

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Optimización de rutas de distribución de producto terminado de una industria panadera con nodos de origen y destino en la ciudad de Guayaquil.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero(a) en Logística y Transporte

Presentado por:

Génesis Carolina Benalcázar Paredes

Ronald Alberto Flores Arias

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

Dedicatoria

Esto va dirigido principalmente para mi angelito Pompito, estuviste en la mayoría de mi proceso y nunca me faltaron esos consejos de tu parte. El mejor motor para mis metas, mis padres y hermano por haberme forjado como la persona que soy ahora. A mi enamorado, por cada palabra de aliento cuando me sentía ofuscada. También a cada uno de mis familiares y amigos que estuvieron en toda mi carrera universitaria.

Agradecimientos

Nuestra vida está plagada de retos y uno de estos es la universidad, gracias a Dios y la Virgen por guiarme en esta etapa. A mis padres y hermano por su apoyo y cariño a pesar de la distancia, siempre estuvieron presentes.

A nuestro tutor, Ing. Fernando Sandoya por guiarnos y apoyarnos hasta el final, así mismo a cada uno de los docentes que cursaron en este proceso de aprendizaje.

A mi compañero de tesis, Ing. Ronald Flores por ser un gran colaborador. A mis compañeros que estuvieron para alentarme y lograr esta meta. Familia y amigos, gracias por creer en mí y tenerme en sus oraciones. Amor, fuiste un apoyo incondicional en esos momentos turbulentos. Gracias ESPOL, por haberme enseñado tanto y ser una politécnica orgullosa.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (Génesis Carolina Benalcázar Paredes, Ronald Alberto Flores Arias) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Autor 1



Firmado electrónicamente por:
FLORES ARIAS

Autor 2

Evaluadores

Carlos Alfredo Ronquillo Franco

Profesor de Materia



Fernando Francisco Sandoya

Sánchez

Tutor de proyecto

RESUMEN

El presente proyecto pretende mitigar un problema recurrente en las empresas dedicadas a la distribución de productos terminados de carácter alimenticio, mediante la elaboración de un algoritmo que permita minimizar la distancia recorrida total de los camiones al momento de cumplir sus rutas; la empresa en cuestión no cumple tiempos de distribución ni estándar de calidad del producto debido a la mala manipulación del mismo. Para la implementación del modelo matemático más adecuado al problema en cuestión, fue escogido el lenguaje Wolfram Mathematica debido a su gran facilidad de manejo en cuanto al geoposicionamiento. Una vez depurada la data otorgada por parte de la empresa, se tomaron de referencia dos algoritmos, siendo el primero el de Clark and Wright y posteriormente optimizado por un algoritmo de mejora local llamado 2-opt. Los resultados obtenidos permitieron reducir en un 20% la distancia total recorrida, además de minimizar la cantidad de camiones de 10 a solo 7, donde finalmente se concluye que una mejora respecto a las distancias implica ahorros significativos para la empresa, ya sea de mantenimiento de los vehículos y satisfacción al cliente.

Palabras clave: Algoritmo, minimizar, optimizar, ahorros

ABSTRACT

The present project aims to mitigate a recurring issue in companies dedicated to the distribution of finished food products by developing an algorithm that allows minimizing the total distance covered by trucks when fulfilling their routes. The company in question fails to meet distribution deadlines and product quality standards due to poor handling. To implement the most suitable mathematical model for this issue, the Wolfram Mathematica language was chosen due to its ease of use in geopositioning. After cleaning the data provided by the company, two algorithms were used as references. The first one was the Clark and Wright algorithm, which was later optimized by a local improvement algorithm called 2-opt. The results obtained allowed for a 20% reduction in the total distance covered and a decrease in the number of trucks from 10 to just 7. In conclusion, improving distances leads to significant savings for the company, whether in vehicle maintenance or customer satisfaction.

Keywords: Algorithm, minimize, optimize, saving.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	8
CAPÍTULO 1	10
1. Introducción.....	10
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Justificación del problema.....	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Marco teórico	16
1.4.1 Marco conceptual	16
1.4.2 Estado del arte	19
CAPÍTULO 2	21
2. Metodología.....	21
2.1 Técnicas de investigación	21
2.1.1 Levantamiento de información.....	21
2.1.2 Recopilación de los datos.....	22
2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual.....	25
2.3 Descripción de los modelos	27
2.4 Uso de software	28
2.5 Consideraciones legales y éticas.....	29
2.6 Fases del proyecto.....	29
2.7 Cronograma de trabajo	30
Capítulo 3.....	31
3. análisis y resultados	31
3.1 Análisis de resultados	31
3.1.1 Obtención de la matriz de distancias.....	31

3.1.2	Algoritmo de Clark and Wright.....	32
3.1.3	Mejora Local 2 – Opt	35
3.2	Análisis comparativo	38
3.3	Especificaciones del prototipo.....	41
3.4	Entregables	42
3.5	Propuesta del valor de solución	42
Capítulo 4	44
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	44
4.1	Conclusiones.....	44
4.2	Recomendaciones	44
BIBLIOGRAFÍA	46

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el consumo promedio per cápita de pan es de 27 kilogramos por persona anual, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2017).

La industria panificadora está en constante crecimiento, debido a que ofrece productos alimenticios de consumo básico, sin embargo, al no contar con un proceso logístico óptimo y preciso, corre el riesgo de que el producto terminado no llegue en las mejores condiciones para el consumo humano.

Es por ello, que el presente trabajo investigativo tiene como propósito el diseño óptimo de rutas para la entrega a los diversos puntos de venta, logrando una mejora en el proceso de abastecimiento y también permitirá una reducción en los tiempos de entrega o distancias entre nodo origen a los nodos de destino, beneficiando así a la empresa y al consumidor final. Tomando en cuenta cada uno de los imprevistos a los cuales se encuentra expuesto el camión durante el proceso de entrega, como es el no contar con una vía en óptimas condiciones, no tener parqueos permitidos, la capacidad del camión no sea la suficiente para llevar toda la carga de la ruta que le tocará realizar. Así mismo, la experiencia del profesional al volante para poder trasladar el producto terminado y escoja el recorrido correcto.

1.1 Descripción del problema

En esta investigación se utilizan las siguientes técnicas de recolección de información y datos necesarios para diseñar un modelo de optimización de ruteo:

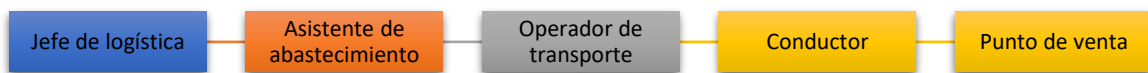
- Entrevistas online a través de la plataforma teams a los administradores de los centros de transferencia y transportistas.
- Registros electrónicos de datos en hojas de cálculo y archivos .csv con información recogida e integrada de manera regular por los centros de transferencia.

- Datos curados obtenidos en sistemas de información geográfico sobre posicionamiento de puntos de venta y distribución.

Como primer punto durante la fase de levantamiento de información para conocer la problemática y/o necesidades del cliente, se realizó el mapa de actores claves para comprender quienes intervienen y como interaccionan en el proceso de distribución del producto terminado de la industria panificadora.

Fig. 1:

Diagrama de actores claves



Como se observa en la fig. 1, la principal función del área de logística es garantizar el abastecimiento de los puntos de venta en volumen requerido y considerando un buen estado del producto final, ya que es el responsable por el abastecimiento y calidad ante la compañía. El asistente de abastecimiento es la persona que gestiona a nivel de operadores de transporte, la distribución diaria cumpliendo con las condiciones óptimas de los mismos que son: presentación, estado y que se cumpla con los parámetros establecidos por parte de la compañía. Tanto el operador de transporte y el conductor son el personal operativo que realiza la tarea de distribución bajo las directrices del asistente.

Los productos que ofrece la empresa, al ser altamente perecederos debe ser tratado con equipo especializado para su almacenamiento, transportación, y posterior distribución que garantice la inocuidad del producto final. En el presente proyecto se analizará las condiciones y afectaciones de transporte de los productos terminados.

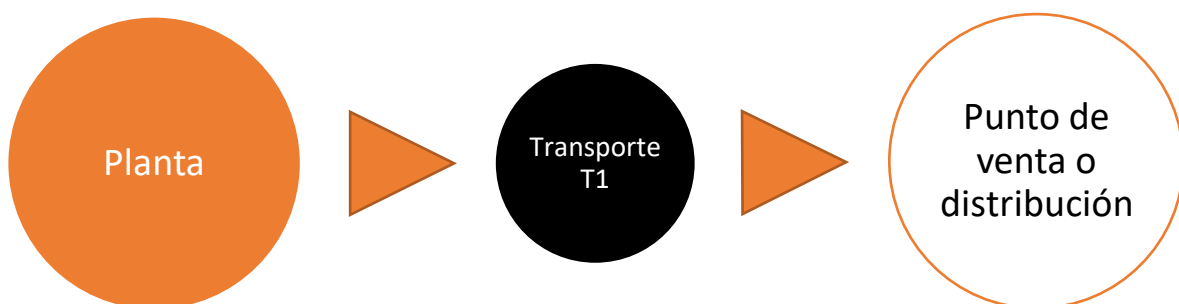
El problema de investigación pretende solucionar las dificultades presentadas en la distribución de los productos, puesto que, no en todos los puntos de entrega cuentan con un óptimo acceso en las vías. El transportista encargado de la distribución circula por vías de hasta tercer

orden, lo que dificulta que se pueda llegar al punto en cuestión y se ejecute la tarea con normalidad afectando al indicador de tiempo de distribución menor a cinco horas. Este indicador garantiza que se visite y se entregue los productos terminados sin que exista variación en los parámetros de aceptación de los mismos y tenga una alta conservación.

