

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Ciencias Naturales y Matemáticas

Diseño e implementación de un aplicativo para la generación de rutas
basado en la demanda en una empresa de distribución

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación
(Ingeniero en Logística y Transporte)

Presentado por:

Denisse Daniela Murillo Merchán
Ronald Fernando Rodríguez Carbo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedicamos a nuestras madres y padres como pilares fundamentales de nuestra formación personal y, quienes durante el transcurso de nuestra etapa universitaria siempre ofrecieron su apoyo incondicional. Además, a nuestros familiares y amigos cercanos, quienes en cada etapa del proceso brindaron una mano amiga. Son todos ellos, quienes nos motivan a seguir adelante y nos guían para cumplir nuestras metas, nos enseñaron a no darnos por vencidos, aunque la situación a veces se ponga difícil.

A su vez a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, entidad que ha sido nuestra cuna del aprendizaje durante todo este tiempo. A través de los docentes, nos ha permitido adquirir no solo grandes conocimientos teóricos sino valores de excelencia que nos permiten desarrollarnos como seremos humanos integrales. Todo esto con la finalidad de prepararnos para enfrentar un mercado profesional que busca no solo aptitud sino actitud para realizar sus labores.

Y finalmente al compañero de tesis, con quien hoy después de tantas horas de trabajo juntos podemos culminar exitosamente el proyecto de titulación, que representa un capítulo más de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor Fernando Sandoya, Doctor. quien no solo nos guió en todo el proceso de estudio y recolección de datos, sino que también nos brindó pautas y consejos oportunos que aportaron al desarrollo de este proyecto. Asimismo, agradecemos a nuestro coordinador Carlos Ronquillo, Máster. quien siempre estuvo atento a nuestras dudas y constantes consultas, nos oriento en este proceso de titulación de la manera más pertinente y brindo las herramientas adecuadas para que el proyecto final sea un documento con sello de calidad garantizado.

A ambos les reiteramos nuestro agradecimiento por su contribución en nuestra formación profesional de cara al mundo laboral.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *DENISSE MURILLO Y RONALD RODRÍGUEZ* damos 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"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'DENISSE MURILLO', with a horizontal line extending to the right and a vertical line crossing it.

DENISSE MURILLO

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ronald Rodríguez C.', written in a cursive style.

RONALD RODRÍGUEZ

EVALUADORES

.....
MSC. CARLOS RONQUILLO

PROFESOR DE LA MATERIA



.....
PHD. FERNANDO SANDOYA

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La falta de herramientas tecnológicas para pequeñas empresas ocasiona incrementos no deseados en sus costos operativos. Este documento describe el análisis de la demanda previo al diseño e implementación de un aplicativo que reduce los tiempos en un proceso crucial para las empresas, la distribución de productos. Con el objetivo de reducir los kilómetros recorridos y aprovechar los recursos de forma eficiente. La cartera de productos de la empresa demandó un análisis y clasificación de ventas actuales para crear indicadores precisos y contundentes al momento de realizar operaciones claves en la empresa. Las técnicas de suavizamiento exponencial simple y doble fueron las herramientas a implementar debido a su fácil interpretación. Para el aplicativo, mediante el algoritmo genético se escala desde la posible solución hasta llegar a la solución óptima en un tiempo considerable, cumpliéndose los criterios del cliente. El modelo de ruteo vehicular con ventanas de tiempo ejemplifica la problemática de la distribución, y representa la base para realizar los procesos diseñados en lenguaje de programación científico Python. Dicho programa permitió crear una interfaz intuitiva para el usuario, quién carga la información clave en un archivo y una vez ejecutado, presenta un listado ordenado de clientes a visitar y su respectiva referencia visual. Se obtuvieron pronósticos con un buen nivel de precisión lo cual ofrece una herramienta confiable para revisión periódica de inventarios y abastecimiento. En cuanto al ruteo, se comparó las planificaciones realizadas con las generadas a través del aplicativo mostrando beneficios monetarios superiores al 25 %, montos representativos que pueden invertirse en expansión del negocio. Se concluye que la implementación de este tipo de herramientas mejora notablemente las tareas operacionales. Las rutas que cumplen con los horarios de llegada tienen mayor alcance en un mercado con alta competitividad en el que el nivel de servicio es un punto decisivo para un cliente al momento de comprar.

Palabras Clave: Ruteo vehicular, Algoritmo genético, Pronósticos, Optimización.

ABSTRACT

The lack of technological tools for small companies causes unexpected increases in their operating costs. This document describes the analysis of the demand, before design and implement an application which reduces the time in a crucial process for these companies, distribution of products. Its objective is to reduce the number of kilometers traveled and make efficient use of resources. The company's product portfolio demanded an analysis and classification of present sales to create precise and strong indicators at the time of executing key operations in company. The simple and double exponential smoothing techniques were the tools to be implemented due to their easy interpretation. For the application, the genetic algorithm is used to scale from a possible solution to an optimal solution in considerable time, satisfying the client's criteria. The vehicle routing model with time windows represents the distribution problem and provides all the basis for the processes described in scientific programming language such as Python. This program allows to create an intuitive interface for the user, who loads the key information in a file and, once executed the application presents an ordered list of clients to be visited and their respective visual reference. Forecasts were obtained with a good level of accuracy, which offers a reliable tool for periodic review of inventories and supply. In terms of routing, we compared the planning made with those generated through the application, showing monetary benefits of more than 25%, representative amounts that can be invested in business expansion. The conclusion is that the implementation of this type of tool significantly improve operational activities. A route that complies with arrival schedules has greater reach in a highly competitive market where the level of service is a decisive point for a customer at the time of purchase.

Keywords: Vehicle routing, Genetic Algorithm, Forecast, Optimization

Contenido

EVALUADORES	5
RESUMEN	6
<i>ABSTRACT</i>	7
CAPÍTULO 1	13
1. Introducción.....	13
1.1 Descripción del problema.....	13
1.2 Justificación del problema	17
1.3 Alcance	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
1.5 Marco teórico	19
CAPÍTULO 2	25
2. METODOLOGÍA	25
2.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	25
2.2.1. Levantamiento de información	25
2.2.2. Análisis de la información levantada: Situación actual	27
2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO	40
2.3. DESARROLLO DEL ALGORITMO.....	45
2.4. PROTOTIPO DE LA INTERFAZ.....	47
2.5. USO DE SOFTWARE	48
2.6. EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN	50
2.7. CONSIDERACIONES LEGALES Y ÉTICAS	50
2.8. FASES DEL PROYECTO.....	51
2.9. CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	52
CAPÍTULO 3.....	53

3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	53
3.1	VALIDACIÓN DE PRONÓSTICOS	53
3.1.1	PRODUCTO P001	54
3.1.2	PRODUCTO P002.....	54
3.1.3	PRODUCTO P007.....	55
3.1.4	PRODUCTO P008.....	55
3.1.5	PRODUCTO P026.....	55
3.1.6	PRODUCTO P032.....	56
3.1.7	PRODUCTO P038.....	56
3.1.8	PRODUCTO P055.....	57
3.1.9	PRODUCTO P071	57
3.1.10	PRODUCTO P105.....	58
3.2	RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN.....	58
3.2.1	PRIMER EXPERIMENTO.....	58
3.2.2	SEGUNDO EXPERIMENTO.....	60
3.2.3	TERCER EXPERIMENTO.....	61
3.2.4	CUARTO EXPERIMENTO.....	63
3.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	65
3.4	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	66
3.5	INTERFAZ DEL APLICATIVO.....	68
	CAPÍTULO 4.....	70
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	70
	Conclusiones	70
	Recomendaciones.....	71
	Bibliografía	72
	ANEXOS.....	73
I.	Preguntas para jefa de administración	73

II. Preguntas para encargado de transporte	73
III. Preguntas para vendedores- Despachadores	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Mapa de Actores (Murillo & Rodríguez, 2022)	14
Figura 1.2.- Diagrama de Ishikawa (Murillo & Rodríguez, 2022)	15
Figura 1.3.- Herramienta 5W's (Murillo & Rodríguez, 2022)	16
Figura 1.4 Problema de ruteo de vehículos capacitados (VRP) (Murillo & Rodríguez, 2022)	19
Figura 1.5.- Clasificación de las Heurísticas (YEPES, 2002)	24
Figura 2.1.- Mapa de empatía: Transporte (Murillo & Rodríguez, 2022)	26
Figura 2.2.- Mapa de empatía: Ventas (Murillo & Rodríguez, 2022)	27
Figura 2.3.-Análisis de características del producto P001 (Murillo & Rodríguez, 2022).	29
Figura 2.4.-Modelo ajustado y pronósticos del producto P001. (Murillo & Rodríguez, 2022)	29
Figura 2.5.-Análisis de características del producto P002. (Murillo & Rodríguez, 2022).	30
Figura 2.6.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P002 (Murillo & Rodríguez, 2022)	31
Figura 2.7.- Análisis de características del producto P007 (Murillo & Rodríguez, 2022).	31
Figura 2.8.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P007 (Murillo & Rodríguez, 2022).	32
Figura 2.9.-Análisis de características del producto P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)	33
Figura 2.10 Modelo ajustado y pronósticos del producto P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)	33
Figura 2.11.-Análisis de características del producto P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)	34
Figura 2.12.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)	34
Figura 2.13.-Análisis de características del producto P032 (Murillo & Rodríguez, 2022).	35
Figura 2.14.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P032 (Murillo & Rodríguez, 2022)	36
Figura 2.15.-Análisis de características del producto P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)	36
Figura 2.16.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)	37
Figura 2.17.- Análisis de características del producto P055 (Murillo & Rodríguez, 2022).	37
Figura 2.18.- Modelo ajustado y Pronósticos del producto P055 (Murillo & Rodríguez, 2022).	38
Figura 2.19.- Análisis de características del producto P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)	39
Figura 2.20.-Modelo ajustado y pronósticos producto P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)	39
Figura 2.22.-Análisis de características del producto P105 (Murillo & Rodríguez, 2022)	40
Figura 2.23.- Modelo ajustado para el producto P105. (Murillo & Rodríguez, 2022)	40
Figura 2.23.-Cruzamiento de individuos (Murillo & Rodríguez, 2022).	47
Figura 2.24.-Prototipo ventana inicial (Murillo & Rodríguez, 2022).	48
Figura 2.25.- Prototipo ventana final (Murillo & Rodríguez, 2022)	48
Figura 3.1.- Recorrido día uno (Murillo & Rodríguez, 2022)	67
Figura 3.2.- Recorrido día dos (Murillo & Rodríguez, 2022)	68
Figura 3.3.- Recorrido día tres (Murillo & Rodríguez, 2022)	68
Figura 3.4 Recorrido día cuatro (Murillo & Rodríguez, 2022)	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Productos con mejores promedios de ventas (Murillo & Rodríguez, 2022)	28
Tabla 2.2.-	Descripción de parámetros (Murillo & Rodríguez, 2022)	41
Tabla 2.3.-	Matriz de distancias del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022).	42
Tabla 2.4.-	Matriz de tiempos de viaje del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	43
Tabla 2.5.-	Parámetros de experimentación A (Murillo & Rodríguez, 2022).	44
Tabla 2.6.-	Parámetros de experimentación B (Murillo & Rodríguez, 2022).	44
Tabla 2.7.-	Parámetros de experimentación C (Murillo & Rodríguez, 2022).	44
Tabla 2.8.-	Desarrollo de actividades (Murillo & Rodríguez, 2022).	52
Tabla 3.1.-	Ventas reales del último trimestre 2021 (Murillo & Rodríguez, 2022)	53
Tabla 3.2.-	Forecast Accuracy P001 (Murillo & Rodríguez, 2022)	54
Tabla 3.3.-	Forecast Accuracy P002 (Murillo & Rodríguez, 2022)	54
Tabla 3.4.-	Forecast Accuracy P007 (Murillo & Rodríguez, 2022)	55
Tabla 3.5.-	Forecast Accuracy P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)	55
Tabla 3.6.-	Forecast Accuracy P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)	56
Tabla 3.7.-	Forecast Accuracy P032 (Murillo & Rodríguez, 2022)	56
Tabla 3.8.-	Forecast Accuracy P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)	56
Tabla 3.9.-	Forecast Accuracy P055 (Murillo & Rodríguez, 2022)	57
Tabla 3.10.-	Forecast Accuracy P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)	57
Tabla 3.11.-	Forecast Accuracy P105 (Murillo & Rodríguez, 2022)	58
Tabla 3.12.-	Dirección de la bodega de la empresa (Murillo & Rodríguez, 2022).	58
Tabla 3.13.-	Clientes del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	59
Tabla 3.14.-	Ruta óptima para el experimento uno (Murillo & Rodríguez, 2022)	59
Tabla 3.15.-	Clientes del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	60
Tabla 3.16.-	Matriz de distancias del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	60
Tabla 3.17.-	Matriz de tiempos de viaje del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	61
Tabla 3.18.-	Ruta óptima para el experimento dos (Murillo & Rodríguez, 2022)	61
Tabla 3.19.-	Clientes del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	62
Tabla 3.20.-	Matriz de distancias del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	62
Tabla 3.21.-	Matriz de tiempos de viaje del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	62
Tabla 3.22.-	Ruta óptima para el experimento tres (Murillo & Rodríguez, 2022)	63
Tabla 3.23.-	Clientes del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	63
Tabla 3.24.-	Matriz de distancias del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	64
Tabla 3.25.-	Matriz de tiempos de viaje del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)	64
Tabla 3.26.-	Ruta óptima para el experimento cuatro (Murillo & Rodríguez, 2022)	65
Tabla 3.27.-	Análisis de costos fijos y variables mensuales del Chevrolet N300 (Murillo & Rodríguez, 2022)	65

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La empresa afectada por esta problemática tiene como actividad principal distribuir diferentes productos de repostería en bajos volúmenes o cantidades por peso específico para clientes que realizan productos caseros o por pedidos puntuales, lo cual representa una demanda variable correspondiente al mercado actual. El proyecto pretende mejorar los diferentes procesos que se ejecutan actualmente de manera convencional y que ocasionan costos adicionales a la empresa, la cual tiene que asumir dichos costos al final del proceso operativo.

1.1 Descripción del problema

La empresa, caso de estudio, ha tomado decisiones tal como el recorte de personal, depuración del sistema y se plantea el uso de herramientas para facilitar la gestión operativa. Existen áreas que al momento se han fusionado para adaptarse a la situación, tal es el caso del área de ventas y bodegas, el área de contabilidad y compras, y finalmente el área logística con transporte.

En la Figura 1.1 se identifica al personal del área de logística y transporte, además del área de compras como los actores principales, al área de ventas, bodegas y administración como actores secundarios, y finalmente como actores externos frente a la problemática están los clientes.

Las áreas de compras, logística y transporte son claves para el correcto funcionamiento de la empresa, cuyo enfoque es la distribución. El área de compras se encarga de codificar nuevos productos y proveedores aparte de revisar los niveles de inventario y establecer frecuencias para el abastecimiento apropiado de los productos. El área logística coordina un seguimiento integral de los despachos, una vez que se han facturado los pedidos, tomando en cuenta las observaciones pertinentes. El área de transporte se encarga de hacer el ruteo que considere conveniente para la entrega de producto, según los pedidos que se realizan día a día.

