Using Best Worst Method for Sustainable Park and Ride Facility Location. *Sustainability*, *12*(23), 10083. <https://doi.org/10.3390/su122310083>
- Ortega, J., Tóth, J., Moslem, S., Péter, T., & Duleba, S. (2020). An Integrated Approach of Analytic Hierarchy Process and Triangular Fuzzy Sets for Analyzing the Park-and-Ride Facility Location Problem. *Symmetry*, *12*(8), 1225. <https://doi.org/10.3390/sym12081225>
- Ortega, J., Tóth, J., & Péter, T. (2021a). A Comprehensive Model to Study the Dynamic Accessibility of the Park & Ride System. *Sustainability*, *13*(7), 4064. <https://doi.org/10.3390/su13074064>
- Ortega, J., Tóth, J., & Péter, T. (2021b). Applying Geographic Information System Methodologies to Estimate the Catchment Area Accessibility of Park-and-Ride Facilities. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, *50*(1), 69–78. <https://doi.org/10.3311/PPtr.16384>
- Ortega, J., Tóth, J., Péter, T., & Moslem, S. (2020). An Integrated Model of Park-And-Ride Facilities for Sustainable Urban Mobility. *Sustainability*, *12*(11), 4631. <https://doi.org/10.3390/su12114631>
- Ortega Jairo, Tóth János, P. Tamás. (2019). Estimation of parking needs at Light Rail Transit System stations. *Transport Science*, *11*. <https://doi.org/ISBN 978-963-8121-85-1>
- Ortúzar, J. de D. (2000). Modelos de demanda de transporte. In *Alfaomega, Ediciones UC, Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). Modelling Transport. In *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., & Puris, A. (2018). *Uso de optimización de mallas variables para el “viajante de comercio.”* <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a16>
- Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., Puris, A., Oviedo, B., Zambrano-Vega, C., & Puris, A. (2018). Uso de optimización de mallas variables para el “viajante de comercio.” *Revista Lasallista de Investigación*, *15*(2), 210–222. <https://doi.org/10.22507/RLI.V15N2A16>
- Potvin, J.-Y. (2009). Evolutionary Algorithms for Vehicle Routing. *INFORMS Journal on Computing*, *21*(4), 518–548. <https://doi.org/10.1287/ijoc.1080.0312>
- Puente, E., Lázaro, M., Abreu, O., Capote, J. A., & Alvear, D. (2013). Aplicación de un algoritmo evolutivo para la optimización del modelado computacional del pirólisis de materiales. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, *29*(4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.07.003>
- Quintero González, J. R., & Quintero González, L. E. (2016). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Ingeniería y Región*, *14*(2), 87. <https://doi.org/10.25054/22161325.696>

- Ramírez Huerta, V. P. (2018). COSTO DE CAPITAL Y RENTABILIDAD EN EMPRESAS DE TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS. *Quipukamayoc*, 26(51), 13.  
<https://doi.org/10.15381/quipu.v26i51.14865>
- Rave, J. I. P., & Álvarez, G. P. J. (2013). Espacio literario relevante sobre el problema del vendedor viajero (TSP): contenido, clasificación, métodos y campos de inspiración. *Production*, 23(4), 866–876. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000003>
- Rizopoulos, D., & Esztergár-Kiss, D. (2020). A Method for the Optimization of Daily Activity Chains Including Electric Vehicles. *Energies*, 13(4), 906.  
<https://doi.org/10.3390/en13040906>
- Rojas Amaya, J. S. (2014). Elementos para la integración de sistemas de gestión y su importancia en la cadena productiva del transporte de carga terrestre en Colombia. *Suma de Negocios*, 5(12), 136–142. [https://doi.org/10.1016/S2215-910X\(14\)70035-7](https://doi.org/10.1016/S2215-910X(14)70035-7)
- Ruiz, M., Seguí Pons, J. M., Mateu Lladó, J., & Martínez Reynés, M. R. (2017). Evaluación de la equidad del servicio de transporte público: El caso de Palma de Mallorca. *Estudios Geográficos*, 77(281), 619. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201621>
- Ruiz Moreno, S., Arango Serna, M. D., Serna Uran, C. A., & Zapata, J. A. (2020). Modelo matemático para la optimización de la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre. *DYNA*, 87(214), 248–257.  
<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.84679>
- Ruiz-Meza, J. (2021). Problema de ruteo de vehículos multi-objetivo con entregas y recogidas simultáneas y minimización de emisiones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(3), 435–449. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000300435>
- Ruiz-Meza, J., & Ruiz-Meza, J. (2021). Problema de ruteo de vehículos multi-objetivo con entregas y recogidas simultáneas y minimización de emisiones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(3), 435–449. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000300435>
- Rześny-Cieplińska, J., Szmelter-Jarosz, A., & Moslem, S. (2021). Priority-based stakeholders analysis in the view of sustainable city logistics: Evidence for Tricity, Poland. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102751>
- Sánchez, D. E., & Gutiérrez, E. (2022). Aplicación de la p-mediana y ruteo de vehículos para la reducción de distancias en una empresa de servicio postal. *Información Tecnológica*, 33(1), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100121>
- Sánchez, D. E., Gutiérrez, E., Sánchez, D. E., & Gutiérrez, E. (2022). Aplicación de la p-mediana y ruteo de vehículos para la reducción de distancias en una empresa de servicio postal. *Información Tecnológica*, 33(1), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100121>
- Sánchez Galván, F., Garay Rondero, C. L., Mora Castellanos, C., Gibaja Romero, D. E., & Bautista Santos, H. (2017). Optimización de costos de transporte bajo el enfoque de teoría