Se pretende realizar el diseño de rutas de distribución de productos terminados considerando parámetros como producción diaria, distancia y tiempos entre los puntos de venta con el fin de obtener una mejora mediante la optimización del proceso de entrega, una disminución en distancia a recorrer y tiempo en ruta, aprovechando al máximo la capacidad instalada de los camiones utilizados para poder cumplir los ciclos de distribución de una manera eficiente.

Actualmente, la empresa cuenta con un punto donde se consolidada toda la materia prima, se prepara el producto, se empaca y se envía. Pasa por 3 puntos de revisión tanto en el área de panadería como pastelería. Primer punto, el momento de escoger los productos de la cámara de frío de cada bodega, después se verifica en cada área como serán la distribución de los productos a cada local y se procede a enviar al área de picking, siendo la última sección de verificación para poder ser embarcado a el camión con el chofer correspondiente.

Fig. 2:
Flujo de distribución de producto terminado

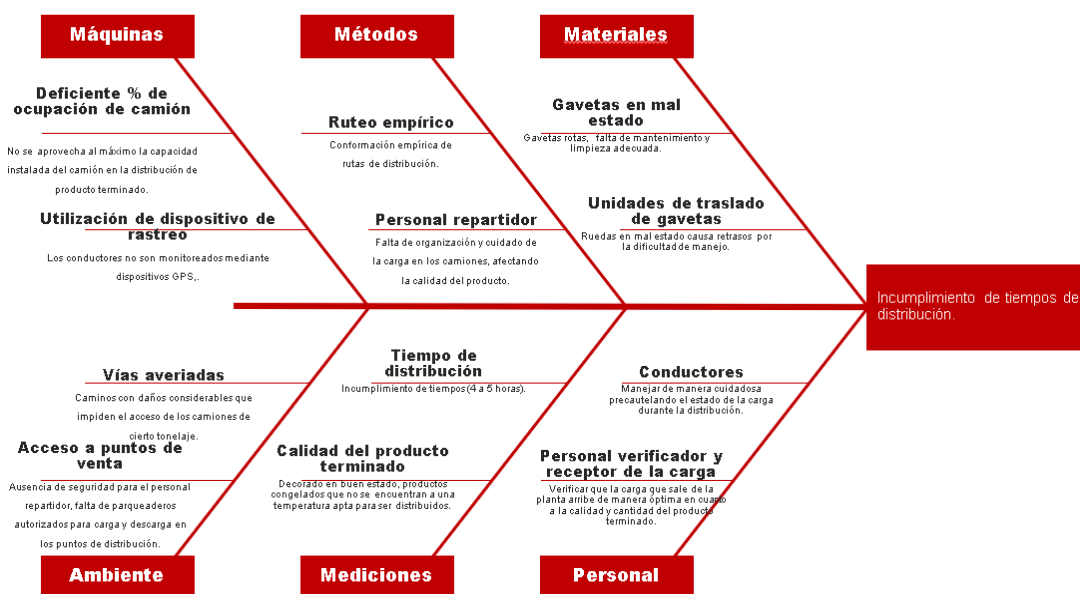


La distribución como se muestra en la fig. 2 es desde la planta panificadora hasta cada punto de venta, se debe realizar la correcta verificación tanto de la cantidad y calidad que se va a enviar. Verificando la calidad de gavetas y el camión en el que serán transportadas. El chofer cumpliendo con toda la ruta en un estimado de cinco horas, es lo que está produciendo un problema porque al no contar con dispositivos de rastreo (GPS), no se puede tener un control y aparte el crear la ruta de manera empírica, pueden ser factores que influyan en el retraso o el mal estado de las entregas al punto de venta.

Situaciones que puedan presentarse en el flujo de distribución; las carreteras averiadas, el tráfico o imprevistos que produzca la acumulación de personas y carros. Lo mencionado anteriormente son factores que pueden provocar el atraso en la ruta o que la calidad del producto se deteriore. También un punto importante es la técnica del chofer que aplica al trasladar el producto terminado y como ubica toda la mercadería en el cajón de camión para evitar cualquier mal movimiento y ocurra algún desastre.

Esta distribución se realiza desde la planta hasta los 35 puntos de venta que cuentan en la ciudad de Guayaquil.

Fig. 3:
Diagrama de Ishikawa



En la fig. 3 se analiza los 6 componentes que contribuyen al incumplimiento del ciclo de distribución del producto terminado. Como primer componente está la maquinaria, en este caso los camiones utilizados para el transporte de los productos. Actualmente, existe un deficiente porcentaje de ocupación de los camiones provocado por el diseño de las rutas de entrega orientado y/o definido por zonas y no en función de la necesidad de los puntos de venta. Provocando que un camión en ruta, con más puntos por visitar decida no hacerlo porque no tiene capacidad, afectando al indicador de ciclo menor a 5 horas. Como segundo componente está el factor ambiente, el acceso a los puntos de recolección son restringido en algunos casos por lo que el transportista circula por vías de hasta tercer orden con el objetivo de distribución.

Como tercer componente está el método, las rutas de distribución establecidas fueron dictaminadas sin la consideración de distintas variables. Adicional, la ausencia de personal que pueda diseñar estas rutas de recolección con varios parámetros. El factor de medición es crucial en el proceso de distribución. A nivel de campo se realizan análisis que comprueban y soportan que se cumplan con los requisitos de calidad tales como revisión del estado de la presentación, consistencia del producto, etc. En caso de no cumplir con los requisitos de calidad, se afecta el ciclo de distribución puesto que de presentar desviaciones en los parámetros medidos no se procede a entregar el producto.

Con respecto a los materiales utilizados, se considera como punto clave a las gavetas y las unidades que las trasladan, ya que si bien es cierto el camión está diseñado para llevar dichos productos, el estado de las gavetas es crucial porque en ellas se transporta toda la carga, al haber algún desperfecto en alguna de ellas, por transitividad los productos también se ven afectados sobre todo en su presentación, sin contar que las unidades de traslado de las gavetas, al ser las que permiten la manipulación de la carga, al tener un desperfecto se vería comprometido tanto las gavetas como los productos al ser cargados y descargados del camión respectivo. Por último, el conductor del camión es el responsable de la distribución y debe estar capacitado para que el proceso de se ejecute cumpliendo con las normativas de calidad.

1.2 Justificación del problema

La importancia de este proyecto para la empresa panificadora radica en la optimización en el proceso de distribución del producto terminado, debido a que un diseño eficiente de rutas aporta múltiples beneficios en la cadena de suministro.

Uno de los beneficios es la disminución en la distancia recorrida por rutas y los tiempos asociados puesto que actualmente la definición de las mismas se las realiza con una estructura que no considera diferentes factores que son considerados en el presente proyecto, impactando significativamente en los costos de transporte que deberán ser contrastados con los valores obtenidos después de simulada la propuesta entregada.

Adicional, esta propuesta le permitirá al transportista generar un vínculo de confianza con el productor puesto que no se pone en riesgo la calidad y ambos resultan beneficiados en la mejora del proceso de recolección.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar rutas óptimas para la distribución de producto terminado de una industria panificadora mediante la aplicación de algoritmos de optimización basados en metaheurísticas para minimizar los tiempos o las distancias de viaje.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Hacer un diagnóstico del proceso actual de distribución de producto terminado de la industria panificadora en análisis hacia cada punto de venta, identificando factores claves como capacidad de almacenamiento de los camiones, localización de las zonas de carga y descarga, y otros elementos importantes para el proceso de modalización.
2. Diseñar un algoritmo basado en metaheurísticas que permita obtener soluciones de alta calidad al modelo matemático de optimización identificado.
3. Diseñar e implementar un aplicativo que integre el algoritmo, con los datos reales, que permita la obtención y visualización de la solución obtenida.

4. Realizar un estudio comparativo de los costos incurridos en el proceso de distribución de producto terminado, entre el ruteo establecido por la metodología actual de la empresa y, el ruteo planteado por el modelo de optimización.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Marco conceptual

1.4.1.1 Cadena de suministro

Chopra & Peter (2008) declaran que la cadena de suministro es el conjunto de todas aquellas partes involucrada de manera directa e indirecta para satisfacer la solicitud de un cliente. Es decir, incluye cada paso que involucra la adquisición de un producto o servicio hasta el consumidor final. Está compuesto por varios eslabones que garantiza la armonía entre dichos eslabones y la satisfacción del consumidor final. Un factor clave es contar con una logística adecuada al tipo de materia prima con la cual se trabaja.

Según GSI Colombia (Instituto Colombiano de Automatización y Codificación Comercial), “Logística es el proceso de planear, controlar y administrar la cadena de abastecimiento y distribución, desde el proveedor hasta el cliente y con un enfoque de la red de valor y colaboración entre los actores de la red logística interna y externa”.

Si la logística de abastecimiento de materia prima no cumple con las especificaciones y/o adecuaciones que garantice el buen estado del material repercute en los demás eslabones de la cadena de suministro y de esta manera no se logra satisfacer al cliente.

1.4.1.2 Transporte

La transportación generalmente representa el elemento individual más importante en los costos de logística para la mayoría de las empresas. Se ha observado que el movimiento de carga absorbe entre uno y dos tercios de los costos totales de logística.