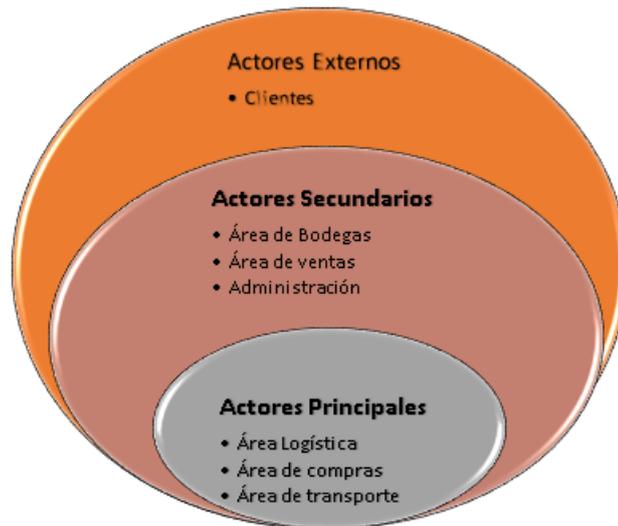


Figura 1.1.- Mapa de Actores (Murillo & Rodríguez, 2022)

Las áreas de administración, ventas y bodegas son parte de la operación, pero no afectan directamente al nivel de servicio. El área administrativa se encarga de los pagos a proveedores, generación de facturas, declaraciones y un sin número de procesos contables. El área de ventas socializa las promociones existentes con la cartera de clientes habituales, realizan presentaciones para la captación de posibles clientes en redes sociales. El área de bodegas controla los movimientos de entrada y salida de productos además de la organización de los productos de acuerdo con las especificaciones de estos.

Para la siguiente etapa de Design Thinking que se enfoca en definir con mayor exactitud la problemática, se requieren herramientas, tal como el diagrama de Ishikawa y los cinco porqués. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

El problema se centra en la fase de distribución del producto. Analizando las primeras ramas de la Figura 1.2, se observa que en cuanto a sistemas, el área de facturación y bodegas manejan distinta información relacionada el cliente, y en transporte, se generan mayores gastos porque se aumentan los kilómetros previstos a recorrer en un intervalo. En la siguiente rama se especifica que no existe ningún método para diseñar rutas óptimas basadas en los pedidos realizados en el horario establecido por la política existente.

Y la rama, referente a materiales, muestra qué al mantener pocos proveedores y alta demanda de productos, el tiempo de espera para el reabastecimiento sumado a que existen productos que poseen un tiempo de caducidad corto y mayor rotación en ciertas temporadas del año, ocasionan un problema constante si no se controlan periódicamente los inventarios.

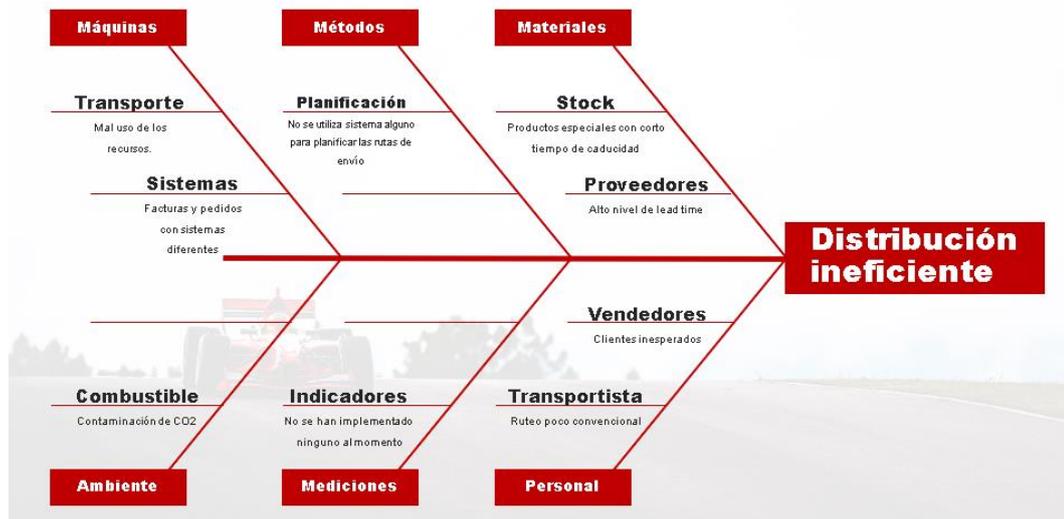


Figura 1.2.- Diagrama de Ishikawa (Murillo & Rodríguez, 2022)

En relación con el medio ambiente, la implementación costosa de nuevas tecnologías de transporte que están en auge para evitar la contaminación que el combustible tradicional ocasiona, pueden afectar el costo del servicio. Si de mediciones se trata, la empresa no hace uso de indicadores para controlar el rendimiento y la eficiencia operativa. Con respecto al personal, el área de ventas procura atender a la mayoría de los clientes, a pesar de que algunos incumplen con la política de pedidos, esto por miedo de perder al cliente, lo cual afecta al transportista quien debe realizar constantes modificaciones en la ruta de entrega para cumplir eficazmente con su trabajo.

El problema está relacionado con el proceso de entrega en el que se incluye la elaboración y manejo de tiempos de ejecución de las rutas además de la búsqueda de mejoras en el desempeño eficiente de los repartos. En la Figura 1.3, se analiza y explica lo que no sucede debido a la práctica poco

convencional en la que se trazan diariamente las rutas de transporte y las modificaciones a favor de obtener mayores utilidades.

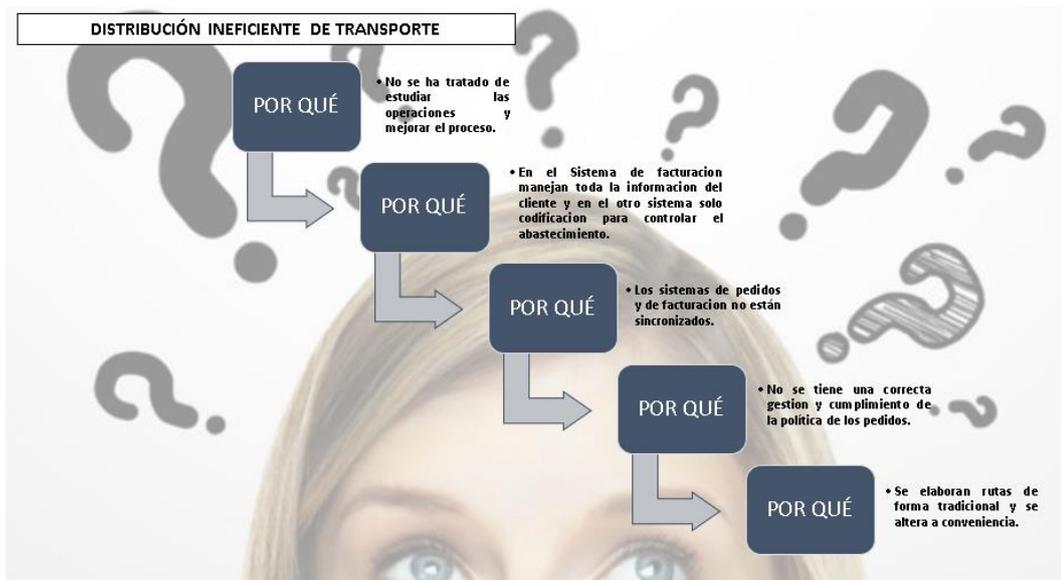


Figura 1.3.-Herramienta 5W's (Murillo & Rodríguez, 2022)

Esto se atribuye al incumplimiento de la política de pedido por parte del personal de ventas, quienes adicionan facturas de clientes que solicitan productos hasta minutos antes que el vehículo salga de la bodega. Los retrasos se deben a la falta de conciliación de datos entre ventas y facturación, lo cual sucede normalmente con clientes nuevos, quienes no son ingresados al sistema hasta que se efectivice la compra o por los comentarios adicionales que se consideran al momento de hacer las entregas. El área de ventas alimenta el sistema de facturación, la misma que maneja distintos datos con el área de bodegas, encargada de los despachos, todo esto debido a que no se ha implementado el uso de herramientas de medición que muestran si las operaciones cumplen con el estándar de la industria.

Después de la revisión de las distintas perspectivas en cada área afectada relacionada a la problemática, se determina que la distribución ineficiente de transporte responde a la falta de implementación de herramientas tecnológicas, que faciliten el diseño de rutas, e indicadores de gestión claves para el controlar los resultados. Por lo tanto, se requiere un análisis

exhaustivo de los datos para comprender la situación actual de la empresa y ejecutar una solución que mejore significativamente el diseño de las rutas de entrega, para este caso se sugiere diseñar un algoritmo genético, cuyo planteamiento es minimizar los tiempos de viaje y kilómetros recorridos, el mismo que debe ser capaz de elaborar rutas en función a la demanda de pedidos.

1.2 Justificación del problema

El presente proyecto se enfoca en la mejora continua de las pequeñas empresas en crecimiento, que actualmente llevan a cabo sus actividades de manera convencional con la finalidad de automatizar y optimizar procesos que no agregan valor a la operación principal que es en sí, la distribución de productos. Para la empresa objeto de este estudio, como distribuidora de productos, requiere una infraestructura estándar que permita, que tanto los procesos internos como externos sean más eficientes, minimizando los costos asociados a la operación de distribución y agilizando los movimientos en la cadena de suministro.

Mediante el desarrollo de este proyecto, se espera crear un mecanismo que permita realizar de forma más idónea, el análisis de la demanda y planificación de abastecimiento para beneficio propio de la empresa como de sus colaboradores y clientes. Además, se requiere revisar si la infraestructura con la que la empresa cuenta actualmente se encuentra en condiciones óptimas y capacidad suficiente para las mejoras que se plantean en las recomendaciones finales del proyecto en pro de desarrollar estrategias que sirvan no solo para productos de insumo sino también productos en general.

El uso de herramientas tecnológicas, tal como el aplicativo a desarrollarse en este proyecto, permitirá determinar rutas a través de un análisis exhaustivo de la base de datos de clientes con sus respectivas demandas basado en sus datos históricos. Paralelamente, se logrará que la demanda de los clientes sea atendida de manera eficaz y eficiente, mejorando por consiguiente el nivel de servicio que actualmente tiene la empresa

generando una mejor experiencia del cliente, qué es el propósito de la empresa. Finalmente, al optimizar los procesos, se espera reducir costos qué afectan el desarrollo continuo de la pequeña empresa con el claro objetivo de mejorar su competitividad y promover un crecimiento económico viable.

1.3 Alcance

En el presente proyecto se abarca el problema de ruteo vehicular, en el cual se tiene como objetivo establecer rutas de entrega para una empresa dedicada a la distribución de productos de pastelería y repostería. Sin embargo, debido a las necesidades de la empresa se implementará cierta variante del problema, en la cual se consideran ventanas de tiempo para cada cliente, las cuales deben ser respetadas al momento de generar las rutas. Al diseñar rutas, se busca minimizar el tiempo de realizar la entrega, para un vehículo que inicia su recorrido desde el centro de distribución hacia un grupo de clientes que realizan diferentes pedidos, los cuales se deben entregar el mismo día, una vez se cumple con los respectivos clientes, el vehículo regresa al punto de origen, es decir, el centro de distribución. Para la solución del modelo del problema se propone un aplicativo que hace uso del algoritmo genético del cual se espera que los resultados obtenidos validen la eficiencia de este, entregando las diferentes combinaciones de rutas óptimas con menos tiempo de viaje y kilómetros recorridos, cumpliendo los horarios solicitados por el cliente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Implementar una metaheurística basada en un algoritmo genético para generar rutas óptimas en función de la demanda y considerando las ventanas de tiempo de los clientes.

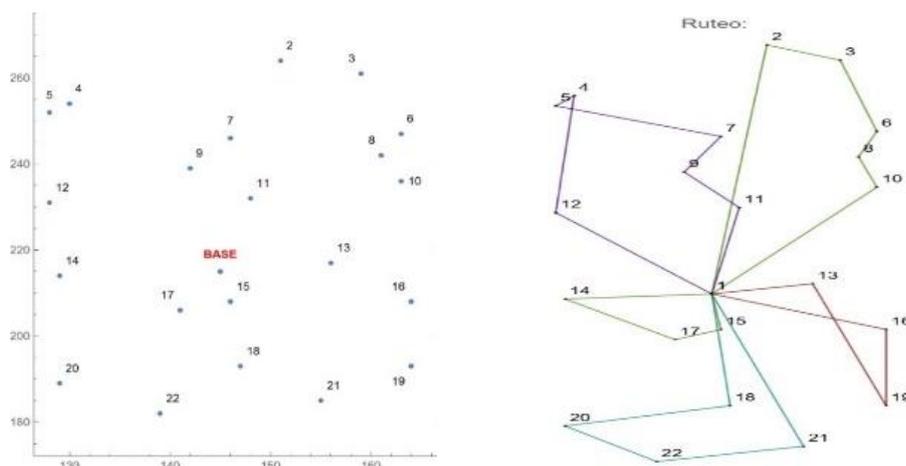
1.4.2 Objetivos Específicos

- I. Analizar los datos históricos para detectar patrones y generar proyecciones de venta.

- II. Diseñar el algoritmo genético en función de los requerimientos del problema de negocio de la empresa, respetando las restricciones que se presentan en este problema.
- III. Implementar el algoritmo genético en un lenguaje de programación científico.
- IV. Crear una interfaz amigable e intuitiva que integre las proyecciones de venta con la implementación del algoritmo genético y que genere la reportería adecuada para la interpretación de los resultados.

1.5 Marco teórico

El problema de ruteo vehicular o también conocido como VRP, tiene como objetivo obtener el grupo de rutas óptimas que debe efectuar un conjunto de vehículos con el fin de atender a una cierta cantidad de clientes ubicados en diferentes puntos, utilizando vehículos que parten y regresan de un nodo base, tal como muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; cabe destacar que este problema es uno de los tantos problemas de optimización combinatoria más relevante y analizados hasta



la actualidad (Toth, 2014).

En 1959, George Dantzig y John Ramser propusieron una formulación matemática al problema de distribución de combustible enfocado a la programación algorítmica. Más tarde, en 1964, Clarke y Wright superaron el diseño de Dantzig-Ramser debido a que determinaron una heurística

Figura 1.4 Problema de ruteo de vehículos capacitados (VRP)
(Murillo & Rodríguez, 2022)

más eficiente. Con el pasar del tiempo se desarrollaron nuevas variantes para el VRP, y con ello se presentaron varios modelos matemáticos y algoritmos con la intención de encontrar una solución óptima o lo más cercana posible (Toth, 2014).

En la actualidad existen muchos programas computacionales para solucionar diversas instancias del VRP, debido a su relevante aplicabilidad en los diversos problemas que ocurren en la vida real. Hoy en día, el mercado presenta fluctuaciones en las demandas, las mismas que se traducen en un aumento en el grado de dificultad para resolver el problema (Toth, 2014).

Una de las variantes más complejas del VRP, pero así mismo una de las más aplicables al mundo real, considera adicionar intervalos de tiempo en los que es posible realizar la entrega en puntos o clientes específicos, conocido como problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo o VRPTW (Solomon & Desrosiers, 1988). Actualmente los modelos para el VRP se han basado generalmente en un único producto lo cual hoy en día es algo muy poco habitual y las restricciones que se consideran en sus variantes se han enfocado comúnmente creación de rutas con el mínimo costo y uso de recursos (Gu & all., 2009), sin embargo en esta época donde los negocios van en constante crecimiento y realizan pedidos de diferentes tipos de productos, la realidad es otra, además se consideran las tecnologías al alcance del cliente, por lo que en el momento menos pensado el proveedor del producto o servicio debe enlistar sus productos para ser entregados a tiempo.

En cuanto a problemas de decisión se ha desarrollado la teoría de la complejidad para problemas polinomiales no determinísticos definidos como NP (*Non-Deterministic Polynomial*) con el objetivo de diferenciar los problemas fáciles de los difíciles. Debido a que existe una clase específica de problemas NP que contiene las variantes de decisión de muchos problemas de optimización combinatoria aparentemente difíciles (Martí, Pardalos, & G, 2018).

Para comparar la complejidad de dos problemas en NP, se introducen reducciones de tiempo polinómicas. Es decir, si un problema \mathcal{X} es reducible en tiempo polinomial a un problema \mathcal{X}' , entonces el problema \mathcal{X}' es al menos tan difícil como el problema \mathcal{X} lo que significa que existe un algoritmo que resuelve en tiempo polinomial un problema \mathcal{X}' , solo si existe para el problema \mathcal{X} . En conclusión, Los problemas NP que son reducibles en tiempo polinomial se denominan NP Duros los cuales son tan difíciles de resolver como los problemas NP Completos (Martí, Pardalos, & G, 2018).