- de juegos. Estudio de caso. *Nova Scientia*, 9(19), 185.  
<https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1051>
- Sánchez Toledano, D., Carrasco Díaz, D., & Sánchez Toledano, J. (2014). Observatorio de Costes y Financiación del Transporte Urbano Colectivo: un programa de investigación. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa*, 20(1), 33–40.  
<https://doi.org/10.1016/j.iedee.2013.05.001>
- Serna-Uran, C. A., García-Castrillón, J. A., & Flórez-Londoño, O. (2016). Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín. *Ingenierías USBMed*, 7(2), 89–95.  
<https://doi.org/10.21500/20275846.2631>
- Serrano Cervantes, M. E., & Montero García, L. de J. (2019). El uso de modelos de redes y modelos de transporte para la optimización y reducción de tiempos y costos de transporte en la Comercializadora Gonac S. A de C. V. / The use of network models and transport models for the optimization and reduction of transport times and costs in the Comercializadora Gonac S. A de C. V. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 8(15), 29–53. <https://doi.org/10.23913/ricea.v8i15.123>
- Tsugawa, S. (2013). An overview on an automated truck platoon within the energy ITS project. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 7, Issue PART 1). IFAC.  
<https://doi.org/10.3182/20130904-4-JP-2042.00110>
- Vesga Ferreira, J. C., Granados Acuña, G., & Sierra Carrillo, J. E. (2016). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Ingeniería y Desarrollo*, 34(2), 463–482. <https://doi.org/10.14482/INDE.33.2.6368>
- Zamora Torres, A. I., & Pedraza Rendón, O. H. (2013). El transporte internacional como factor de competitividad en el comercio exterior. *Journal of Economics Finance and Administrative Science*, 18(35), 108–118. [https://doi.org/10.1016/S2077-1886\(13\)70035-0](https://doi.org/10.1016/S2077-1886(13)70035-0)
- Zapata Cortes, J. A., Vélez Bedoya, Á. R., & Arango Serna, M. D. (2020a). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. *Investigación Administrativa*, 49–2.  
<https://doi.org/10.35426/IAv49n126.08>
- Zapata Cortes, J. A., Vélez Bedoya, Á. R., & Arango Serna, M. D. (2020b). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. *Investigación Administrativa*, 49–2.  
<https://doi.org/10.35426/IAv49n126.08>

## ANEXOS

### Anexo A. Tabla general de resultados y de comparación.

	Ruta Empírica	Ruta más rápida	Ruta más corta	Diferencia entre la ruta empírica y la más rápida	Diferencia porcentual entre la ruta empírica y la más rápida	Diferencia entre la ruta empírica y la más corta.	Diferencia porcentual entre la ruta empírica y la más corta.
<b>Distancia total recorrida (km)</b>	1100,00	930,33	819,35	169,67	15,42%	280,65	25,51%
<b>Tiempo total de conducción (horas)</b>	22,00	15,28	18,10	6,72	30,55%	3,90	17,73%
<b>Costo kilometro Recorrido (dólares)</b>	46,52	39,07	34,41	7,45	16,01%	12,11	26,03%
<b>Costo por tiempo recorrido (dólares)</b>	113,08	94,88	92,52	18,20	16,09%	20,56	18,18%

**Anexo B. Entrevista gerente de PRODUALBA.**

**ENTREVISTA**

**ENTIDAD:** PRODUALBA CÍA.LTDA.

**DIRIGIDA A:** Gerente de la empresa

**OBJETIVO:** Analizar la realidad actual de la distribución de los productos de la empresa

No.	PREGUNTAS	RESPUESTAS			OBSERVACIÓN
		Si	No	N/A	
1.	¿Existe alguna planificación establecida para las rutas que debe seguir el chofer para la entrega de productos de la empresa?		x		Se confía en la experiencia del chofer para que elija la mejor ruta en base a los pedidos de la semana.
2.	¿Existe algún tipo de control para establecer los tiempos de llegada de los productos a su lugar de destino?	x			Se suele estar en contacto con los clientes para saber si ha recibido o no el producto.
3.	¿Sus clientes están satisfechos con los tiempos de entrega?	x			No han manifestado incomodidad
4.	¿Ha registrado pérdidas económicas debido a entregas fallidas o tardías?	x			Un par de ocasiones debido al mal estado de las vías.
5.	¿Cuándo la empresa ha incurrido en pérdidas económicas debido a la distribución de productos, es factible precisar las cifras?		x		



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Monserrath Amparo Padilla Muñoz</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Magíster en Matemática mención Modelación y Docencia</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS**



0065-DBRA-UTP-IPEC-2023