Las principales características del transporte son:

- Precio
- Tiempo de tránsito y variabilidad

- Pérdida y daños

1.4.1.3 Programación y diseño de ruteo vehicular

Con el objetivo que el diseño de ruteo vehicular que se desarrolla sea aplicable, se han desarrollado varios modelos matemáticos que incluyen limitaciones reales tales como:

- Cada parada realizada considera un volumen que bien debe ser recogido además de ejecutar una entrega a la vez.
- La flota utilizada tiene diferentes capacidades, tanto en peso como en volumen.
- Restricción de seguridad al volante, con el fin de mitigar accidentes de tránsito por factor humano. Límite de tiempo en ruta.
- Las paradas de recolección y entrega deben ser realizadas en un horario determinado y con una ventana de tiempo disponible.
- Recolectar en una ruta sólo después de haber ejecutado una entrega.
- Flexibilidad a los conductores de tomar descansos breves o pausas para comer a ciertas horas del día

Para una ejecución satisfactoria de transporte se debe planificar de manera correcta. Un óptimo diseño de rutas permite la distribución y/o recolección de la materia prima en los tiempos acordados y con las condiciones de transporte demandadas. Para el estudio de rutas se debe estudiar varios factores que influyen en el transporte de la materia prima como el volumen a recolectar, número de nodos origen a visitar, capacidad de vehículo cisterna recolector, infraestructura de carreteras y orden de caminos a transitar, entre otros factores.

1.4.1.4 Métodos de programación y diseño de rutas

(Ballou,2014) afirma que el problema de obtener buenas soluciones para el problema de la programación y del diseño del ruteo vehicular se torna más complejo al añadir limitaciones adicionales al problema.

Debido a las consideraciones que se debe tomar por hacer aplicable y cercano a la situación real, se han propuesto varios métodos que logren optimizar el proceso de transporte. Cada método tiene su funcionalidad y el algoritmo va asociado a la misma. Algunos de estos métodos son, “método de barrido”, es considerado sencillo y fácil de implementar, consiste en localizar paradas

existentes y desde el punto de origen trazar una línea recta y girar en cualquier sentido e ir intersecando parada, creando rutas, el número de paradas depende de la capacidad instalada de los vehículos a utilizar. Otro método es el de ahorro, consiste en combinar parada de manera que se genere un ahorro de distancia, la menor posible.

1.4.1.5 Optimización combinatoria

Es una rama muy vasta del campo de la matemática aplicada e informática, está relacionada con la investigación de operaciones, algoritmos y la teoría de la complejidad. La optimización combinatoria encontrar un objeto óptimo a partir de un conjunto finito de objetos, donde el conjunto de soluciones factibles es discreto o se puede reducir a un conjunto discreto. Los problemas típicos de optimización combinatoria son el problema del viajante de comercio ("TSP"), el problema del árbol de expansión mínimo ("MST") y el problema de la mochila. En este sentido, desde el punto de vista teórico, el enfoque poliedral y la teoría de grafos han aportado en forma considerable en la descripción estructural de los problemas y la resolución de estos.

1.4.1.6 Metaheurísticas

El término metaheurística se obtiene de anteponer a heurística el sufijo "meta" que significa "más allá" o "a un nivel superior". Las metaheurísticas son estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento; dicho término apareció por primera vez en el artículo seminal sobre búsqueda tabú de Fred Glover en 1986. A partir de entonces han surgido multitud de propuestas de pautas para diseñar buenos procedimientos para resolver ciertos problemas que, al ampliar su campo de aplicación, han adoptado la denominación de metaheurísticas. Las principales se refieren a métodos de relajación, procesos constructivos, búsquedas por entornos y procedimientos evolutivos, por otro lado, las metaheurísticas de búsqueda constituyen el paradigma central de estas técnicas en la resolución de problemas de optimización.

1.4.2 Estado del arte

Para el desarrollo del proyecto se consideran los siguientes trabajos previos como referencia y evaluación de puntos de vista del proceso de distribución del producto terminado:

1.4.2.1 An adaptive large neighborhood search heuristic for a multiperiod vehicle routing problem

Dayarian, Crainic, Gendreau & Rei (2016) realizan la resolución del problema de recolección y posterior distribución del producto considerando un conjunto de plantas en un horizonte de planificación. Este horizonte consta de varios días, y la redistribución de la recolección se realiza de forma diaria repetida. Modelan el problema usando una secuencia de periodos, cada uno correspondiente a una temporada. Proponen una búsqueda adaptativa de grandes vecinos con varios operadores y características diseñados específicamente. El resultado muestra un excelente rendimiento del algoritmo en términos de calidad de la solución y eficiencia computacional.

1.4.2.2 Sistema logístico de abastecimiento de materia prima para la empresa Prottsa, S.A. de C.V.

Ríos (2006) argumenta que el desarrollo de un sistema de abastecimiento de materia prima basado en los conceptos de la cadena logística, de manera que pueda ser adaptado perfectamente a la cadena logística actual de la empresa Prottsa S.A de C.V. por medio de la aplicación de un diagnóstico que permita identificar claramente la falta de este. A través de esta identificación y del estudio de la forma en la que se lleva a cabo el abastecimiento en la bibliografía estudiada, se llega a la determinación de una metodología que permite integrar los conceptos de la logística y además adherir otras herramientas con el Just in Time, el MRP (Material Requirements Planning) Y los modelos de pronósticos de series de tiempo.

1.4.2.3 Reducción en tiempos de ruteo para el transporte urbano (T3) para una empresa de distribución de bebidas alcohólicas y no alcohólicas en Guayaquil.

Abad & Baquerizo (2015) define que minimizar el tiempo de ruteo por medio de iniciativas estratégicas que surgen del análisis que se realiza desde que el camión sale por andenes hasta su retorno al mismo punto. Se diseñan varios sub procesos en el despacho a los puntos de venta para mejorar los tiempos de ruteo, se identifican las oportunidades de mejora y se proponen iniciativas para cada una de las oportunidades de mejora encontradas. Finalmente se establecen planes piloto basados en las iniciativas sugeridas en la sección anterior. La implementación de los planes pilotos aumentó el nivel de atención al cliente final, redujo el tiempo promedio del ruteo, incrementó la disponibilidad de los transportes para recargos y generó el empoderamiento del personal externo en el cumplimiento de nuevos procesos, tomando en cuenta que este último punto es la base para una cultura de mejora continua en nuestros procesos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este capítulo presenta la metodología de trabajo que se aplicó para el alcance de los objetivos planteados en el capítulo 1.

2.1 Técnicas de investigación

En el presente proyecto se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de información y datos necesarios para diseñar un modelo de optimización de ruteo:

- Entrevistas online a través de la plataforma teams a los administradores de los puntos de venta y transportistas.
- Registros electrónicos de datos en hojas de cálculo y archivos .csv con información recogida e integrada de manera regular por los puntos de venta.
- Datos curados obtenidos en sistemas de información geográfica sobre posicionamiento de los diferentes puntos de destino.

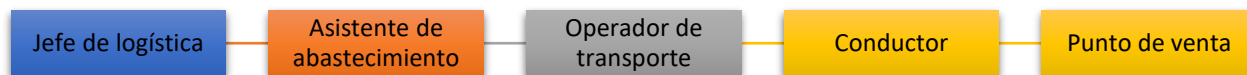
La empresa proporcionó los registros electrónicos en hojas de cálculo con las ubicaciones de los puntos de destino. Una vez obtenidos todos estos datos se procedió a clasificar y validar la información recopilada necesaria para posteriormente hacer la comparación con nuestro modelo de optimización propuesto.

2.1.1 Levantamiento de información

Como primer punto, durante la fase de levantamiento de información para conocer la problemática y/o necesidades del cliente, mediante las entrevistas se identificó el mapa de actores claves para comprender quienes intervienen y como interaccionan en el proceso de repartición del producto terminado, estas relaciones entre los actores claves se muestran en la Ilustración 2.

Ilustración 2:

Diagrama de actores claves en el proceso de distribución de producto terminado.



Cada uno de los miembros del diagrama de actores claves compartió su situación actual con respecto al abastecimiento de los puntos de venta por medio de la contestación de encuestas que evaluaban ciertos puntos en específico dependiendo del tipo de labor que ejerce cada actor, dando como resultado que los puntos de venta sean los más afectados ya que el incumplimiento de los tiempos de entrega, además de ciertas afectaciones a la calidad del producto terminado, causa inconformidad con el nivel de servicio.

2.1.2 Recopilación de los datos

Durante esta fase del proyecto se recopiló las direcciones de los respectivos puntos de venta tanto de las ciudades de Guayaquil, Durán y parte de Daule, obteniendo de esta manera la siguiente tabla:

Tabla 1:

Puntos de venta de Guayaquil, Durán y parte de Daule.