Dado que el CVRP es NP-duro, por extensión, el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) también es NP-duro. De hecho, incluso encontrar una solución factible al VRPTW para un número fijo de vehículos es en sí mismo un problema NP-completo (Savelsberg, 1985). Por la tanto, mientras se considere un número limitado de clientes es posible hallar una solución exacta. El aumento en la complejidad está directamente relacionado al uso de recursos computacionales en los que se incurre con la finalidad de hallar la solución óptima, para esos casos se recomienda métodos aproximados.

En esta investigación para la solución del VRPTW se plantea la implementación de un algoritmo genético, que consiste en la generación de una población de soluciones como valor de entrada, una vez que se ejecuta da como resultado un grupo de rutas que se someten a una evolución constante. La solución finalmente es entregada cuando se cumpla el criterio de parada o a su vez se consiga un mínimo grupo de rutas. Mediante cruce y selección de cromosomas de la población sucede la evolución del algoritmo genético. Para garantizar la factibilidad de la solución, se adiciona un operador de cruce específico además de la selección basada en su reproducción evolutiva frente a otros cromosomas (Ombuki, Ross, & Hanshar, 2006). Por lo cual se establece que las soluciones proporcionadas por el algoritmo genético son buenas y requieren de un tiempo prudente de ejecución (Lenoardo & all, 2013).

Para la formulación matemática del VRPTW, se define en el grafo dirigido $G = (V, A)$, donde el depósito está representado por los dos vértices 0 y $n + 1$, denominados vértices origen y destino, respectivamente. Sea $N = V \setminus \{0, n + 1\}$ el conjunto de vértices de los clientes.

Se definen demandas cero y tiempos de servicio cero para los vértices 0 y $n + 1$, es decir, $q_0 = q_{n+1} = s_0 = s_{n+1} = 0$, con el propósito de reducir la expresión. Además, se les asocia una ventana de tiempo, es decir, $[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}]$, donde a_0 y b_0 son la primera hora posible de salida del depósito y la última hora posible de llegada al depósito, respectivamente.

Se presenta una formulación basada en Programación Lineal Entera Mixta (MIP) para el VRPTW que implica dos tipos de variables: para cada arco $(i, j) \in A$ y cada vehículo $k \in K$, hay una variable binaria de flujo de arco x_{ijk} que es igual a 1 si el arco (i, j) es utilizado por el vehículo k , y 0 en caso contrario; y, para cada vértice $i \in V$ y vehículo $k \in K$, hay una variable de tiempo T_{ik} que especifica el tiempo de inicio de servicio en el vértice i cuando es atendido por el vehículo k .

$V = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ Conjunto de nodos siendo 0 el depósito central

$c_{ij} =$ Longitud del arco (i, j) donde $(i, j) \in V$

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco } (i, j) \text{ es utilizado por el vehículo } k \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$

$T_{ik} =$ Variable positiva instante de inicio de servicio del vehículo $k \in K$ al cliente $i \in V \setminus \{0\}$

$s_i =$ Tiempo de servicio del cliente $i \in V$

$t_{ij} =$ Tiempo en alcanzar el nodo $j \in V$ a partir del nodo $i \in V$

$q_i =$ Demanda del cliente $i \in V \setminus \{0\}$

$[a_i, b_i] =$ Ventana de tiempo del cliente $i \in V$

$M =$ Numero Grande que puede ser el $\max\{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\}$

$$\begin{array}{ll}
1 & \text{Minimize } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \\
2 & \text{s. t. } \sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V, \\
3 & \sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \\
4 & \sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in V, \\
5 & \sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K, \\
6 & T_{ik} + s_i + t_{ij} - T_{jk} \leq (1 - x_{ijk}) M_{ij} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A, \\
7 & a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K, j \in V, \\
8 & x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A
\end{array}$$

La función objetivo (1) pretende minimizar la distancia total. La restricción (2) prohíbe que el cliente sea incluido en más de una ruta. (3) Limita que el vehículo sale una sola vez del depósito. (4) Asegura que el número de arcos o conexiones que entran a un nodo tiene que ser igual al número de arcos o conexiones que salen del mismo. (5) El cliente puede ser visitado únicamente por un vehículo. (6) Garantiza la existencia de una ruta factible. (7) En el intervalo de tiempo establecido por el cliente se encuentra el tiempo de inicio de servicio. (8) Las variables de flujo de arco están sujetas a requisitos binarios.

Para el problema de ruteo las metaheurísticas existentes se pueden clasificar, tal como se observa en la Figura 1.5, en métodos basados en población o búsqueda local. Al usar un algoritmo de búsqueda local se busca explorar un espacio de soluciones, iterando entre la vecindad de estas. Si, al contrario, se busca la evolución de la solución mediante combinaciones entre ellas, las heurísticas basadas en la población son mejor opción.

Para este caso, la evolución del algoritmo genético se efectúa mediante el cruce y mutación de soluciones con parámetros generales definidos previamente, los cuales pueden ser modificados en la búsqueda de una solución adaptada a los requerimientos del usuario.

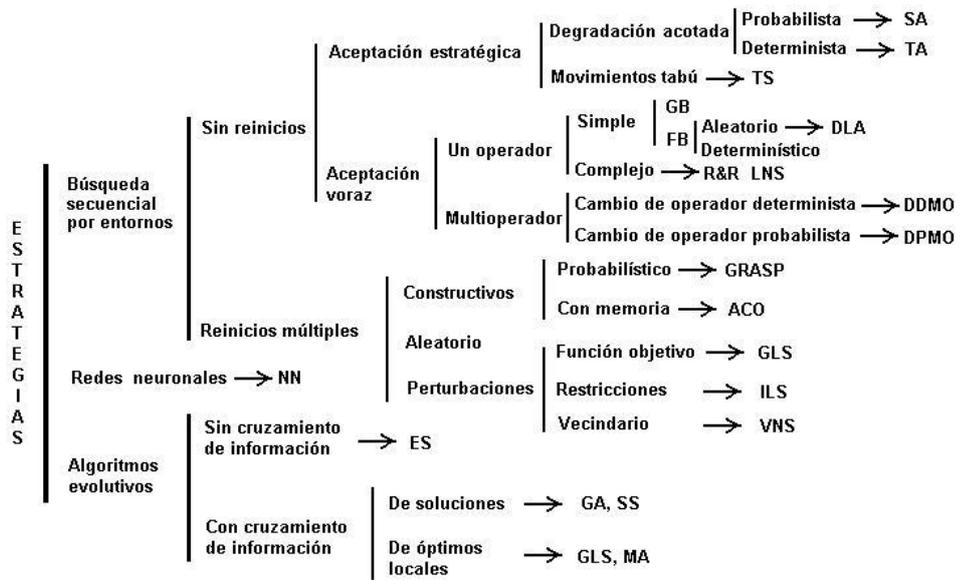


Figura 1.5.- Clasificación de las Heurísticas (YEPES, 2002)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de las hipótesis correspondientes a la problemática del proyecto se detalla con la finalidad de dar solución, mediante el uso de metodología mixta, es decir con un enfoque cualitativo y cuantitativo. Se define como inductivo debido a que se sitúa inicialmente en la parte cualitativa y después se encamina al método cuantitativo.

La parte cualitativa del proyecto consistió en recolectar información sobre las posibles causas que afectan a la problemática de acuerdo con lo que manifiesta el personal encargado de cada área, por lo cual se hace uso de una entrevista semiestructurada, centrada en el problema a cada representante de los actores principales definidos en el capítulo anterior.

En cuanto a las técnicas cuantitativas se usan múltiples paradigmas en esta investigación. Los métodos usados permiten hacer proyecciones con métodos exactos, optimizar el uso de los recursos de la empresa y finalmente comparar la eficiencia de la solución (Pole, 2009). Con los datos de las ventas comprendidas desde el segundo semestre del año 2019, previo a la pandemia y los años posteriores, se corrobora y compara dicha información.

El proyecto se llevó a cabo en cuatro fases fundamentales, las cuales son: revisión de la situación actual, análisis de la información proporcionada, desarrollo del modelo y el algoritmo, y finalmente la creación de la interfaz de usuario. Cada una de las fases del proyecto cuenta con metodología propia, la misma que brinda soporte al desarrollo efectivo de la solución. Al combinar metodologías, se comprendió el estado actual y se desarrollaron posibles soluciones adecuadas a la problemática (Tashakkori & Teddlie, 2003).

2.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. Levantamiento de información

Con ayuda de un banco de pregunta en el Anexo II se buscó profundizar el entendimiento qué los actores, definidos como los actores principales en el capítulo anterior, perciben acerca de los factores que afectan el problema a tratar.

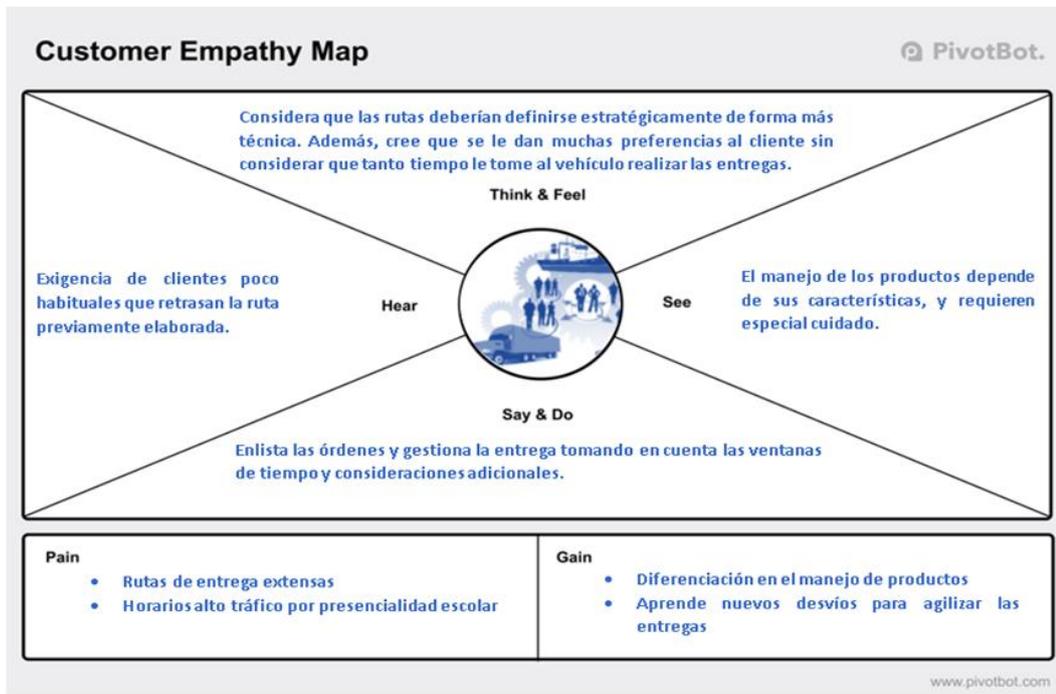


Figura 2.1.- Mapa de empatía: Transporte (Murillo & Rodríguez, 2022)

Para ello se realizaron entrevistas al personal de área de transporte como actor principal y en ventas como actor secundario. A continuación, en la **Figura 2.1**, se muestran los resultados obtenidos. Aquí se manifiestan ciertas inconformidades por parte del transportista, debido a que él observa que no hay una correcta planificación previo a la ruta de entrega, siempre hay cambios inesperados ya que aparecen nuevas órdenes de facturación, o los clientes realizan cambios en sus pedidos.

Adicional a esto, el aumento de vehículos en carretera por la presencialidad escolar les obliga a tomar rutas diferentes a las fijadas previamente, por consiguiente, se retrasan los tiempos acordados y aumenta las distancias recorridas. A pesar de las exigencias de los clientes con respecto a sus pedidos, el vehículo llega al punto en un intervalo de tiempo considerable, aunque este no sea exactamente el horario establecido, también los clientes tardan en llegar a recibir el pedido, por estas razones al transportista le toma mucho tiempo realizar la entrega.

En la **Figura 2.2** se determina qué entre las actividades principales que realiza el personal de ventas, está la publicación de las promociones

vigentes en redes sociales tanto semanales como mensuales, para motivar al cliente habitual y captar posibles consumidores, con el fin de generar mayor volumen de ventas. Son ellos quienes dan una retroalimentación al jefe sobre aquello que genera mayor interés, cuáles promociones podrían ser más recurrentes y proporcionan información objetiva de los clientes. A pesar de mantener constante comunicación con los clientes, en ciertas ocasiones no se concluye la venta; cuando se entregan los catálogos donde se incluye toda la información pertinente, aun así, los compradores piden confirmación de los valores, pero la compra no es realizada. Algunos muestran desinterés en productos de otras marcas que no sean conocidas por temor a que el producto final no mantenga la calidad a la que ellos están acostumbrados.

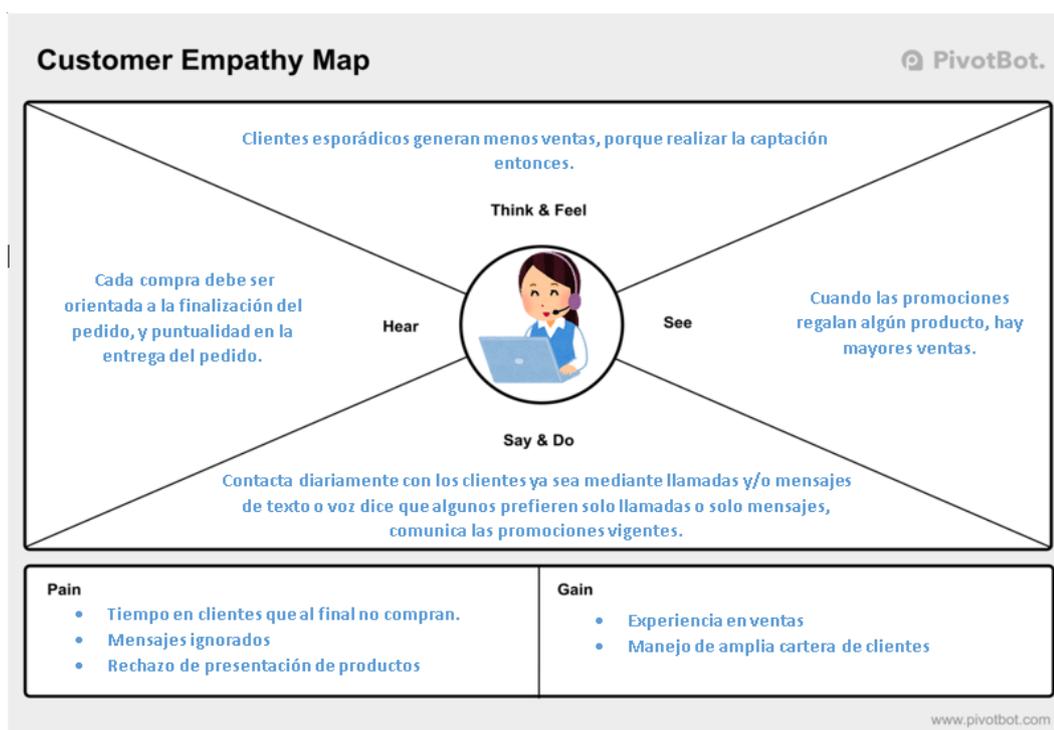


Figura 2.2.- Mapa de empatía: Ventas (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2. Análisis de la información levantada: Situación actual

Para describir la situación actual de la empresa, se realizó el análisis de las ventas en el periodo comprendido entre junio del 2019 hasta diciembre del 2021. Debido a la amplia cartera de productos que maneja la empresa, se recomienda un estudio previo de los datos y a partir del

comportamiento que muestran los datos se crean pronósticos de la demanda. Con los productos que se mantenían en el inventario relacionado al periodo de estudio se realizó el tratamiento de los datos.

En el año 2019, la cantidad de productos era pequeña considerando los demás años, por ello se decidió considerar el 95% de las ventas realizadas. Contrario a lo que sucede en los años 2020 y 2021, donde la cartera de productos aumentó no solo en productos comestibles sino también en artículos de repostería por lo que se consideró solo el 75% de los productos que generan mayores ventas.

La lista de los productos después del tratamiento inicial contaba con 108 productos, de los cuales se eliminaron 15 productos que se descontinuaron en el periodo de la pandemia y otros aún están en proceso de descatalogarse.

Tabla 2.1 Productos con mejores promedios de ventas (Murillo & Rodríguez, 2022)

PRODUCTOS	CÓDIGO	Kg.
BALDE DE YOGURT ALNES 4.7 KG	P008	1448
BALDE DE MANJAR ALNES 4.7 KG	P007	1271
MANTEQUILLA SIN SAL DULACS 1 KG	P071	1124
QUESO CREMA TONI CSAL	P105	1102
AZUCAR BLANCA VALDEZ GRANULADA	P002	776
DOY PACK DE LECHE ALNES DE 2 KG	P032	752
AZUCAR M.P. LEVAPAN	P001	627
HARIMAX REPOSTERA	P055	607
DULCE DE LECHE REPOSTERO DULACS 4.5KG	P038	606
CORDILLERA SUCEDANEO BLANCO 1KG	P026	523

El comportamiento de datos y pronósticos futuros se realizó para aquellos productos que representan mayores ingresos a la empresa durante el período analizado, los cuales se enlistan en la **Tabla 2.1**. Se consideró características tales como el promedio y la variabilidad de las ventas en cada uno de los productos. Una vez convertidos los datos en serie de tiempo se analizó la tendencia y la estacionalidad para usar correctamente las herramientas de pronósticos.

2.2.2.1 Para el AZUCAR M.P. LEVAPAN, con código P001, se analizó que la serie de datos en el tiempo establecido posee normalidad, donde el promedio de ventas es 20.23 kilogramos. Al omitir los datos nulos de la serie se analizó la existencia de tendencia, y con ayuda de la **Figura 2.3** se definió que no posee. Con respecto a la estacionalidad, usando la prueba de Dickey-Fuller, se comprueba que no es estacionaria.

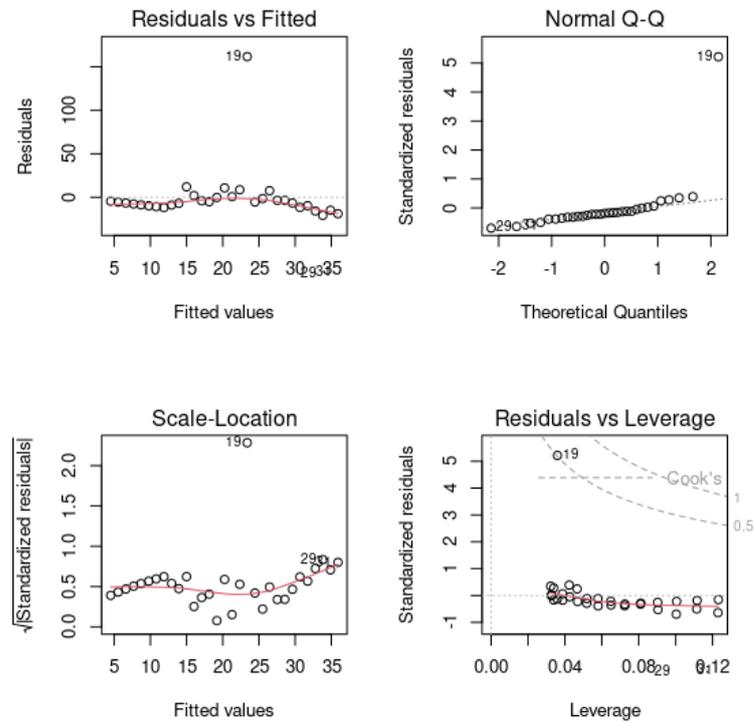


Figura 2.3-Análisis de características del producto P001 (Murillo & Rodríguez, 2022).

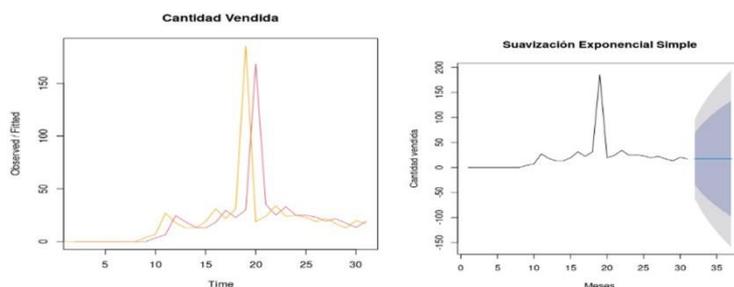


Figura 2.4.-Modelo ajustado y pronósticos del producto P001. (Murillo & Rodríguez, 2022)

En la **Figura 2.4** se presenta el modelo ajustado para generar su pronóstico, se usó suavizamiento exponencial simple con un valor de

$\alpha = 0.891$. Donde se espera que la venta promedio de los siguientes seis meses sea de 17.24 kilogramos.

2.2.2.2 Para el AZUCAR BLANCA VALDEZ GRANULADA, con código P002, se analizó que la serie de datos en el tiempo establecido posee normalidad, donde el promedio de ventas es 25.03 kilogramos. Al omitir los datos nulos de la serie se analizó la existencia de tendencia, y con ayuda de la **Figura 2.5** se definió que no posee. Con respecto a la estacionalidad, usando la prueba de Dickey-Fuller, se comprueba que no presentó estacionalidad.

Se presenta el modelo ajustado para generar pronósticos en la **Figura 2.6**, para lo cual se usó suavizamiento exponencial simple con un valor de $\alpha=0.891$. Donde se espera que la venta promedio de los siguientes seis meses sea de 27.91 kilogramos.

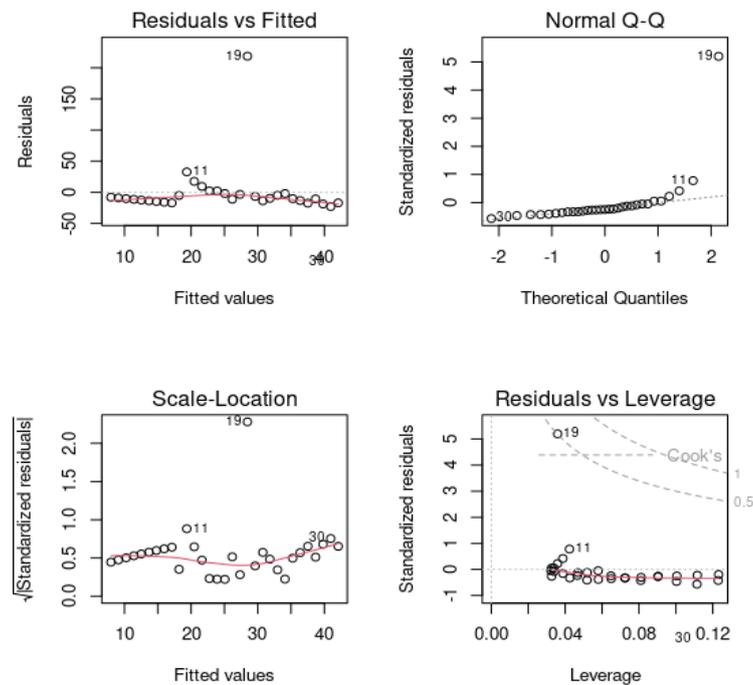


Figura 2.5.-Análisis de características del producto P002. (Murillo & Rodríguez, 2022).

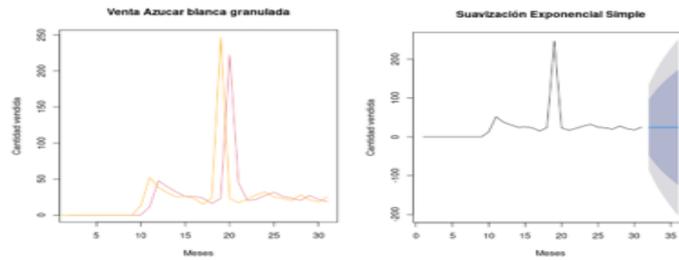


Figura 2.6.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P002 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.3 Para el BALDE DE MANJAR ALNES 4.7 KG, con código P007, posee normalidad, donde el promedio de ventas es 25.03 kilogramos. Se analizó la existencia de tendencia, y con ayuda de la **Figura 2.7** se definió que no posee. Con respecto a la estacionalidad, usando la prueba de Dickey-Fuller, se comprueba que no presentó estacionalidad.

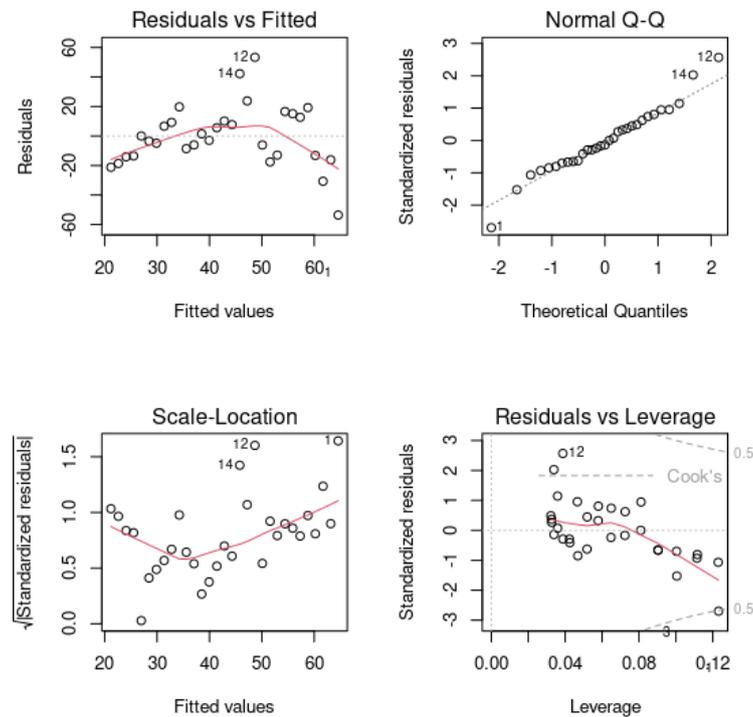


Figura 2.7.- Análisis de características del producto P007 (Murillo & Rodríguez, 2022).

Se analizó que la serie de datos en el tiempo establecido y se pronosticó usando suavizamiento exponencial doble con un comportamiento

descendente, tal como muestra la **Figura 2.8**, los valores de $\text{Alpha} = 0.823$ y $\text{Beta} = 0.317$.

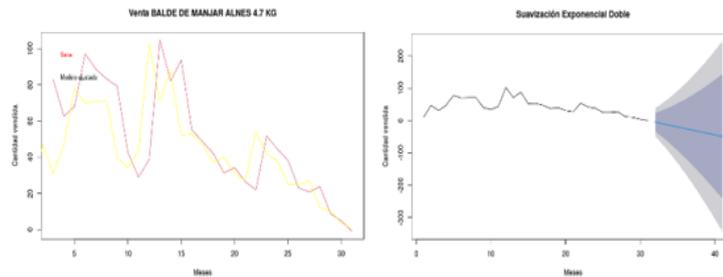


Figura 2.8.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P007 (Murillo & Rodríguez, 2022).

Las ventas que se estiman son bastante bajas, se habla de 4 kilogramos por mes, eso debido a que es uno de los productos que se descatalogarán pronto, pero se continuó vendiendo en menores cantidades.

2.2.2.4 Para el BALDE DE YOGURT ALNES 4.7 KG, con código P008. A pesar de poseer normalidad en los datos, con un promedio de ventas de 57.74 kilogramos y debido a la alta variabilidad este valor no se consideró fiable.

Se analizó la existencia de tendencia, y con ayuda de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se definió que no posee. Con respecto a la estacionalidad, usando la prueba de Dickey-Fuller, se comprueba que si presenta estacionalidad.

Se analizó la serie de datos en el tiempo establecido y se observa, según el comportamiento mostrado en la

, que el producto está en etapa de descatalogarse, por esa razón se vende en menores cantidades. Usando Suavizamiento exponencial doble con valor de $\text{Alpha} = 0.65$ y $\text{Beta} = 0.34$. Los siguientes meses se espera que progresivamente las ventas disminuyan al nivel cero.

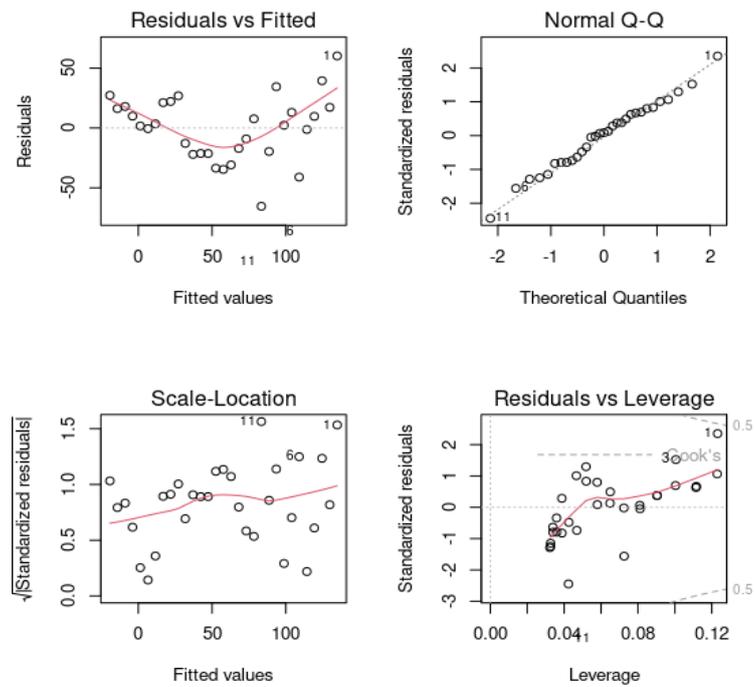


Figura 2.9.-Análisis de características del producto P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)

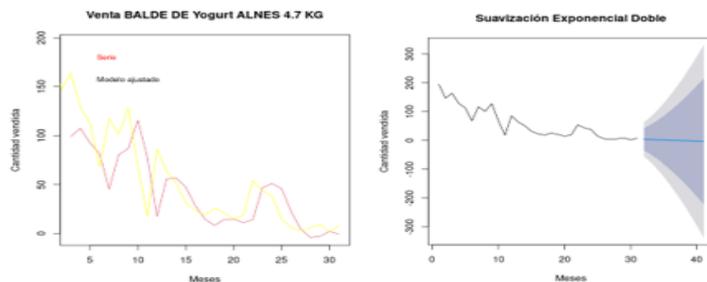


Figura 2.10 Modelo ajustado y pronósticos del producto P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.5 Para el CORDILLERA SUCEDANEO BLANCO 1KG, con código P026, su comportamiento en la **Figura 2.11** demuestra que los datos poseen normalidad, con un promedio de ventas de 16.87 kilogramos y con una variabilidad relativamente baja, se considera analizar características adicionales.

Se comprobó la existencia de tendencia con ayuda de la prueba Durbin-Watson, se definió de forma precisa, que si posee. Con respecto a la

estacionalidad, usando la prueba de Dickey-Fuller, se comprueba que si presenta estacionalidad.

Debido al comportamiento que tiene la serie de tiempo en la **Figura 2.12** se determinó usar Suavizamiento Exponencial doble, con $Alpha = 0.90$ y $Beta = 0.15$.