CIUDAD	#	ALMACEN	NOMBRE ALMACEN	LOCALES	KM
Guayaquil	1	LC0009	LOCAL 009 – ALBORADA	Alborada	3,9 km
	2	LC0065	LOCAL 065 - CITY MALL	City Mall	850 m
	3	LC0099	LOCAL 099 - FELIPE PEZO	Felipe Pezo (Carpa)	1,2 km
	4	LC0021	LOCAL 021 - PARQUE CALIFORNIA	Parque California	7,5 km
	5	LC0078	LOCAL 078 - HYPER DAULE	Hiper Vía a Daule	7,5 km
	6	LC0121	LOCAL 121 - MI LOTE	Mi lote	17,6 km
	7	LC0124	LOCAL 124 - SAN FELIPE	San Felipe	3,8 km
	8	LC0051	LOCAL 051 – FLORIDA	Florida	5,7 km
	9	LC0048	LOCAL 048 – PARAISO	Paraíso de la Flor	9,1 km
	10	LC0049	LOCAL 049 - EL FORTIN	El Fortín	6,5 km
	11	LC0045	LOCAL 045 - TIA VERGELES	Tía Vergeles	7,8 km
	12	LC0066	LOCAL 066 - MUCHO LOTE 2	Mucho Lote 2	15,8 km
	13	LC0113	LOCAL 113 - PLAZA TIA	Plaza Tía	19 km

	14	LC0041	LOCAL 041 - TERMINAL TERRESTRE	Terminal Terrestre	4,6 km
	15	LC0059	LOCAL 059 - ROMA ROCAFUERTE	Rocafuerte	9,5 km
	16	LC0013	LOCAL 013 - 9 DE OCTUBRE	9 de Octubre	8,3 km
	17	LC0012	LOCAL 012 – ESCOBEDO	Escobedo	8,8 km
	18	LC0002	LOCAL 002 - PEDRO CARBO	Pedro Carbo y Sucre	9,8 km

Guayaquil	19	LC0008	LOCAL 008 – AGUIRRE	Aguirre	9,2 km
	20	LC0014	LOCAL 014 - 38 Y PORTETE	38 y Portete	11 km
	21	LC0019	LOCAL 019 - PORTETE Y LA 17	17 y Portete	9,2 km
	22	LC0060	LOCAL 060 - ROMA PANCHO	25 y Pancho Segura	11,8 km
	23	LC0112	LOCAL 112 - 29AVA Y FCO.SEGURA	29 y Francisco Segura	10,9 km
	24	LC0101	LOCAL 101 - VIA A LA COSTA	Vía a la Costa	15,1 km
	25	LC0030	LOCAL 030 - MALL DEL SUR PB	Mall del Sur PB	12,5 km
	26	LC0003	LOCAL 003 – CHILE	Chile	10,2 km
	27	LC0088	LOCAL 088 - 7 LAGOS	Siete Lagos	23,8 km
	28	LC0119	LOCAL 119 - LOS RÍOS	Los Ríos	11,9 km
	29	LC0023	LOCAL 023 - LAS ESCLUSAS	Las Esclusas	17,1 km
Durán	30	LC0024	LOCAL 024 - DURAN I	Duran I	15,2 km
	31	LC0082	LOCAL 082 - DURAN SHOPPING	Duran Shopping	16,5 km
	32	LC0075	LOCAL 075 - EL RECREO	El Recreo	20,5 km
Daule	33	LC0072	LOCAL 072 – AURORA	Aurora	22 km
	34	LC0096	LOCAL 096 - LA JOYA	La Joya	17,9 km
	35	LC0106	LOCAL 106 - VILLA CLUB	Villa Club	21 km

En la Tabla 1 podemos encontrar 29 puntos de venta en la ciudad de Guayaquil, 3 en la ciudad de Durán y finalmente 3 puntos en parte del cantón Daule, dando un total de 35 puntos de venta de donde por medio de Google Maps se obtuvo las coordenadas, obteniendo así la siguiente tabla:

Tabla 2:
Coordenadas de los puntos de venta

NOMBRE ALMACEN	LOCALES	Latitud y Longitud
LOCAL 009 – ALBORADA	Alborada	-2.140812725551148, - 79.89655915871292
LOCAL 065 - CITY MALL	City Mall	-2.1414162861074915, - 79.9092114382531
LOCAL 099 - FELIPE PEZO	Felipe Pezo (Carpa)	-2.1378915323287893, - 79.91353241572435
LOCAL 021 - PARQUE CALIFORNIA	Parque California	-2.0967415419408297, - 79.9380244606295
LOCAL 078 - HYPER DAULE	Hiper Via a Daule	-2.0934170041968025, - 79.93710355386425
LOCAL 121 - MI LOTE	Mi lote	-2.0570739416272485, - 79.98333757500598
LOCAL 124 - SAN FELIPE	San Felipe	-2.129225060160303, -79.9304349278996
LOCAL 051 – FLORIDA	Florida	-2.128804196904564, - 79.93496170076017
LOCAL 048 – PARAISO	Paraiso de la Flor	-2.104048336706124, - 79.95401502396572
LOCAL 049 - EL FORTIN	El Fortin	-2.109247427242354, - 79.94843093223675
LOCAL 045 - TIA VERGELES	Tia Vergeles	-2.090412937580255, - 79.90342986013721
LOCAL 066 - MUCHO LOTE 2	Mucho Lote 2	-2.0840537917503807, - 79.92011241234019
LOCAL 113 - PLAZA TIA	Plaza Tía	-2.063205566195297, - 79.90445575328792
LOCAL 041 - TERMINAL TERRESTRE	Terminal Terrestre	-2.141250682963713, - 79.87955235084871
LOCAL 024 - DURAN I	Duran I	-2.176772628530378, - 79.82504635207283
LOCAL 082 - DURAN SHOPPING	Duran Shopping	-2.1750654190340026, - 79.82560298694833
LOCAL 075 - EL RECREO	El Recreo	-2.1776169191958803, - 79.80999049859682
LOCAL 072 – AURORA	Aurora	-2.0524403338633888, - 79.88075149756337
LOCAL 096 - LA JOYA	La Joya	-2.026378896046772, - 79.91254832401137
LOCAL 106 - VILLA CLUB	Villa Club	-2.0309013488610117, - 79.89456190042516

LOCAL 059 - ROMA ROCAFUERTE	Rocafuerte	-2.195545050972621, - 79.88209059699567
LOCAL 013 - 9 DE OCTUBRE	9 de Octubre	-2.190357543595143, - 79.88561135714225
LOCAL 012 – ESCOBEDO	Escobedo	-2.191617917959248, -79.8834386154507
LOCAL 002 - PEDRO CARBO	Pedro Carbo y Sucre	-2.192877307269004, - 79.88230263954765
LOCAL 008 – AGUIRRE	Aguirre	-2.189593275073653, -79.8846033918424
LOCAL 014 - 38 Y PORTETE	38 y Portete	-2.2009002249288394, - 79.91710820635257
LOCAL 019 - PORTETE Y LA 17	17 y Portete	-2.2009588814718373, - 79.91724550871452
LOCAL 060 - ROMA PANCHO	25 y Pancho Segura	-2.200187683266977, -79.9172942401429
LOCAL 112 - 29AVA Y FCO.SEGURA	29 y Francisco Segura	-2.1985524307865165, - 79.91704439421737
LOCAL 101 - VIA A LA COSTA	Via a la Costa	-2.1787486223785, -79.9956771380036
LOCAL 030 - MALL DEL SUR PB	Mall del Sur PB	-2.226631314157546, -79.8984079553148
LOCAL 003 – CHILE	Chile	-2.2022773358878833, - 79.88462484950384
LOCAL 088 - 7 LAGOS	Siete Lagos	-2.2500030605624928, - 79.89025766039236
LOCAL 119 - LOS RÍOS	Los Ríos	-2.22016667596724, -79.90432201530116
LOCAL 023 - LAS ESCLUSAS	Las Esclusas	-2.2500966242541574, - 79.89027006296699

2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual

Una vez realizada la etapa de diagnóstico se identificó que actualmente, existen 10 rutas de distribución designadas por el departamento logístico, mediante zonificación cardinal, dando como resultado la siguiente parcialización de los puntos:

Tabla 3:

Rutas zonificadas

# RUTAS	ALMACEN	NOMBRE ALMACEN	LOCALES	KM
1	LC0009	LOCAL 009 – ALBORADA	Alborada	3,9 km
	LC0065	LOCAL 065 - CITY MALL	City Mall	850 m
	LC0099	LOCAL 099 - FELIPE PEZO	Felipe Pezo (Carpa)	1,2 km

2	LC0021	LOCAL 021 - PARQUE CALIFORNIA	Parque California	7,5 km
	LC0078	LOCAL 078 - HYPER DAULE	Hiper Vía a Daule	7,5 km
	LC0121	LOCAL 121 - MI LOTE	Mi lote	17,6 km
3	LC0124	LOCAL 124 - SAN FELIPE	San Felipe	3,8 km
	LC0051	LOCAL 051 – FLORIDA	Florida	5,7 km
	LC0048	LOCAL 048 – PARAISO	Paraíso de la Flor	9,1 km
	LC0049	LOCAL 049 - EL FORTIN	El Fortín	6,5 km
4	LC0045	LOCAL 045 - TIA VERGELES	Tía Vergeles	7,8 km
	LC0066	LOCAL 066 - MUCHO LOTE 2	Mucho Lote 2	15,8 km
	LC0113	LOCAL 113 - PLAZA TIA	Plaza Tía	19 km
5	LC0041	LOCAL 041 - TERMINAL TERRESTRE	Terminal Terrestre	4,6 km
	LC0024	LOCAL 024 - DURAN I	Duran I	15,2 km
	LC0082	LOCAL 082 - DURAN SHOPPING	Duran Shopping	16,5 km
	LC0075	LOCAL 075 - EL RECREO	El Recreo	20,5 km
6	LC0072	LOCAL 072 – AURORA	Aurora	22 km
	LC0096	LOCAL 096 - LA JOYA	La Joya	17,9 km
	LC0106	LOCAL 106 - VILLA CLUB	Villa Club	21 km
7	LC0059	LOCAL 059 - ROMA ROCAFUERTE	Rocafuerte	9,5 km
	LC0013	LOCAL 013 - 9 DE OCTUBRE	9 de Octubre	8,3 km
	LC0012	LOCAL 012 – ESCOBEDO	Escobedo	8,8 km
	LC0002	LOCAL 002 - PEDRO CARBO	Pedro Carbo y Sucre	9,8 km
	LC0008	LOCAL 008 – AGUIRRE	Aguirre	9,2 km
8	LC0014	LOCAL 014 - 38 Y PORTETE	38 y Portete	11 km
	LC0019	LOCAL 019 - PORTETE Y LA 17	17 y Portete	9,2 km
	LC0060	LOCAL 060 - ROMA PANCHO	25 y Pancho Segura	11,8 km
	LC0112	LOCAL 112 - 29AVA Y FCO.SEGURA	29 y Francisco Segura	10,9 km
	LC0101	LOCAL 101 - VIA A LA COSTA	Vía a la Costa	15,1 km
9	LC0030	LOCAL 030 - MALL DEL SUR PB	Mall del Sur PB	12,5 km