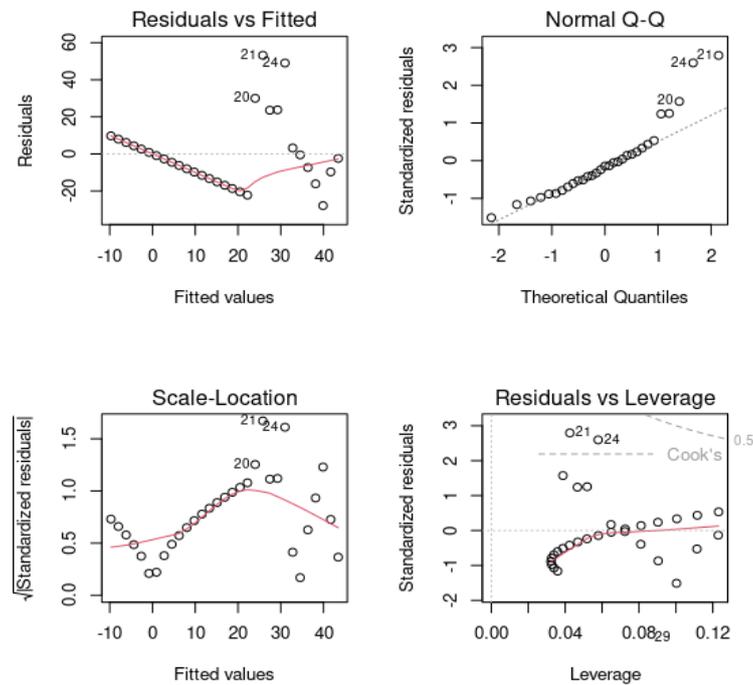


Figura 2.11.-Análisis de características del producto P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)

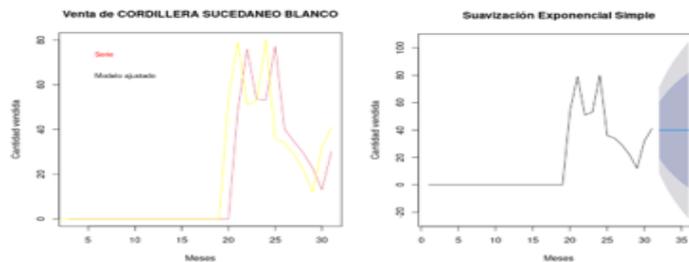


Figura 2.12.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.6 Para el DOY PACK DE LECHE ALNES DE 2 KG, con código P032, tal como lo muestra su comportamiento en la **Figura 2.13** es uno de los pocos productos que mantienen su regularidad en las ventas.

El promedio de ventas en ventas es de 25.42 kilogramos y debido a la poca variabilidad de los datos dicho valor se considera una referencia confiable para futuras ventas.

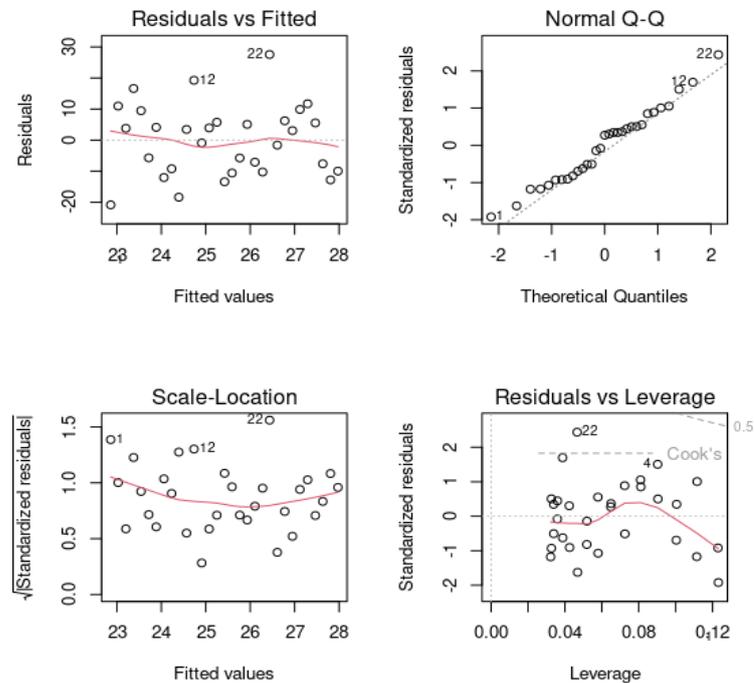


Figura 2.13.-Análisis de características del producto P032 (Murillo & Rodríguez, 2022).

Se realizan varias pruebas para determinar el método de pronósticos. Una de ellas es la prueba de Durbin Watson, que comprueba la falta de tendencia. Y la prueba Dickey-Fuller, con la cual se comprobó que la serie de tiempo no es estacionaria.

Para los pronósticos se usa el método de Suavizamiento Exponencial Doble con $Alpha = 0.75$ y $Beta = 0.90$, ya que con dichos parámetros el modelo muestra en la **Figura 2.14** se ajustó de forma más adecuada a la serie de tiempo.

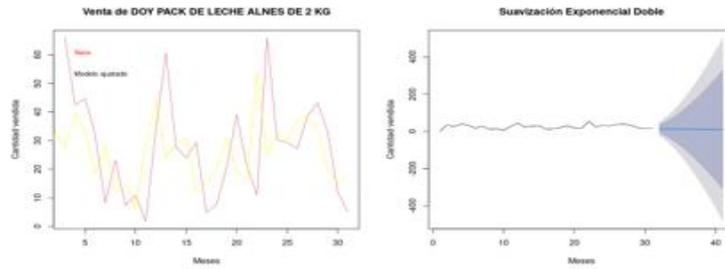


Figura 2.14.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P032 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.7 Para el DULCE DE LECHE REPOSTERO DULACS 4.5KG con código P038, el promedio de ventas es 19.55 kilogramos con poca variabilidad de los datos.

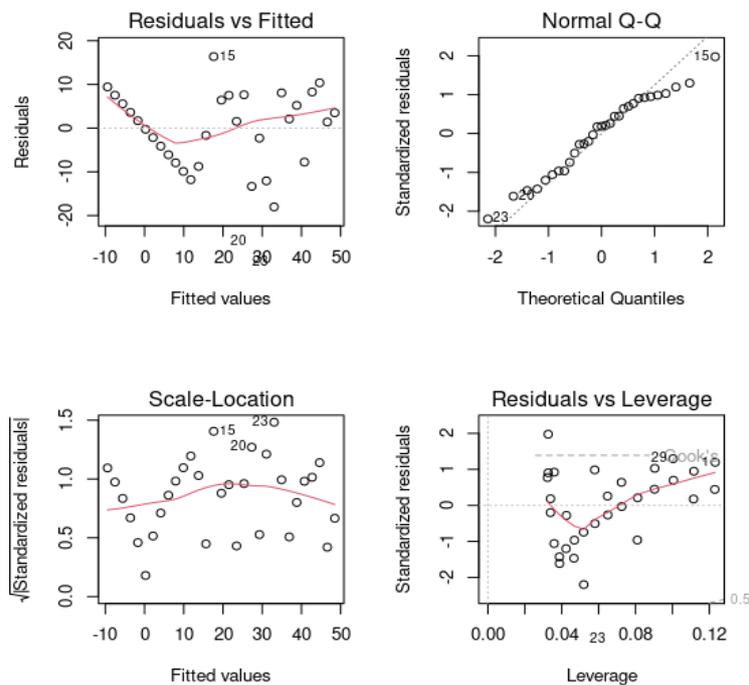


Figura 2.15.-Análisis de características del producto P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Se analizó en la **Figura 2.15** que la serie de datos tratada de forma lineal, sin contar los datos nulos, posee tendencia a través de la prueba de Durwin-Watson. Y con ayuda de la prueba Dickey- Fuller, se comprobó que no posee estacionalidad.

Para los pronósticos se usa el método de Suavizamiento Exponencial Simple con $Alpha = 0.65$, ya que con dichos parámetros el modelo

muestra en la **Figura 2.16** ajustó de forma más adecuada a la serie de tiempo.

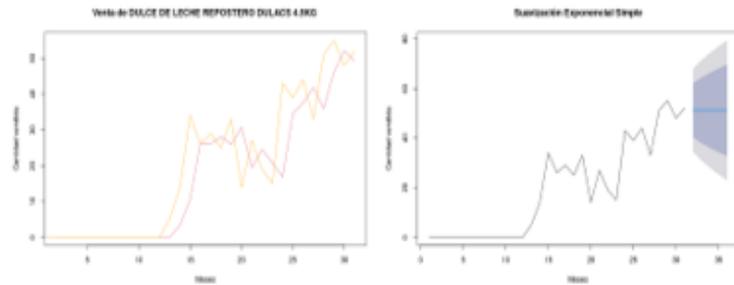


Figura 2.16.- Modelo ajustado y pronósticos del producto P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.8 Para la HARIMAX REPOSTERA, con código P055, el promedio de ventas es 19.58 kilogramos, con una variabilidad sesgada a la izquierda, si se omiten los datos nulos.

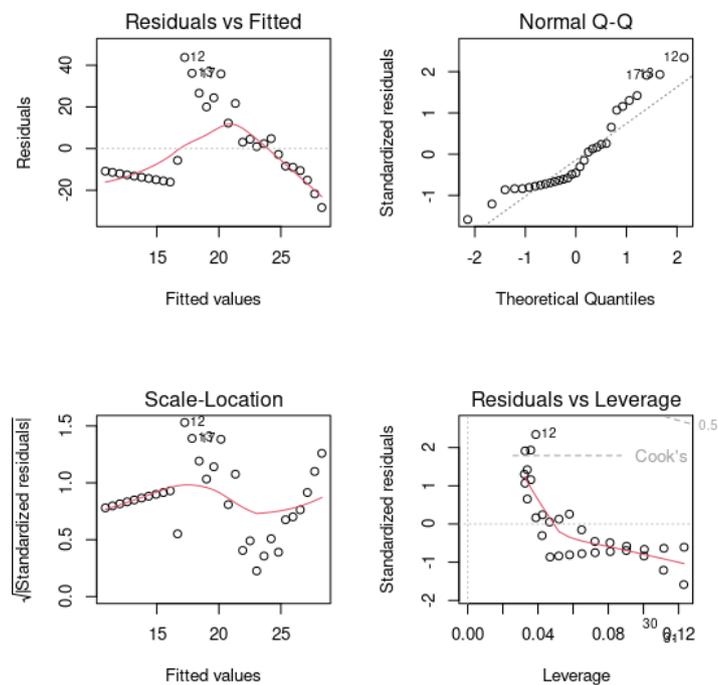


Figura 2.17.- Análisis de características del producto P055 (Murillo & Rodríguez, 2022).

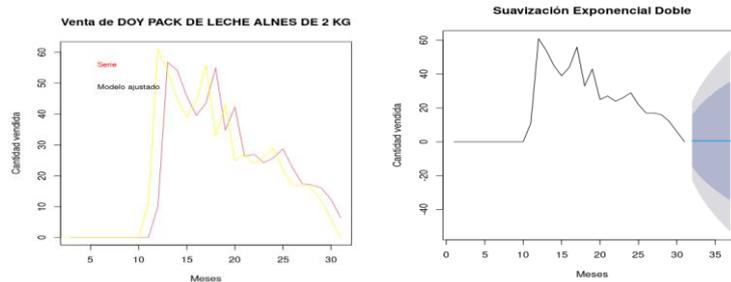


Figura 2.18.- Modelo ajustado y Pronósticos del producto P055 (Murillo & Rodríguez, 2022).

Se analizó que la serie de datos de forma lineal, su comportamiento se observa en la **Figura 2.17** y se determinó que posee tendencia, después se procedió con el suavizamiento no lineal de los datos, y con ayuda de la prueba Dickey-Fuller se comprobó que no posee estacionalidad.

El método seleccionado para realizar pronósticos de este producto fue el Suavizamiento Exponencial simple con el valor $Alpha = 0.92$ con cuyo valor se ajustó al comportamiento tal como se observa en la **Figura 2.18**.

2.2.2.9 Para la MANTEQUILLA SIN SAL DULACS 1 KG, con código P071, el promedio de ventas es 36 kilogramos con una variabilidad normal de los datos, si no se considera los períodos nulos.

En la **Figura 2.19** se observa tendencias a partir de la fecha que inicia la venta como se muestra en el lado izquierdo de la **Figura 2.20**. Luego se realizó el suavizamiento no lineal de los datos, y con ayuda de la prueba Dickey-Fuller se comprobó que no posee estacionalidad.

Se consideró que el método para realizar pronósticos de este producto fue el Suavizamiento Exponencial doble con parámetros $Alpha = 0.87$ y $Beta = 0.09$

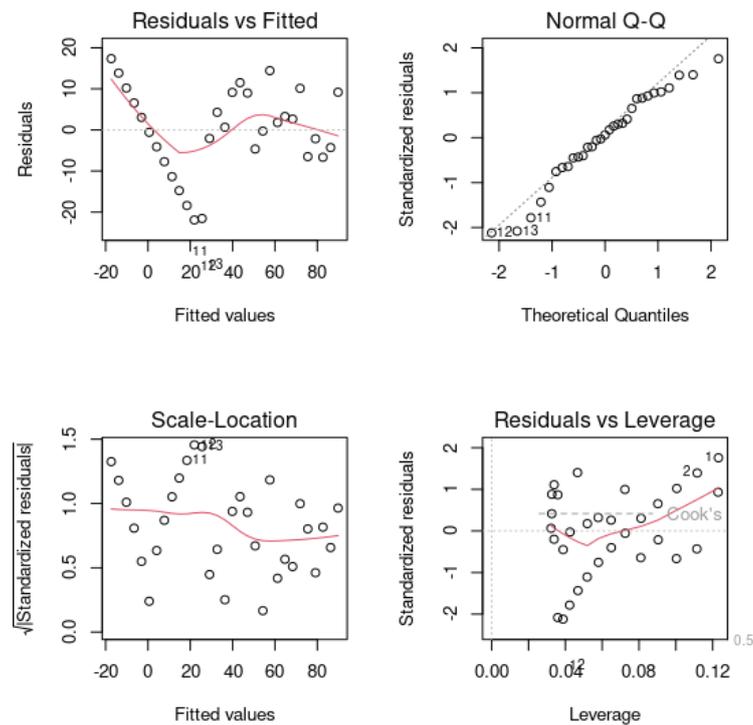


Figura 2.19.- Análisis de características del producto P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)

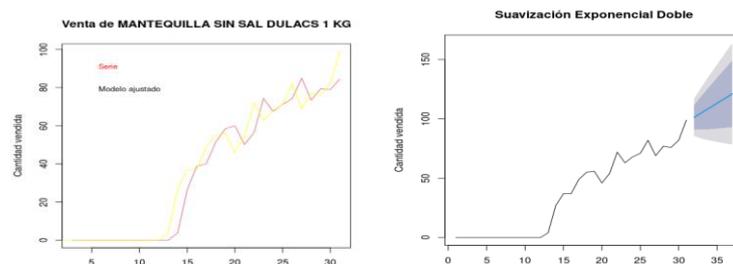


Figura 2.20.-Modelo ajustado y pronósticos producto P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)

2.2.2.10 Para el QUESO CREMA TONI CSAL con código P105, el promedio de ventas es 36.26 kilogramos, con una variabilidad normal de los datos centrada en la tercera parte de los datos cuyos valores son menores a 68.50.

Se analizó que la serie de datos en el tiempo establecido y no presento tendencia. Luego se procedió con el suavizamiento no lineal de los datos, y con ayuda de la prueba Dickey-Fuller se comprobó que no posee estacionalidad. Estas características son observadas en la **Figura 2.21**.

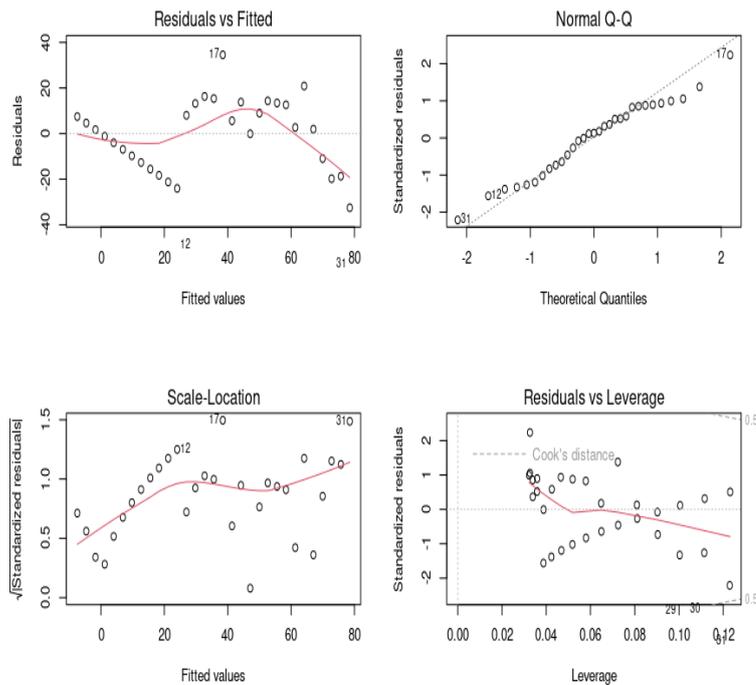


Figura 2.21.-Análisis de características del producto P105 (Murillo & Rodríguez, 2022)

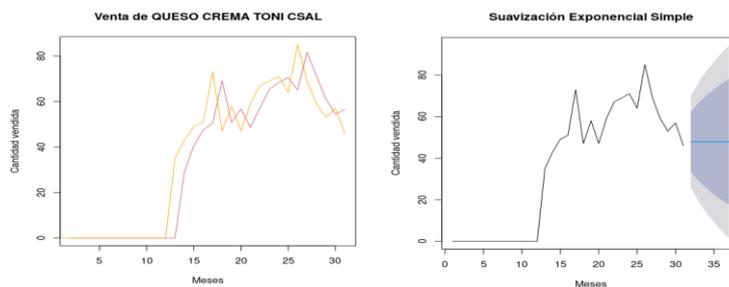


Figura 2.22.- Modelo ajustado para el producto P105. (Murillo & Rodríguez, 2022)

El método seleccionado para realizar pronósticos de este producto fue el Suavizamiento Exponencial Simple con valor $Alpha = 0.83$ y su comportamiento se muestra en la **Figura 2.22**.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo CVRP se lo adapta a la problemática de este documento añadiendo las consideraciones de tiempo, para lo cual la variable vehículos toma el valor 1, ya que la empresa cuenta con un camión de reparto, así mismo para el valor de la bodega.

Tabla 2.2.- Descripción de parámetros (Murillo & Rodríguez, 2022)

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	VARIABLES
V	En esta variable se almacenarán los clientes a visitar de la ruta a optimizar, donde el cliente cero será el centro de distribución y los demás serán los clientes por visitar	V = { cliente 0, cliente 1, cliente 2, cliente 3, cliente 4, cliente 6, cliente 7, cliente 8, cliente 9, cliente 10 }
c_{ij}	Esta variable representa los kilómetros que existe entre los clientes a visitar que se encuentran en el conjunto de clientes.	c_{ij} = kilometros de distancia entre un cliente a los demás clientes. Ejemplo del cliente 1 al cliente 2,3,4,5,6,7,8,9,10 y al cliente 0
x_{ijk}	Es una variable binaria que indica si la ruta entre los diferentes clientes fue tomada por el vehículo	x_{ijk} = {1, si la ruta desde el cliente 1 al cliente 2 es tomada por el vehículo 0, caso contrario
T_{ik}	Es el instante de tiempo en el que el vehículo realiza el servicio al respectivo cliente visitado.	T_{ik} = instante de inicio de servicio del vehículo al cliente i
s_i	Es el tiempo de servicio que se toma para realizar la entrega al cliente. Promedio de recepción de 10 minutos.	s_i = Tiempo de servicio del cliente
t_{ij}	Tiempo de viaje desde un cliente a otro.	t_{ij} = Tiempo en alcanzar el proximo cliente partir del cliente i
$[a_i, b_i]$	Es la restricción de atención horaria del cliente para la recepción de mercadería, caso contrario sería 14:00-19:00 hrs.	$[a_i, b_i]$ = es el lapso de tiempo que ofrece el cliente para la atención

Con respecto a la restricción de capacidad una vez revisado los stocks de la empresa, se consideró que las cantidades a entregar por los pedidos diarios no exceden la capacidad del vehículo por consiguiente esta no será una variable relevante para el planteamiento del problema.

En el caso de los clientes, a nivel administrativo se registran 2012 clientes con un porcentaje de 11.1% clientes inactivos, ya sea por registros duplicados o campos de información repetidos con algún familiar que recibe en el mismo domicilio. Además de ello, se omiten los clientes fuera de la ciudad de Guayaquil, por lo que el porcentaje de los clientes dentro de la ciudad corresponde al 58.6% de los clientes registrados

Tabla 2.3.- Matriz de distancias del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022).

CLIENTES	CD	180	812	2289	1238	1211	1345	1657	780
CD	0	6	6	8	23	8	20	13	13
180	5	0	5	7	30	18	27	15	15
812	6	6	0	13	27	15	25	19	18
2289	8	7	12	0	23	15	21	9	9
1238	19	29	25	23	0	14	4	20	19
1211	12	21	17	17	14	0	11	13	12
1345	18	28	24	22	4	13	0	19	18
1657	14	15	18	10	21	16	18	0	1
780	13	14	18	9	20	15	17	1	0

Dadas las especificaciones del problema, el modelo considerado para el proyecto será el VRPTW donde se incluyeron las variables y limitaciones de la empresa caso de estudio. Para el desarrollo del modelo en el cual se tomó como base la planificación de un día aleatorio de la semana en la cual se visita un promedio de hasta 10 clientes en el horario de 14:00 pm a 19:00pm. Se usó las variables mostradas en la **Tabla 2.2** donde se detalla la nomenclatura, descripción y elementos a considerarse para cada parámetro del modelo antes mencionado.

Para la matriz de distancias con la ayuda de un macro en Visual Basic y la ejecución del *API Distance Matrix* de Bing Maps, la misma que esta enlazada a dicha macro, se calculó las diferentes distancias entre los clientes a quienes se les realizó entregas el miércoles 13 de Julio de la semana 28 del año 2022. En la **Tabla 2.3** se muestra la matriz de distancias y la **Tabla 2.4** muestra matriz de tiempos para la planificación del día antes mencionado, para mayor detalle de los clientes, véase la **Tabla 3.13** en la sección de resultados.

En la sección de resultados se presenta la solución factible, mediante la ejecución de diferentes experimentos. Para definir los parámetros más adecuados para hallar dicha solución, se establecieron cambios en los parámetros, requeridos para el funcionamiento del algoritmo genético.

Tabla 2.4.- Matriz de tiempos de viaje del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	180	812	2289	1238	1211	1345	1657	780
CD	0:00:00	0:11:00	0:09:00	0:14:00	0:28:00	0:15:00	0:24:00	0:23:00	0:21:00
180	0:10:00	0:00:00	0:09:00	0:10:00	0:33:00	0:21:00	0:29:00	0:23:00	0:21:00
812	0:08:00	0:08:00	0:00:00	0:15:00	0:32:00	0:19:00	0:28:00	0:28:00	0:26:00
2289	0:13:00	0:10:00	0:16:00	0:00:00	0:31:00	0:23:00	0:27:00	0:16:00	0:14:00
1238	0:28:00	0:32:00	0:30:00	0:31:00	0:00:00	0:20:00	0:06:00	0:28:00	0:26:00
1211	0:19:00	0:22:00	0:19:00	0:25:00	0:19:00	0:00:00	0:15:00	0:21:00	0:19:00
1345	0:25:00	0:29:00	0:28:00	0:29:00	0:06:00	0:18:00	0:00:00	0:26:00	0:24:00
1657	0:23:00	0:24:00	0:28:00	0:19:00	0:29:00	0:24:00	0:25:00	0:00:00	0:03:00
780	0:22:00	0:21:00	0:27:00	0:16:00	0:28:00	0:23:00	0:24:00	0:03:00	0:00:00

Los primeros parámetros definidos en la **Tabla 2.5** fijan un tamaño de población con un valor de cien, en cuanto el número de iteraciones se estableció el valor de cincuenta. Se decidió que la probabilidad de mutación de una ruta sea del 40% y que la probabilidad de cruzamiento sea del 60%. Y finalmente se determinó la probabilidad de selección con el objetivo de que cada vez que se generen nuevas rutas, producto de la cantidad de iteraciones solicitadas, se selecciona el 80% de las mejores rutas que forman parte de la solución óptima y el 20% restante lo conforman rutas aleatorias que no necesariamente son factibles pero que ayudaran a generar nuevas soluciones tanto factibles como no factibles.

Con respecto a los parámetros de la **Tabla 2.6** se decidió que la probabilidad de mutación, cruzamiento y selección mantienen sus valores. Se fijó un tamaño de población con el valor de doscientos, en cuanto el número de iteraciones se estableció el valor de setenta, valores mayores a los parámetros anteriores.

Y el ultimo cambio, en la **Tabla 2.7** se define un tamaño de población con un valor de cien, en cuanto el número de iteraciones se estableció el valor de ochenta. Se decidió que la probabilidad de mutación de una ruta sea del 70% y que la probabilidad de cruzamiento sea del 30%. Manteniendo la probabilidad de selección en un 80%.

Tabla 2.5.-Parámetros de experimentación A (Murillo & Rodríguez, 2022).

PARÁMETROS	VALOR DEFINIDO
TAMAÑO DE POBLACIÓN	200
NÚMERO DE ITERACIONES	70
PROBABILIDAD DE MUTACIÓN	0.4
PROBABILIDAD DE CRUZAMIENTO	0.6
PROBABILIDAD DE SELECCIÓN	0.8

Tabla 2.6.-Parámetros de experimentación B (Murillo & Rodríguez, 2022).

PARAMETROS	VALOR
TAMAÑO DE POBLACION	100
NUMERO DE ITERCIONES	50
PROBABILIDAD DE MUTAR	0.4
PROBABILIDAD DE CRUZAR	0.6
PROBABILIDAD DE SELECCION	0.8
POSICION INICIAL	0

Tabla 2.7.- Parámetros de experimentación C (Murillo & Rodríguez, 2022).

PARAMETROS	VALOR
TAMAÑO DE POBLACION	100
NUMERO DE ITERCIONES	80
PROBABILIDAD DE MUTAR	0.7
PROBABILIDAD DE CRUZAR	0.3
PROBABILIDAD DE SELECCION	0.8
POSICION INICIAL	0

El usuario puede modificar los parámetros a conveniencia, los anteriores parámetros son opciones recomendadas para el caso de estudio. Una vez que se conoce cuáles son las variables y parámetros considerados para el modelo se determinó las ecuaciones necesarias para el desarrollo del modelo y posterior ejecución del algoritmo:

La función principal del modelo, es decir la función objetivo (2.2.1) pretende minimizar la longitud total recorrida c_{ij} de las rutas tomadas por el vehículo k.

$$2.2.1. \text{ Minimize } \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk}$$

La función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones.

La ecuación (2.2.2) prohíbe que el cliente sea incluido en más de una ruta al momento de realizar las rutas de entrega.

$$2.2.2. \quad s. t. \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V,$$

La ecuación (2.2.3) Limita que el vehículo salga una sola vez del centro de distribución.

$$2.2.3. \quad \sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K,$$

La ecuación (2.2.4) Asegura que el número de arcos o conexiones que entran a un nodo tiene que ser igual al número de arcos o conexiones que salen del mismo.

$$2.2.4. \quad \sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, j \in V,$$

La ecuación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) limita que el vehículo salga una sola vez del centro de distribución.

$$2.2.5. \quad \sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K,$$

La ecuación (2.2.6) Garantiza la existencia de una ruta factible.

$$2.2.6. \quad T_{ik} + s_i + t_{ij} - T_{jk} \leq (1 - x_{ijk}) M_{ij} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A,$$

La ecuación (2.2.7) nos indica que el instante de tiempo en el cual se inicia el servicio de entrega al cliente se encuentra dentro del intervalo de tiempo en el cual el cliente puede recibir producto.

$$2.2.7. \quad a_i \leq T_{ik} \leq b_i \quad \forall k \in K, j \in V,$$

Y finalmente la ecuación (2.2.8) nos asegura que si un vehículo toma o no una ruta al momento de visitar un cliente.

$$2.2.8. \quad x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

2.3. DESARROLLO DEL ALGORITMO

Para el desarrollo del algoritmo genético como primer paso se escribió el pseudo código con el objetivo de tener una idea clara de cómo estará estructurado y diseñado el código interno del programa llegando así a ser más entendible el funcionamiento de este al momento de usar el aplicativo.

Pseudo código

INICIAR /*Algoritmo Genético*/

Generar Población inicial con un mecanismo aleatorizado, esta es la primera generación

Desde $i = 0$ hasta el Número máximo de Iteraciones, donde i representa la generación, realizar los siguientes procesos:

CRUZAMIENTO

- Se toman dos individuos aleatorios de la solución inicial
- Se cruzan los individuos en función de la operación de cruce, según la probabilidad de cruzamiento
- Por cada cruzamiento se generan dos nuevos individuos
- Se verifica la factibilidad de cada uno de estos individuos y se los agrega al final de la generación actual

MUTACIÓN

- Se toman individuos de la generación incluidos los individuos producto del cruce
- Se mutan tantos individuos en base a la probabilidad de mutación
- Los nuevos individuos resultado de la mutación se agregan al final de la generación actual

SELECCIÓN

- Se seleccionan los mejores individuos en función de la probabilidad de selección y beneficio de cada uno de estos que pasaran a formar parte de la nueva generación
- Se completa la nueva generación seleccionando individuos de forma aleatoria de la generación anterior
- Se crea la nueva generación

Se retorna como resultado el mejor individuo el cual se encuentra al inicio de la ***i-ésimo*** generación

FIN

Para cada uno de los diferentes procesos del algoritmo genético se realizaron variaciones en su diseño ya que se lo realizó de tal forma que cumpla con los criterios y solicitudes que el cliente amerita. Se hizo uso de una clase que denominamos AGVRPTW la cual contiene 10 diferentes funciones las cuales soportan a cada uno de los 5 procesos principales que se requieren ejecutar.

Para la función "*GetPosNoRep*" que obtiene una cantidad " n " de posiciones de una solución entre dos valores, asegurando que esta no se repita. La función "*PosMejorMinimos*" da como resultado los k valores mínimos de un vector solución, la cual es crucial en el proceso de selección, ya que solo se toman los mejores individuos para la nueva generación.

La función "*ExtraerCrom*" tiene como objetivo extraer la cantidad de cromosomas de un padre en función de un numero aleatorio generado que se encuentra dentro del rango desde cero hasta el tamaño del individuo y los faltantes para completar

el nuevo individuo son extraídos de una madre de forma tal que estos no sean los mismos que se extrajeron del padre. Dicho comportamiento hace la selección tal como se muestra en la **Figura 2.23**.

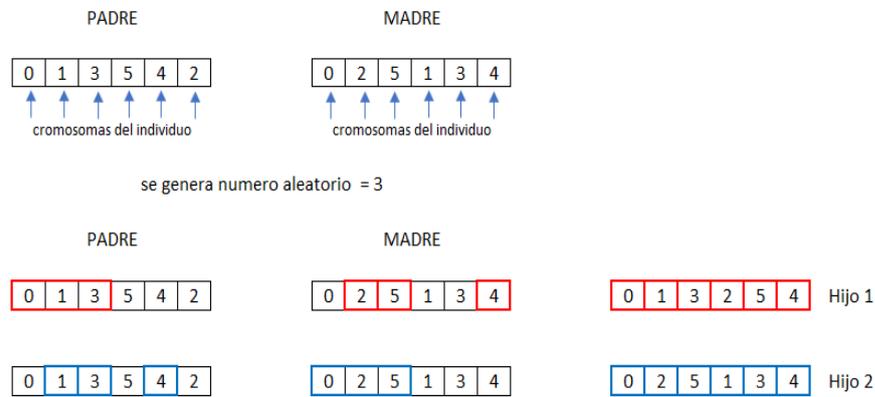


Figura 2.23.-Cruzamiento de individuos (Murillo & Rodríguez, 2022).