10	LC0003	LOCAL 003 – CHILE	Chile	10,2 km
	LC0088	LOCAL 088 - 7 LAGOS	Siete Lagos	23,8 km
	LC0119	LOCAL 119 - LOS RÍOS	Los Ríos	11,9 km
	LC0023	LOCAL 023 - LAS ESCLUSAS	Las Esclusas	17,1 km

2.3 Descripción de los modelos

Este problema por sus características es un caso del problema denominado CVRP (que son las siglas del problema de ruteo vehicular capacitado). En la aplicación de VRP, se considera la asignación del vehículo que distribuirá a un conjunto de puntos de venta y la ruta a seguir con base a su demanda diaria y no excediendo la capacidad del vehículo. Con el objetivo de optimizar costos, tiempo y/o distancias. Al ser una variante que contempla la capacidad de la flota, consiste básicamente en que a cada cliente se le debe enviar cierta cantidad de mercadería, conocida con anticipación, desde un único depósito. Para repartirla se dispone de un determinado número de vehículos con cierta capacidad de transporte, los cuales parten y llegan a un único depósito. Cada vehículo visita exactamente a un único cliente, y cada cliente debe ser visitado por un sólo vehículo, y la suma de las demandas de los clientes visitados por un vehículo no debe exceder la capacidad de este. Donde mis variables de decisión son:

- X_{ijk} : variable binaria que indica si el camión k viaja directamente del punto de venta i al punto de venta j , tomando el valor de 1 si es de esa manera y 0 si no.
- $Y_{(i,k)}$: variable binaria que indica si el camión k visita al cliente i , tomando el valor de 1 si es de esa manera y 0 sino.

La función objetivo del CVRP es minimizar la distancia total de viaje de los camiones, equivalente a $z = \sum \sum \sum c[i, j] * x[i, j, k]$, donde $c[i, j]$ representa la distancia (o costo) entre el cliente i y el cliente j , y k representa el número de camión.

Para este modelo se consideraron las siguientes restricciones:

- Cada cliente debe de ser visitado exactamente una vez por un camión, equivalente a $\sum y[i, k] = 1$ para todo i .

- Cada camión puede visitar a un máximo de 5 destinos, equivalente a $\sum y[i, k] \leq 5$ para todo k.
- La suma de las demandas de los clientes visitados por cada camión no debe de exceder su capacidad la cual es de 3.5 toneladas, equivalente a $\sum d[i] * y[i, k] \leq 3.5$ para todo k.
- Para cada cliente, el número de camiones que llegan debe ser igual al número de camiones que se van, garantizando así el flujo, equivalente a $\sum x[i, j, k] = y[j, k]$ para todo $i \neq j, k$.
- Restricción para la conservación del flujo para la planta, indicando así que el camión inicia y termina en el mismo punto, equivalente a $\sum y[j, k] = \sum x[i, j, k]$ para todo j, k.
- Para eliminar soluciones subóptimas, previniendo la formación de sub recorridos, usando la siguiente restricción $\sum x[i, j, k] \leq (n - 1) * y[i, k]$ para todo $i \neq j, k$; donde n es el número total de clientes que para este proyecto son 35 en total.

2.4 Uso de software

Hoy en día, existen diferentes lenguajes de programación, tales como C, C++, C#, JAVA, PHP, etc. que se adaptan según las distintas necesidades del programador. Uno de los lenguajes de programación más versátiles para implementar algoritmos de tipo metaheurístico es el lenguaje Wolfram, que se describe como un lenguaje de programación científica con una amplia base de conocimiento computacional, mediante el cual no solo se pueden programar los algoritmos con tiempos de ejecución muy rápidos, sino que además permiten usar datos curados como por ejemplo posicionamiento geográfico, la facilidad de la representación gráfica y dispone además de una amplia gama de funciones especializadas para facilitar y optimizar el trabajo del programador. De acuerdo con los distintos programas utilizados durante las etapas de nuestra vida académica y a la experiencia con los diferentes softwares que ayudaron en la optimización de recursos con bajos tiempos de ejecución, fue este lenguaje el que consideramos es más adecuado para la implementación de los algoritmos propuestos.

2.5 Consideraciones legales y éticas

En este proyecto se debe contar con las siguientes consideraciones en la parte económica por el ahorro que se va a lograr con la propuesta de solución, en los costos logísticos porque se obtiene una reducción en la cantidad de rutas. En la parte legal hay que contar con las regulaciones y normativas vigentes con la seguridad y calidad de los productos alimenticios, tomando en cuenta una adecuada manipulación de alimentos, el almacenamiento sea a temperaturas seguras, un correcto etiquetado y evitar la contaminación durante el traslado. Por otra parte, cumplir con los requisitos aplicables como ISO 22000 o las certificaciones orgánicas y que los camiones cuenten con la certificación de operación regular donde esté plasmada la información correcta de las dimensiones del vehículo, año de fabricación, tonelaje y cada una de las características físicas del mismo.

En la parte ética, contar con los estándares adecuados en los productos alimenticios asegurando que no representan riesgo para la salud de los consumidores. Esto también incluye condiciones laborales justas para los conductores y un trato adecuado a los proveedores y clientes. También en el ámbito ambiental, en las operaciones de transporte que se reduzca las emisiones de carbono, vehículos con menor consumo de combustible, promoviendo el uso de embalajes sostenibles o implementando prácticas de transporte multimodal. Así mismo considerar la probabilidad de contribuir con la comunidad y dar iniciativas relacionadas con la alimentación como participaciones en programas de lucha contra el hambre.

2.6 Fases del proyecto

Se definieron 4 fases para el desarrollo del presente proyecto y alcance de los objetivos propuestos en el capítulo 1.

La primera fase corresponde a la descripción de la problemática, en este caso fue determinante la entrevista inicial con el personal de la empresa para poder identificar las dolencias, los resultados esperados del proyecto y en la importancia de la solución que podamos proponer a uno de los procesos más críticos en la cadena de suministro de la empresa.

En la segunda fase se realizó el levantamiento de información mediante técnicas de investigación, la identificación de los actores claves, y extracción de datos

3.1.2 Algoritmo de Clark and Wright

Seguido de la obtención de la matriz de distancias, se administró el algoritmo de Clark and Wright ya que este nos permitió obtener un número de rutas n, donde la restricción de la capacidad de la flota existente era un componente crucial en el desarrollo del proyecto, ya que si bien es cierto la demanda no es tan exigente en términos de kilogramos, los productos en cuestión son considerados carga no apilable ya que podrían sufrir problemas de presentación, consistencia, etc. Debido a eso decidimos que la capacidad máxima de los camiones no debe exceder los 200 kg, siendo esta nuestra restricción, una vez ejecutado el algoritmo se obtuvieron las siguientes rutas:

Figura 4:

Rutas obtenidas por medio de Clark&Wright

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN TODAS LAS RUTAS :		257.06	
RUTA		CARGA	DISTANCIA
{1, 24, 33, 25, 22, 23, 26, 1}		197.	21.93
{1, 13, 19, 20, 21, 7, 14, 1}		187.	77.26
{1, 10, 11, 6, 5, 1}		175.333	26.38
{1, 15, 16, 18, 17, 1}		159.	36.49
{1, 35, 34, 36, 32, 2, 1}		198.667	36.57
{1, 27, 28, 29, 30, 31, 9, 8, 1}		168.333	41.92
{1, 12, 3, 4, 1}		138.	16.51

Como se puede apreciar en la Figura 4, se obtuvieron 7 rutas dando un total de 257.06 km a recorrer, cada una de estas rutas fue representada a manera de grafo para su mayor apreciación.