La función “Cruzar” toma a la función “ExtraerCrom” como operador de cruce. El proceso genera dos nuevos hijos, los cuales pasan por el proceso de Mutación con ayuda de la función “Mutar”, en la que cada uno de los individuos son perturbados de tal forma que se obtengan hijos mutados que sean soluciones factibles. Posterior a esta verificación se procede a agregar a los hijos producto del cruce y mutación al final de la generación actual.

A continuación, el algoritmo procesa la acción de selección, en el cual escoge los mejores individuos de la generación actual, mismos que deben ser factibles y quienes formarán parte de la nueva generación. Luego de esto se completa el tamaño de la nueva generación seleccionando individuos de la generación actual de manera aleatoria indiferentemente si estos son factibles o no. Como último paso, se repitió el proceso de acuerdo con la cantidad de interacciones máximas establecidas como parámetro de entrada. Y una vez terminada la ejecución de las iteraciones se retorna como solución el primer individuo de la *i-ésimo* generación que representa la solución más factible del problema planteado.

2.4. PROTOTIPO DE LA INTERFAZ

El usuario, quien este encargado de la asignación de rutas debe cargar en la interfaz, un archivo Excel que cuenta con un macro realizado en Visual Basic, para facilitar su uso. En el archivo se deben ingresar las ubicaciones de los clientes que

realizan pedidos con fecha de entrega de ese día y sus respectivas ventanas de tiempo.



Figura 2.24.-Prototipo ventana inicial (Murillo & Rodríguez, 2022).

El usuario accede y carga la información al archivo de Excel, lo cual se muestra en la interfaz mostrada en la **Figura 2.24**. Además, el usuario cuenta con la opción de editar las probabilidades de mutación. Se genera la matriz de distancias entre los clientes, lo que facilita crear una solución inicial y esta misma se va mejorando con la ejecución del algoritmo genético.



Figura 2.25.- Prototipo ventana final (Murillo & Rodríguez, 2022)

Finalmente, la **Figura 2.25** recrea como se verá la interfaz y los resultados de la ejecución. Muestra en la sección izquierda, la lista de clientes a visitar y el orden en que se realizará la entrega. Y en la sección derecha, muestra un mapa señalando la ruta que el conductor debe seguir con la finalidad de entregar todos los productos dentro del tiempo establecido.

2.5. USO DE SOFTWARE

MS EXCEL

El tratamiento de los datos, previo a su estudio estadístico, con la ayuda de esta herramienta fue crucial para comprender correctamente el volumen de los datos

que la empresa maneja. Además de ello, se realizó un macro como entregable para que el usuario de la empresa ingrese las ubicaciones de sus clientes en un software bastante accesible al público y con la ayuda de este se calcula la matriz de distancias entre los clientes la cual es parte crucial para la ejecución del algoritmo, además de lo mencionado en este archivo se contienen los diferentes parámetros para el funcionamiento del aplicativo tales como las probabilidades de cruzamiento, mutación y selección así como el tamaño de la población y la cantidad de iteraciones a realizarse a fin de encontrar soluciones lo más óptimas posible.

R STUDIO

El estudio estadístico de los datos es clave para la toma de decisiones en función de los productos. El abastecimiento correcto de los ítems afecta a las actividades futuras de la organización por ello. Con ayuda de este programa científico la planificación de la demanda es una tarea poco complicada de realizar.

PHYTON

Para la implementación de nuestro aplicativo nos basamos en el uso de este lenguaje que es muy conocido actualmente por su versatilidad de usos, en este lenguaje se implementó cada uno de los pasos a seguir para la construcción del algoritmo genético enfocado al problema del VRPTW. Gracias a las diferentes librerías que contiene este lenguaje de programación se facilitó el diseño de la interfaz a utilizarse y la estructura que tiene cada una de las funciones que se presentan en el algoritmo, en conjunto mediante el uso de clases y funciones se dividió cada una de las diferentes etapas que implican el uso de este algoritmo lo cual facilitó la codificación y entendimiento que cumplen cada una de las funciones a utilizarse en la ejecución del aplicativo

VISUAL BASIC

Al construir la matriz de distancias la cual es una parte esencial para el funcionamiento del aplicativo, se incurrió en el uso de visual Basic para la creación de una macro que sea capaz de generar las diferentes distancias que hay entre cada localización de los clientes donde se vaya a hacer la distribución con el objetivo de que el usuario únicamente tenga presionar un botón en el archivo Excel

para obtener esta matriz sin necesidad de hacerlo uno a uno. Para que esto sea posible se hizo una conexión de la macro con el sitio de Bing Maps que es un sitio web de mapas en donde se calcula la distancia entre cada sitio mediante el uso de un API de libre uso que ofrece la misma.

2.6. EFICIENCIA DE LA SOLUCIÓN

Para medir la eficiencia del algoritmo, se tomarán en cuenta las siguientes medidas de calidad de la solución, los cuales son: precisión, velocidad y robustez

Se establece la forma en que estas medidas son tomadas en la investigación. Para medir precisión se realizó un estudio comparativo con las soluciones que establece la empresa con el método tradicional de ruteo versus las soluciones que arroja el algoritmo, para lo cual se tomara en cuenta planificaciones anteriores y las ventanas de tiempo que indicaron los clientes en la que se hizo la distribución.

Para la velocidad del algoritmo, se registra el tiempo total de ejecución, incluyendo la carga, procesamiento y visualización de los resultados. Y para determinar la robustez, se realizan experimentos para varias semanas de planificación de rutas, en un día específico.

Los datos que se consideraran para comprobar la mejora a implementar se tomaron en el intervalo de tiempo comprendido desde el 11 al 30 de Julio del año 2022, es decir la semana 28 hasta la semana 30. Se realizarán experimentos con semillas aleatorias, cambios en el número de iteraciones y variación de probabilidad de mutación y cruzamiento, y se mantendrá constante la probabilidad de selección.

2.7. CONSIDERACIONES LEGALES Y ÉTICAS

Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos relacionados a distintos niveles de la operación para un buen desarrollo empresarial. A nivel sectorial, se busca moderar los precios de los diferentes productos que se manejan en el mercado, ofreciendo un precio atractivo y accesible a los clientes y a su vez evitar alzas innecesarias debido a escasez o sobreproducción.

Al considerar los gastos adicionales correspondientes al control de los productos inventariados se implementará una correcta gestión de inventario y planificación del abastecimiento que evitará la estadía prolongada de productos que tienen un corto tiempo de vida útil, impidiendo así, que estos productos puedan afectar la salud del consumidor y la conformidad de este.

En lo que corresponde a la seguridad y bienestar, el uso del aplicativo a desarrollar

en el proyecto, tiende a la generación de las rutas óptimas , las cuales cuentan con mayor seguridad y que esperan reducir el tiempo en carretera, por ende la distribución de los productos se realizaría con una planificación que minimiza riesgos asociados a la conducción, que son directamente proporcionales al tiempo en el que los vehículos de transporte se encuentran en movimiento, y de esta forma se crea confianza y se brinda bienestar a los conductores al momento de realizar el trabajo en sus vehículos.

2.8. FASES DEL PROYECTO

Para la primera fase, a través de las entrevistas semiestructuradas enfocadas en el problema, el personal involucrado en la operación detalló las condiciones actuales del funcionamiento de las operaciones en cada área. Al no corroborarse el uso de indicadores operacionales o administrativos, se solicitó información para realizar un análisis de los datos existentes sobre los productos en inventario.

Para la segunda fase, el área administrativa facilitó la información de ventas del período comprendido entre julio del 2019 a diciembre del 2021. La base de datos de productos es bastante extensa, por lo cual se recomendó hacer una clasificación ABC de las mejores ventas durante cada año, para analizar la demanda de los productos y crear pronósticos de la demanda futura considerando las condiciones previas de la pandemia y una salida de la recesión que actualmente se vive en el país.

Para la tercera fase mediante revisión de la literatura se determinó las características básicas del modelo a realizar y que algoritmo basado en metaheurísticas responde mejor a las necesidades del cliente. El modelo básico CVRP se modificó para adaptarlo al caso de estudio, esto, considerando capacidad ilimitada y adicionando restricciones con ventanas de tiempo, todo esto como guía para el desarrollo del pseudocódigo. Posteriormente se requiere que el algoritmo, que es la herramienta principal para hallar la solución a nuestra problemática realice constantes mejoras en un tiempo computacional pequeño para entregar una buena solución al usuario, por ello se escoge usar el algoritmo genético.

Y finalmente la cuarta fase, se centró en el desarrollo de una interfaz de fácil uso y comprensión de la información que se desea presentar al usuario. Para lo cual, la herramienta elegida fue Microsoft Visual Basic. Dicha herramienta permite ingresar

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Previo a la presentación de los entregables a la empresa, se comparó cada herramienta cualitativa que presentó resultados representativos para darle solución a la problemática estudiada. La efectividad de los pronósticos debe hacer frente a una demanda que está en constante cambio. La rapidez de la ejecución del algoritmo al momento de presentar los resultados al usuario. Cada herramienta se analizó con el objetivo de que cada una de ellas sean útiles a largo plazo.

La ejecución del algoritmo se llevó a cabo en un computador HP 14-r0071a, Intel(R) Core (TM) i3-3217U CPU de tercera generación con un procesador x64 con una velocidad de 1.80 GHz y, cuenta con capacidad RAM 8.00 GB (7.90 GB usable).

3.1 VALIDACIÓN DE PRONÓSTICOS

Para los productos enlistados se comprobó si el pronóstico realizado representa realmente el comportamiento de las futuras ventas y la precisión con respecto a las mismas. Se modificó la data utilizada previamente en la sección 2.2.2 *Análisis de la información levantada: Situación actual*, eliminando los registros de ventas, la **Tabla 3.1** indica los valores a comparar. Se procesa la información con la misma técnica de pronóstico evaluada y mediante el porcentaje de los errores se determinó la validez de dichos pronósticos.

Tabla 3.1.- Ventas reales del último trimestre 2021 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Productos	Oct 2021	Nov 2021	Dic 2021
P001	13	20	17
P002	21	18	25
P008	9	2	8
P007	10	4	0
P026	12	32	41
P032	20	15	18
P038	55	48	52
P055	12	6	0
P071	76	82	99
P105	53	57	46

El tipo de error más común a evaluar corresponde a la media promedio de los errores en valor absoluto conocido como *MAPE*, la cual se requirió en algunos casos en los que el comportamiento de los datos era normal. En el caso de

productos que dentro del período analizado tienen ventas inusuales se consideró usar otro error que en el análisis correspondiente al error medio absoluto *MAE*, el cual realiza la suma de los errores absolutos y las ventas, una vez que los divide, dicho valor en porcentaje se atribuye como una medida de precisión.

3.1.1 PRODUCTO P001

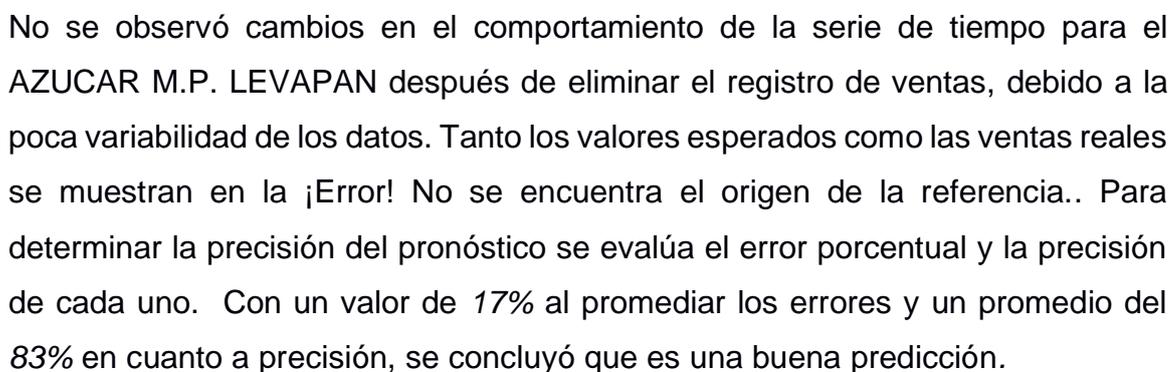
No se observó cambios en el comportamiento de la serie de tiempo para el AZUCAR M.P. LEVAPAN después de eliminar el registro de ventas, debido a la poca variabilidad de los datos. Tanto los valores esperados como las ventas reales se muestran en la . Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 17% al promediar los errores y un promedio del 83% en cuanto a precisión, se concluyó que es una buena predicción.

Tabla 3.2.-Forecast Accuracy P001 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	13	17.51482	4.51482	35%	65%
Nov-21	20	17.51482	2.48518	12%	88%
Dic 2021	17	17.51482	0.51482	3%	97%

3.1.2 PRODUCTO P002

No se observó cambios en el comportamiento de la serie de tiempo después de eliminar el registro de ventas, debido a la poca variabilidad que presenta el AZUCAR BLANCA VALDEZ GRANULADA. Tanto los valores reales como los esperados se muestran en la **Tabla 3.3**. Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 30% al promediar los errores y un promedio del 70% en cuanto a precisión, se concluyó que es una buena predicción.

Tabla 3.3.- Forecast Accuracy P002 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	21	27.16715	6.16715	29%	71%
Nov-21	18	27.16715	9.16715	51%	49%
Dic 2021	25	27.16715	2.16715	9%	91%

3.1.3 PRODUCTO P007

La poca variabilidad que presenta el BALDE DE MANJAR ALNES 4.7 KG se manifiesta en la conservación de los parámetros para el método de pronósticos seleccionado, previo a la eliminación de los registros de ventas. Al ser un producto en proceso de descatalogación, la trayectoria descendiente de valores tanto actuales como futuros se observan en la **Tabla 3.4**.

Para determinar la precisión del pronóstico se recomendó el uso del error absoluto medio, ya que el porcentaje del error y precisión no se pueden calcular a causa de los valores nulos observados. Se procede a calcular el MAE con un valor del 24% se considera una buena predicción.

Tabla 3.4.- Forecast Accuracy P007 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	10	8.796175	1.203825	12%	88%
Nov-21	4	3.528456	0.471544	12%	88%
Dic 2021	0	0	0	100%	100%

3.1.4 PRODUCTO P008

Al eliminar el registro de ventas, el modelo varía un poco, el promedio de ventas aumenta a 63.25 kilogramos y los parámetros para el suavizamiento exponencial doble cambian $Alpha = 0.70$ y $Beta = 0.80$. Los valores esperados para el BALDE DE YOGURT ALNES 4.7 KG se muestran en la **Tabla 3.5**. Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 72% al promediar los errores y un promedio del 28% en cuanto a precisión, se concluyó que no representa una buena predicción.

Tabla 3.5.- Forecast Accuracy P008 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	9	1.088868	7.911132	88%	12%
Nov-21	2	1.136503	0.863497	43%	57%
Dic 2021	8	1.184138	6.815862	85%	15%

3.1.5 PRODUCTO P026

La variabilidad que presenta el CORDILLERA SUCEDANEO BLANCO 1KG, manifestó cambios en los parámetros $Alpha = 0.98$ y $Beta = 0.02$ al eliminar los

registros de ventas. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.6**. Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 53% al promediar los errores y un promedio del 47% en cuanto a precisión, se concluyó que es una predicción regular.