Figura 5:

Ruta 1

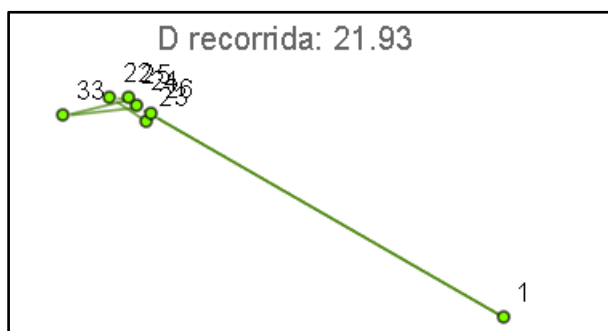


Figura 6:

Ruta 2

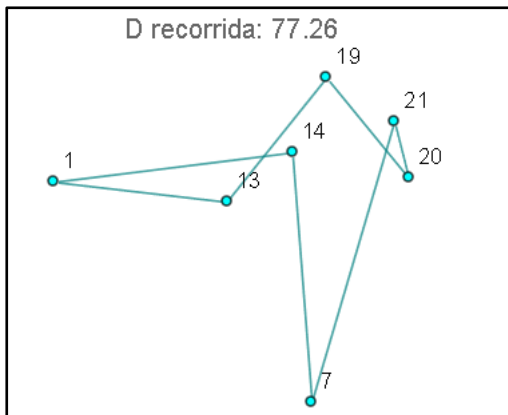


Figura 7:

Ruta 3

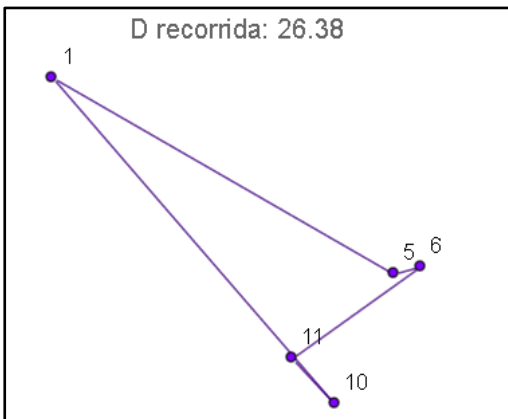


Figura 8:

Ruta 4

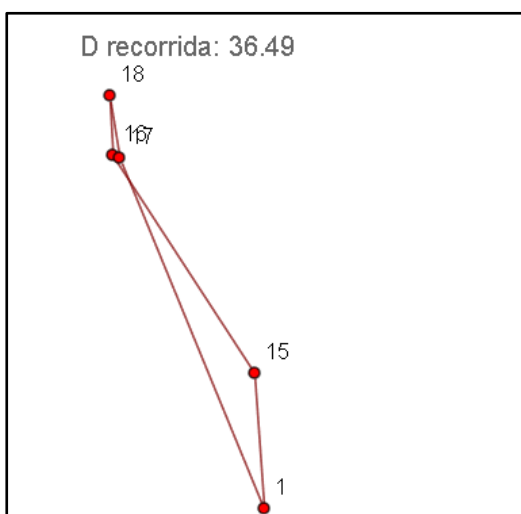


Figura 9:

Ruta 5

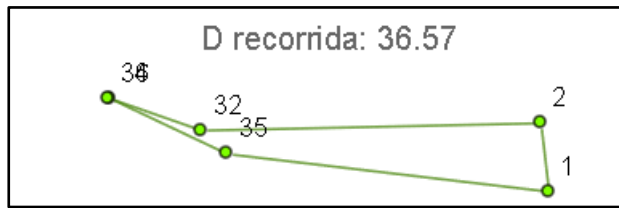


Figura 10:

Ruta 6

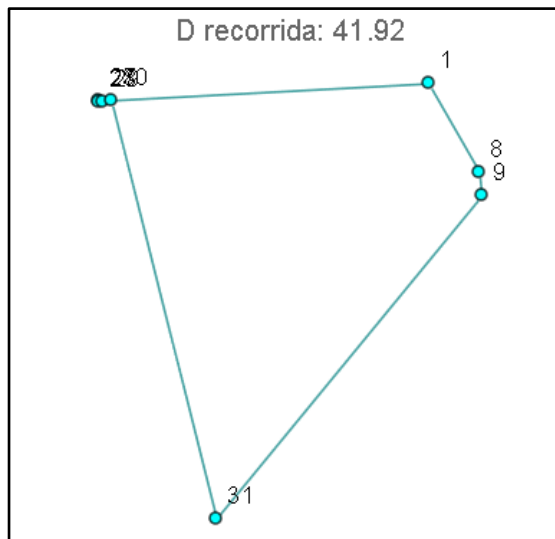


Figura 11:

Ruta 7

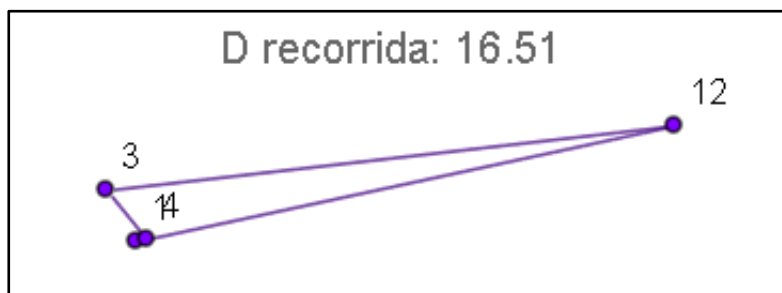
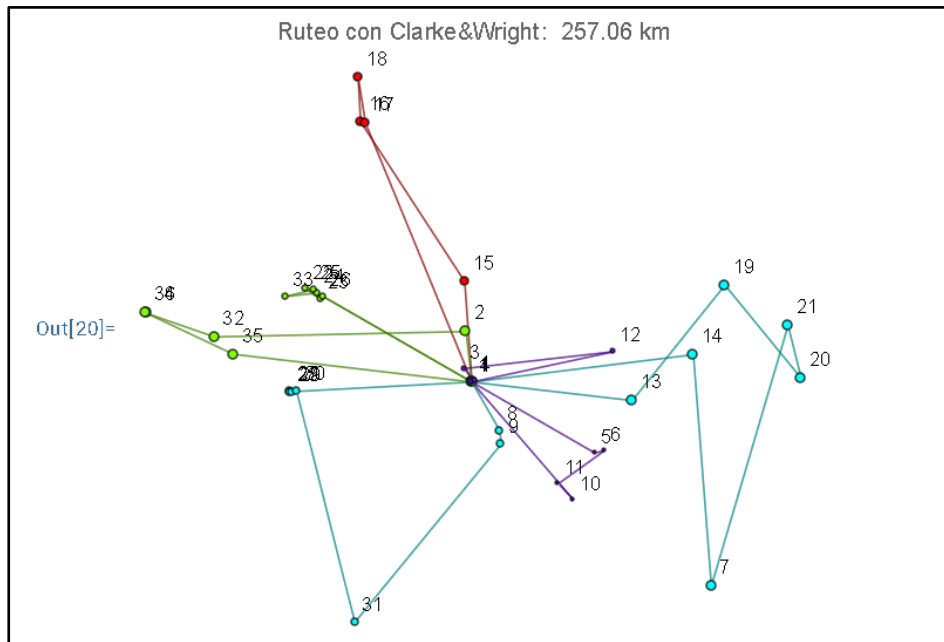


Figura 12:
Rutas Clark&Wright



3.1.3 Mejora Local 2 – Opt

Una vez obtenido un conjunto de rutas idóneo para el presente proyecto, se buscó optimizar aún más el modelo aplicando algoritmos de mejora local, lo cual consiste en tomar las rutas de Clark and Wright y reorganizar sus puntos de tal manera se encuentren versiones de dichas rutas donde se reduzca la cantidad de kilómetros a recorrer, después de aplicar el modelo 2 – Opt se pudo obtener la siguiente información:

Figura 13:

Tabla de rutas Clark&Wright+Mejora Local 2-Opt

SOLUCIÓN POR ALGORITMO Clark&Wright + Mejora local 2-Opt		
Ruta 1	1,24,33,22,25,23,26,1	21,23
Ruta 2	1,13,19,21,20,14,7,1	70,21
Ruta 3	1,5,6,10,11,1	20,9
Ruta 4	1,17,16,18,15,1	33,54
Ruta 5	1,2,32,34,36,35,1	34,57
Ruta 6	1,30,29,27,28,31,9,8,1	41,72
Ruta 7	1,3,12,4,1	16,33

Después de aplicar la mejora local se obtuvo un nuevo número de kilómetros a recorrer el cual fue de 238.5 km totales, representando así una mejora de 18.56 km; es decir se redujo en un 7.2% la cantidad de km totales a recorrer. Las nuevas rutas también fueron representadas gráficamente de la siguiente manera:

Figura 14:

Ruta 1 + 2 Opt

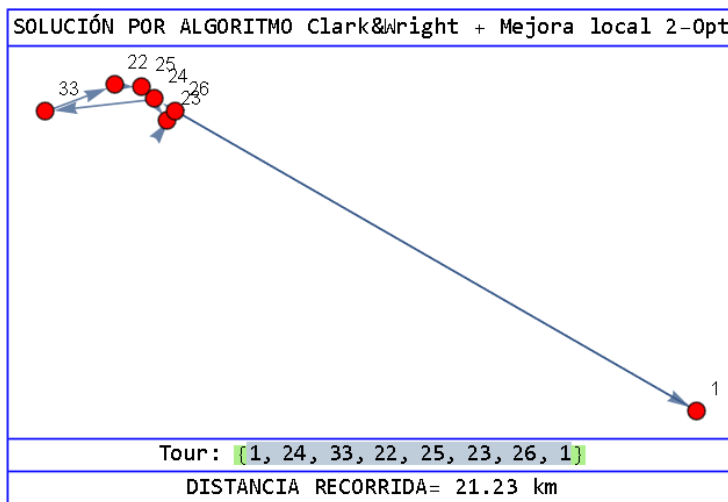


Figura 16:

Ruta 2 + 2 Opt

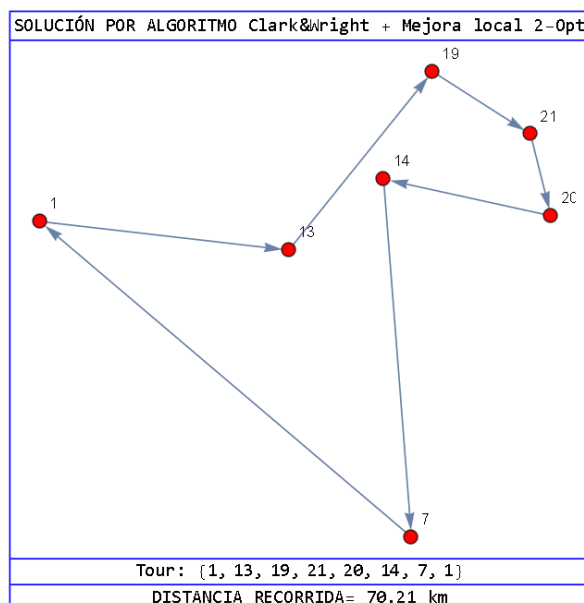


Figura 17:

Ruta 3 + 2 Opt

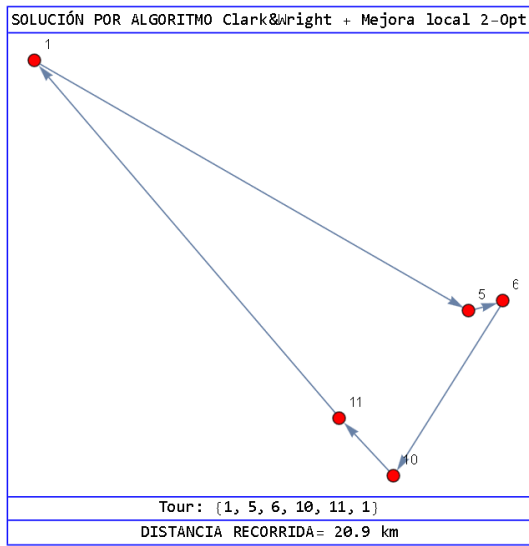


Figura 18:

Ruta 4 + 2 Opt

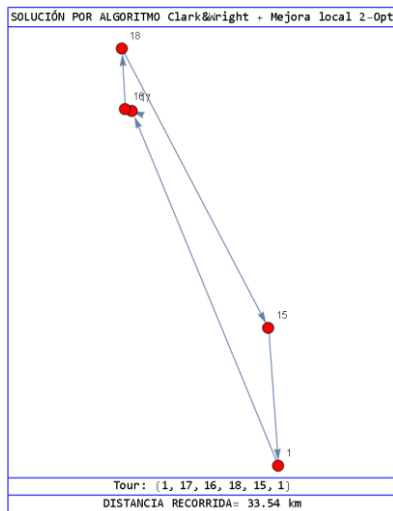


Figura 19:

Ruta 5 + 2 Opt

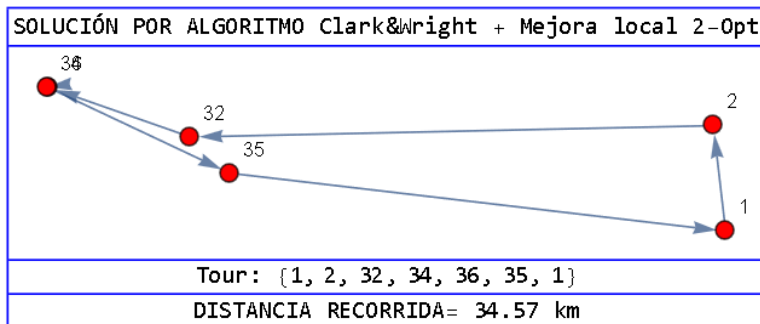


Figura 20:

Ruta 6 + 2 Opt

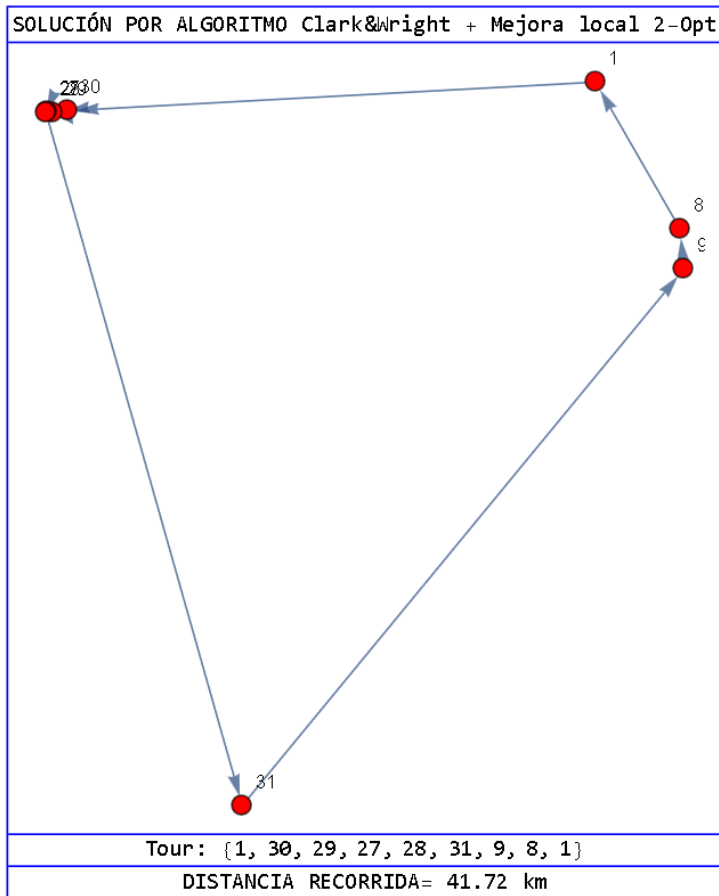
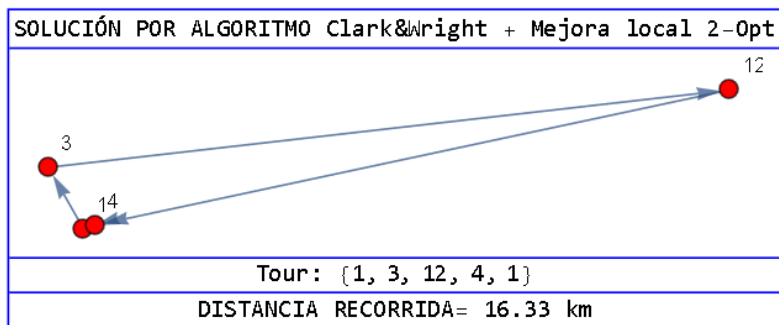


Figura 21:

Ruta 7 + 2 Opt



3.2 Análisis comparativo

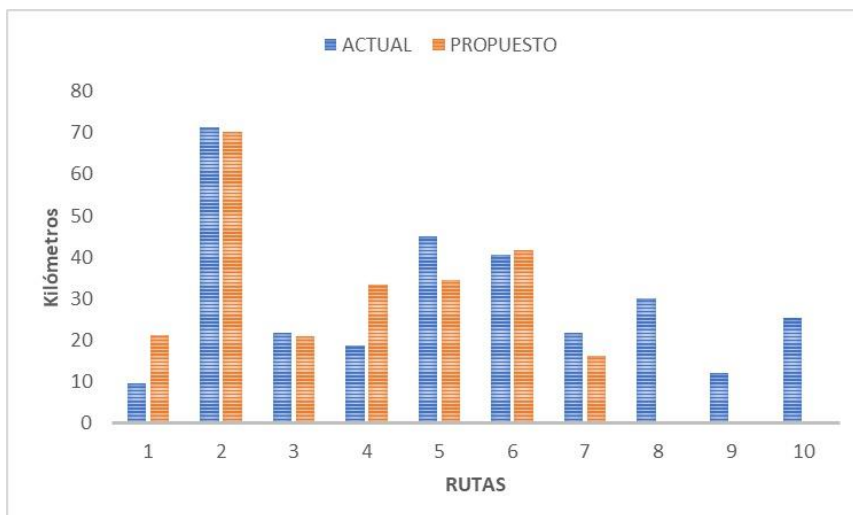
Una vez obtenidos los resultados proporcionados por el modelo de optimización, se procedió a hacer un análisis respecto a la situación actual de la logística de distribución de producto terminado.

Tabla 4:
Rutas actuales vs rutas propuestas

Rutas	ACTUAL	PROPUESTO
1	9,75	21,23
2	71,25	70,21
3	21,75	20,9
4	18,75	33,54
5	45	34,57
6	40,5	41,72
7	21,75	16,33
8	30	-
9	12	-
10	25,5	-
TOTAL KM	296,25	238,5
TOTAL RUTAS	10	7

Como se puede apreciar en la Tabla 4, la situación actual implica 10 rutas que involucran 1 camión por ruta, utilizando de forma incorrecta la capacidad del camión debido a que transportan mucha carga, causando así daños en los productos, provocando inconformidad a los clientes lo cual muchas veces conlleva devoluciones, la propuesta indicada como fue explicada en el análisis de los resultados, el modelo nos brinda 7 rutas optimizadas acorde a una capacidad máxima que impide que el producto terminado se vea afectado por mala manipulación durante la distribución. Como también se puede observar existe una disminución total de la distancia a recorrer, siendo la situación actual de 296.25 km y la propuesta de 238.5 km, siendo la propuesta una reducción del 19,5% de la distancia total recorrida en la situación actual.

Figura 22:
Estadísticas por kms recorridos de la situación actual vs propuesta



La disminución de kilómetros por ruta y total conllevaría a generar un ahorro monetario en cuanto a la utilización de combustible, mantenimientos, llantas y otros costos implicados en cuanto al tener una flota propia.

Tabla 5:

Ahorro de combustible

	Litros	Precio
Galón de Diesel	3,78	\$1,75
ACTUAL	24,4406	\$42,77
PROPUESTO	19,6763	\$34,43

Como se puede apreciar en la Tabla 5, la cantidad de litros de diésel genera un costo promedio al realizar el recorrido actual de \$42.77 diarios, mientras que, al aplicar la propuesta mencionada en el presente proyecto, el costo es de \$34.43 diarios, generando así un ahorro de \$8.34 diarios, dicho valor multiplicado por 24 días al mes que son utilizados para la entrega del producto terminado da como resultado un ahorro total mensual de \$200.16, y un ahorro anual de \$2401.92.

Tabla 6:

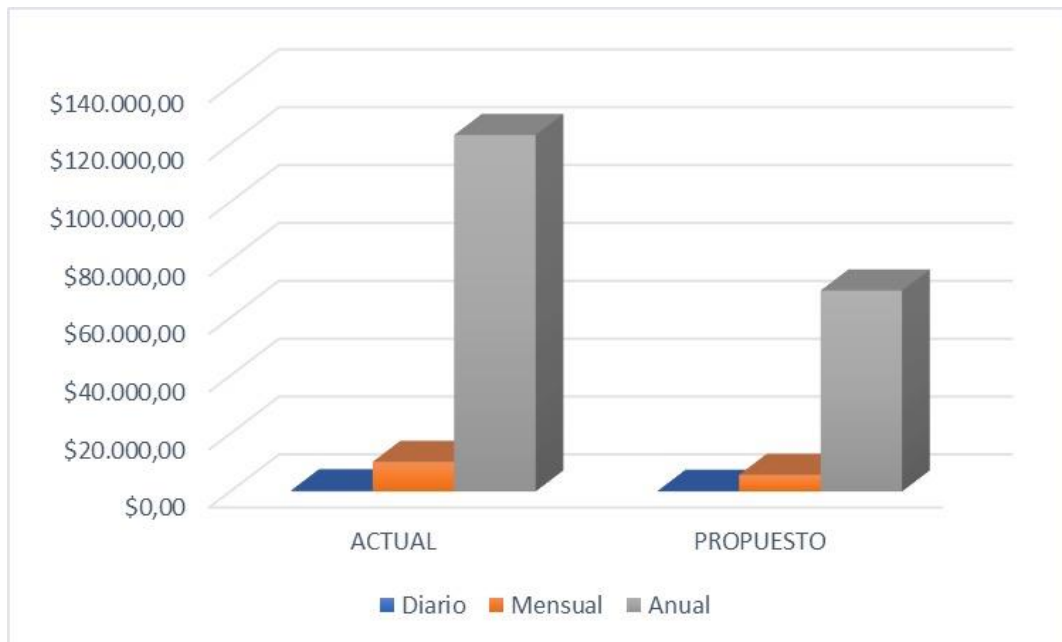
Valor del consumo de combustible

Flota propia	ACTUAL	PROPUESTO
TOTAL DIARIO	\$427,71	\$241,03
TOTAL MENSUAL	\$10.265,06	\$5.784,82
TOTAL ANUAL	\$123.180,75	\$69.417,81

En esta tabla, se realiza la comparación de los gastos en galones de diésel que se obtiene por los kilómetros recorridos diaria, mensual y anualmente. Como se sabe, actualmente la empresa cuenta con 10 rutas y con la ayuda de los algoritmos utilizados, se observa una notoria disminución de costos. Se disminuyó a 7 rutas con más puntos de ventas para tratar de aprovechar la mayor parte de la capacidad del camión.

Figura 23:

Estadística del valor del consumo de combustible



3.3 Especificaciones del prototipo

El prototipo usado en el presente proyecto utilizó dos algoritmos fundamentales los cuales fueron el algoritmo de Clark and Wright el cual nos permitió obtener un conjunto de rutas a partir de una elaboración previa de la matriz de distancias, brindándonos así un panorama más extenso, debido a que al fluctuar con la restricción de la capacidad se pudieron obtener otros posibles resultados como por ejemplo al determinar 300 kg como capacidad máxima del camión se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 24:

Propuesta para capacidad de 300 kg

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN TODAS LAS RUTAS:		229.32	
RUTA		CARGA	DISTANCIA
{1, 35, 34, 36, 32, 33, 25, 22, 1}		255.333	36.44
{1, 12, 13, 19, 20, 21, 7, 14, 1}		230.333	79.61
{1, 9, 10, 11, 6, 5, 8, 1}		263.333	28.18
{1, 3, 2, 15, 16, 18, 17, 1}		253.667	38.78
{1, 26, 24, 23, 31, 30, 29, 28, 27, 4, 1}		220.667	46.31

Dándonos como resultado 5 rutas, las cuales pueden ser atractivas por la disminución en cuanto a la utilización de la flota, pero esto implicaba que el producto terminado a transportar pueda sufrir algún daño por estrés o presión,

debido a que no son apilables por su naturaleza, esa es la principal razón por la cual descartamos esta posibilidad.

El siguiente algoritmo fundamental en el desarrollo de este proyecto fue el de mejora local, ya que, al permitir reorganizar las rutas obtenidas de manera individual en la ejecución del algoritmo anterior, brinda una disminución de kilómetros a recorrer, permitiendo así, una optimización de tiempo y dinero, ya que al recorrer menos kilómetros, el valor del diésel utilizado por la flota también se ve disminuido, logrando así un ahorro.

3.4 Entregables

Los entregables que se dispondrán a la empresa son los siguientes:

- Rutas resultantes del modelo de optimización.
- Código en Wolfram Mathematica, para la variación de parámetros según la evolución de las necesidades de la empresa.
- Comparativa de la situación actual en contraste a la propuesta elaborada en el presente proyecto.

3.5 Propuesta del valor de solución

Este proyecto uso lo algoritmos anteriormente mencionados ya que ofrecen ventajas muy grandes como lo son:

- Son eficientes en cuanto a los tiempos de ejecución para rutas que regresan a su punto de partida y así mismo, ayuda a encontrar una mejora significativa respecto a las soluciones existentes.
- El algoritmo de mejora local permite obtener soluciones superiores respecto a las encontradas por algoritmos previos, como fue en este proyecto.

Las ventajas que ofrece la propuesta a la empresa panificadora son:

- Disminución en las distancias totales a recorrer por parte de la flota
- Disminución de daños en los productos terminados durante su distribución, debido a la restricción de la capacidad del camión.
- Disminución en camiones usados durante el proceso de distribución.

- Disminución en costos incurridos debido a la utilización de flota propia, entre ellos: combustible, llantas, mantenimientos, etc.
- Disminución en cuanto a inconformidad del cliente respecto al nivel del servicio.

La desventaja de la propuesta es:

El costo de la propuesta es un poco elevado debido a la licencia el programa utilizado.

Figura 25:

Costos de la propuesta

Costo de la propuesta		
	Mensual	Total
Consumo de internet	\$30,00	\$60,00
Consumo energético	\$25,00	\$50,00
Mano de obra	\$250,00	\$500,00
Licencia Wolfram	\$3.230,00	\$3.230,00
	\$3.535,00	\$3.840,00
		\$610,00
		PRIMER AÑO
		ANUAL

Como se puede apreciar el costo de la propuesta esta parametrizado, entre los elementos usados, factor humano y la licencia del programa utilizado para la creación de la propuesta.

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Al finalizar el presente proyecto se logró establecer y conocer las rutas que la empresa panificadora debe de implementar con la finalidad de generar un ahorro tanto económico como de distancias a recorrer, cumpliendo las restricciones de capacidad de los vehículos y cuidando la integridad física del producto terminado durante su traslado.
- Los algoritmos utilizados durante el presente proyecto lograron complementarse de manera óptima, logrando así un conjunto de rutas viables para la problemática abordada, además de obtener una mejora local disminuyendo así las distancias finales a recorrer. Estos algoritmos funcionan mediante los parámetros iniciales como la demanda de cada punto de distribución, coordenadas de cada nodo, capacidad máxima de los camiones, etc.
- Se obtiene que la empresa panificadora lograría cumplir la entrega de producto terminado a sus 35 puntos de ventas, en una división de 7 rutas con un ahorro de \$53 762,94 en comparación con la situación actual de la misma. Esto será factible mientras la demanda de los locales se mantenga tal cual la información proporcionada por la empresa, puesto que si varía, se tendría que volver a ejecutar por la capacidad del camión que utilice cada punto de venta.

4.2 Recomendaciones

- Al elaborar la matriz de distancias, el exportarla como un documento de Excel es una acción muy práctica, debido a que permitirá que dichos datos sean utilizados fácilmente dentro de los algoritmos, para así no generar más carga en los procesos computacionales.
- Para depurar la información de las demandas de cada punto de distribución, es recomendable que se realice un análisis estadístico

donde al obtener las demandas diarias dentro de un periodo de n número de meses, se obtenga la media para que dicho valor sea utilizado en la propuesta, además de eliminar datos aberrantes.

- Sería aconsejable que la compañía alimentaria objeto de estudio implemente un método de actualización en tiempo real de estos datos a través de un sistema de información. Esto permitirá que el algoritmo funcione de manera más eficiente y evite sorpresas en relación a los cambios en la demanda.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Chopra, S., & Peter, M. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. Pearson educación.

Gómez, L. G. (2006). *Sistema logístico de abastecimiento de materia prima para la empresa Protsa, S.A. de C.V.* México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

Abad Robalino, G., & Baquerizo Cruz, S. (2015). *Reducción en tiempos de ruteo para el transporte urbano (T3) para una empresa de distribución de bebidas alcohólicas y no alcohólicas en Guayaquil*. Guayaquil: ESPOL.

Artículos

Dayarian, I., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Rei, W. (2016). An adaptive large-neighborhood search heuristic for a multi-period vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.09.004>

Dayarian, I., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Rei, W. (2015). A branch-and-price approach for a multi-period vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.06.004>

Baker, B. M., & Ayechev, M. A. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30(5), 787–800. [https://doi.org/10.1016/s0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/s0305-0548(02)00051-5)

Página web

Censos, I. N. (2017). *INEC*. Obtenido de www.ecuadorencifras.com