Tabla 3.6.- Forecast Accuracy P026 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	9	22.44053	10.44053	87%	13%
Nov-21	2	22.73006	9.26994	29%	71%
Dic 2021	8	23.01958	17.98042	44%	56%

3.1.6 PRODUCTO P032

El DOY PACK DE LECHE ALNES DE 2 KG, a pesar de la baja variabilidad, se realizaron ajustes en los parámetros $Alpha = 0.85$ y $Beta = 0.95$ para ajustar correctamente el modelo. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.7**. Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 47% al promediar los errores y un promedio del 53% en cuanto a precisión, se concluyó que es una predicción regular.

Tabla 3.7.- Forecast Accuracy P032 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	20	30.10211	10.10211	51%	49%
Nov-21	15	25.69737	10.69737	71%	29%
Dic 2021	18	21.29263	3.29263	18%	82%

3.1.7 PRODUCTO P038

El DULCE DE LECHE REPOSTERO DULACS 4.5KG, no requiere ajuste de parámetros para ajustarse al modelo sigue usando $Alpha = 0.65$. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.8**.

Tabla 3.8.- Forecast Accuracy P038 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	55	45.81292	9.18708	17%	83%
Nov-21	48	45.81292	2.18708	5%	95%
Dic 2021	52	45.81292	6.18708	12%	88%

Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 11% al promediar los errores y un promedio del 89% en cuanto a precisión, se concluyó que es una predicción realmente buena.

3.1.8 PRODUCTO P055

La HARIMAX REPOSTERA, a pesar de la baja variabilidad, se realizaron ajustes en los parámetros $Alpha = 0.89$ para ajustar correctamente el modelo. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.9**.

Para determinar la precisión del pronóstico se recomendó el uso la desviación media absoluta, ya que el porcentaje del error y precisión no se pueden calcular directamente a causa de los valores nulos observados consecuencia de la descatalogación del producto. Se procede a calcular el MAD con un valor del 63% se considera una predicción regular.

Tabla 3.9.- Forecast Accuracy P055 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	12	16.1116	4.1116	34%	66%
Nov-21	6	16.1116	10.1116	169%	-69%
Dic 2021	0	0	0	100%	100%

3.1.9 PRODUCTO P071

La MANTEQUILLA SIN SAL DULACS 1 KG, a pesar de la baja variabilidad, se realizaron ajustes en los parámetros $Alpha = 0.87$ y $Beta = 0.08$ para ajustar correctamente el modelo. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.10**. Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor de 6% al promediar los errores y un promedio del 94% en cuanto a precisión, se concluyó que es una predicción realmente buena.

Tabla 3.10.- Forecast Accuracy P071 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	76	79.39707	3.39707	4%	96%
Nov-21	82	82.22877	0.22877	0%	100%
Dic 2021	99	85.06046	13.93954	14%	86%

3.1.10 PRODUCTO P105

El QUESO CREMA TONI CON SAL, a pesar de la baja variabilidad, se realizaron ajustes en los parámetros $\alpha = 0.81$ para ajustar correctamente el modelo. Tanto los valores esperados y reales se muestran en la **Tabla 3.11**.

Tabla 3.11.- Forecast Accuracy P105 (Murillo & Rodríguez, 2022)

Meses	Venta	Pronóstico	Absolute Error	%Error	Precisión
Oct-21	53	61.31839	8.31839	16%	84%
Nov-21	57	61.31839	4.31839	8%	92%
Dic 2021	46	61.31839	15.31839	33%	67%

Para determinar la precisión del pronóstico se evalúa el error porcentual y la precisión de cada uno. Con un valor del 19% al promediar los errores y un promedio del 81% en cuanto a precisión, se concluyó que es una predicción buena.

3.2 RESULTADOS DE EXPERIMENTACIÓN

Para mostrar la eficiencia del algoritmo se tomaron las planificaciones de los días 13,16,27 y 30 de Julio del 2022 que coinciden con los miércoles y sábados de la semana 28 y 30 respectivamente. La **Tabla 3.12** muestra la dirección de la bodega en la que se almacenan los productos a distribuir.

Tabla 3.12.-Dirección de la bodega de la empresa (Murillo & Rodríguez, 2022).

#	CENTRO DE DISTRIBUCIÓN	LATITUD	LONGITUD
0	Samanes7, cerca de la Fundación Hombre Doliente	2.113732	79.910107

Para mostrar las mejores soluciones se decidió usar la **Tabla 2.6.-Parámetros de experimentación B**. Ya que al realizar los experimentos se observó que con esos valores predeterminados se propone mejores soluciones en un tiempo computacional pequeño para cada uno de los días analizados.

3.2.1 PRIMER EXPERIMENTO

Día 13 de Julio del 2022. Se registró la lista de clientes del día, con su respectivo orden de visita en la planificación realizada por la empresa, véase en la **Tabla 3.13**. Las distancias entre los clientes se detallan en la **Tabla 2.3.-** Matriz de distancias del primer experimento. y la **Tabla 2.4.-** Matriz de tiempos de viaje del

primer experimento los tiempos correspondientes entre clientes.- Matriz de distancias del primer experimento .

Tabla 3.13.- Clientes del primer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

#	LAT.	LONG.	CO D	CED/RU C	DIRECCION	LIM. INF	LIM. SUP	TIEMPO SERVICIO
1	- 2.0989 15	- 79.933 205	18 0	131449 6678	BASTION POPULAR BLOQUE 1B	14:00 :00	18:00: 00	0:15:00
2	- 2.0675 7	- 79.927 816	81 2	958378 705	PASCUALES AV. FLAVIO ALFARO Y MONTECRIS	14:00 :00	18:00: 00	0:15:00
3	- 2.1567 62	- 79.934 784	22 89	956678 551	MAPASINGUE ESTE, AV.4TA	14:45 :00	15:30: 00	0:15:00
4	- 2.1689 91	- 79.802 793	12 38	908016 470	DURAN, RECREO 5TA ETAPA MZ.516 VILLA 30	15:30 :00	16:30: 00	0:20:00
5	- 2.1306 42	- 79.867 758	12 11	922484 316	KM 2.5 VIA SAMBORONDON COND	14:00 :00	18:00: 00	0:20:00
6	- 2.1885 82	- 79.816 404	13 45	906183 546	DURAN, CDLA PANORAMA	14:00 :00	18:00: 00	0:15:00
7	- 2.2121 36	- 79.906 012	16 57	801433 715	DOMINGO SAVIO #815 Y ABEL CASTILLO	14:00 :00	18:00: 00	0:15:00
8	- 2.2047 34	- 79.905 278	78 0	930065 768	PORTETE Y GALLEGOS LARA	14:00 :00	18:00: 00	0:15:00

Posterior a la ejecución del algoritmo, se obtuvo que la distancia total recorrida ideal es de *74 km* con un tiempo recorrido en carretera de *250 min*, la respuesta tardó *7m06s*, un tiempo computacional relativamente pequeño. Y el orden de visita de los clientes se describe en la **Tabla 3.14**.

Tabla 3.14.- Ruta óptima para el experimento uno (Murillo & Rodríguez, 2022)

ORDEN	CLIENTE
0	CD
2	812
1	180
3	2289
7	1657
8	780
4	1238
6	1345
5	1211

3.2.2 SEGUNDO EXPERIMENTO

Día 16 de Julio del 2022. Se registró la lista de clientes del día, con su respectivo orden de visita en la planificación realizada por la empresa, véase en la **Tabla 3.15.**

A pesar de ser sábado debido a que el horario de entregas se mantiene, no hay mayores restricciones en cuanto a ventanas de tiempo para la entrega.

Tabla 3.15.- Clientes del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

#	LAT.	LONG.	COD	CED./RUC	DIRECCION	LIM. INF	LIM. SUP	TIEMPO SERVICIO
1	-2.102822	-79.991674	1235	930749155	COOP.SERGIO TORAL 2 MZ.4868 SOLAR 23	14:00:00	18:00:00	0:20:00
2	-2.058214	-79.87064	945	918533670	CDLA FUENTES DEL RIO MZ 12 VILLA 8	14:45:00	15:30:00	0:15:00
3	-2.194729	-79.888765	301	924162530	SUCRE Y 6 DE MARZO	15:30:00	16:30:00	0:20:00
4	-2.123628	-79.889867	2158	916344013	SAUCES 5 MZ. 227 V. 19 PAI DE SAUCES 5	14:00:00	18:00:00	0:15:00
5	-2.135108	-79.904198	524	918281916	ABORADA 8VA ET. MZ.849 VILLA 7A	14:00:00	18:00:00	0:15:00
6	-2.0503	-79.913118	1059	924980576	URB.LA JOYA ETAPA PERLA MZ. 1 VILLA 21	14:00:00	18:00:00	0:15:00
7	-2.191968	-79.894251	692	2.1917E+12	EL ORO ENTRE LOS RIOS Y ESMERALDAS	14:00:00	18:00:00	0:15:00
8	-2.193215	-79.888438	720	9.1729E+11	6 DE MARZO 812 Y AGUIRRE	14:00:00	18:00:00	0:15:00

Una vez que se definen los clientes del día se procede a cargar la información de las ubicaciones, para determinar en la **Tabla 3.16** y **Tabla 3.17**, las distancias y tiempos correspondientes a los clientes.

Tabla 3.16.- Matriz de distancias del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	1235	945	301	2158	524	1059	692	720
CD	0	16	16	11	3	3	8	10	11
1235	12	0	25	19	23	16	18	18	19
945	17	23	0	22	15	20	11	22	22
301	11	20	18	0	10	9	18	2	1
2158	5	16	12	10	0	3	12	9	10

524	4	14	13	9	3	0	11	8	8
1059	11	17	8	22	16	14	0	23	22
692	11	19	18	1	10	8	17	0	1
720	11	20	18	0	10	9	18	2	0

Tabla 3.17.- Matriz de tiempos de viaje del segundo experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	1235	945	301	2158	524	1059	692	720
CD	0:00:00	0:25:00	0:17:00	0:19:00	0:09:00	0:06:00	0:10:00	0:17:00	0:18:00
1235	0:28:00	0:00:00	0:35:00	0:35:00	0:32:00	0:32:00	0:28:00	0:33:00	0:34:00
945	0:20:00	0:32:00	0:00:00	0:29:00	0:20:00	0:22:00	0:13:00	0:29:00	0:29:00
301	0:18:00	0:35:00	0:24:00	0:00:00	0:16:00	0:15:00	0:22:00	0:04:00	0:01:00
2158	0:09:00	0:32:00	0:15:00	0:16:00	0:00:00	0:06:00	0:14:00	0:16:00	0:16:00
524	0:08:00	0:28:00	0:19:00	0:16:00	0:08:00	0:00:00	0:14:00	0:15:00	0:16:00
1059	0:15:00	0:26:00	0:08:00	0:26:00	0:17:00	0:17:00	0:00:00	0:26:00	0:26:00
692	0:17:00	0:34:00	0:24:00	0:02:00	0:16:00	0:14:00	0:21:00	0:00:00	0:02:00
720	0:18:00	0:35:00	0:24:00	0:01:00	0:16:00	0:14:00	0:22:00	0:04:00	0:00:00

Al ejecutar el algoritmo se calculó que la distancia total recorrida óptima son 82 Km con un tiempo de viaje de 249 min, dicha respuesta se obtuvo en un tiempo computacional de respuesta de 1m 08s por parte del aplicativo. Y el orden en que los clientes deben ser visitados se detalla en la **Tabla 3.18**.

Tabla 3.18.- Ruta óptima para el experimento dos (Murillo & Rodríguez, 2022)

ORDEN	CLIENTE
0	CD
6	1059
2	945
4	2158
3	301
8	720
7	692
5	524
1	1235

3.2.3 TERCER EXPERIMENTO

Día 27 de Julio del 2022. Se registró la lista de clientes del día, con su respectivo orden de visita en la planificación realizada por la empresa, véase en **Tabla 3.19**.

Tabla 3.19.- Clientes del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

#	LAT.	LONG.	CO D.	CED. /RUC	DIRECCIÓN	LIM. INF	LIM. SUP	TIEMPO SERVICIO
1	- 2.1284 17	- 79.8921 2	205 7	900139 320	SAUCES 3 MZ. 153 V. 32	14:00: 00	18:00: 00	0:15:00
2	- 2.1146 11	- 79.9033 82	233 8	926596 214	SAMANES 1 MZ 133 VILLA 103	14:00: 00	18:00: 00	0:15:00
3	- 2.2161 37	- 79.9249 28	69	604006 791	VICENTE DE PAUL LOCAL 64	14:45: 00	15:30: 00	0:15:00
4	- 2.1756 06	- 79.8824 42	215 4	924663 347	CDLA. ATARAZANA MZ. L3 SL. 24	15:15: 00	16:30: 00	0:15:00
5	- 2.0943 83	- 79.9257 62	162 5	951594 795	BASTION POPULAR BLOQUE 3 MZ. 845	14:00: 00	18:00: 00	0:15:00
6	- 2.0960 69	- 79.9519 65	168 1	917263 642	CUMBRES DEL SOL MZ.52 V.23	14:00: 00	18:00: 00	0:15:00
7	- 2.0710 71	- 79.9265 79	95	920114 345	MERCADO DE PASCUALES LOCAL # 36	14:00: 00	18:00: 00	0:15:00
8	- 2.2000 51	- 79.9087 74	115 0	915395 792	11AVA #907 CALICUCHIMA Y MALDONADO	14:00: 00	18:00: 00	0:20:00

Una vez que se definen los clientes del día se procede a cargar la información de las ubicaciones, para determinar en la **Tabla 3.20** y **Tabla 3.21**, las distancias y tiempos correspondientes a los clientes.

Tabla 3.20.- Matriz de distancias del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	2057	2338	69	2154	1625	1681	95	1150
CD	0	5	2	16	10	5	10	6	13
2057	5	0	4	15	8	9	17	14	12
2338	2	4	0	14	10	5	11	7	12
69	17	16	16	0	10	17	23	22	4
2154	10	7	9	9	0	14	21	15	6
1625	5	9	6	17	14	0	6	5	15
1681	11	18	12	18	16	5	0	8	16
95	6	10	7	22	15	4	5	0	18
1150	13	12	13	4	6	14	19	18	0

Tabla 3.21.- Matriz de tiempos de viaje del tercer experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	2057	2338	69	2154	1625	1681	95	1150
CD	0:00:00	0:11:00	0:05:00	0:26:00	0:16:00	0:11:00	0:17:00	0:10:00	0:22:00

2057	0:10:00	0:00:00	0:07:00	0:27:00	0:13:00	0:16:00	0:22:00	0:15:00	0:21:00
2338	0:05:00	0:08:00	0:00:00	0:26:00	0:16:00	0:11:00	0:18:00	0:10:00	0:22:00
69	0:26:00	0:25:00	0:27:00	0:00:00	0:17:00	0:26:00	0:31:00	0:26:00	0:08:00
2154	0:16:00	0:12:00	0:15:00	0:18:00	0:00:00	0:22:00	0:28:00	0:21:00	0:11:00
1625	0:10:00	0:17:00	0:12:00	0:26:00	0:22:00	0:00:00	0:15:00	0:10:00	0:23:00
1681	0:21:00	0:25:00	0:23:00	0:26:00	0:27:00	0:16:00	0:00:00	0:16:00	0:26:00
95	0:08:00	0:15:00	0:09:00	0:25:00	0:20:00	0:09:00	0:12:00	0:00:00	0:23:00
1150	0:22:00	0:19:00	0:20:00	0:09:00	0:11:00	0:23:00	0:30:00	0:24:00	0:00:00

Posterior a la ejecución del algoritmo, se obtuvo que la distancia total recorrida ideal es de 62 km con un tiempo de viaje total recorrido de 247 min, la respuesta tardo 1m16s, un tiempo computacional relativamente pequeño. Y el orden de visita de los clientes se describe en la **Tabla 3.22**.

Tabla 3.22.- Ruta óptima para el experimento tres (Murillo & Rodríguez, 2022)

ORDEN	CLIENTE
0	CD
2	2338
3	69
8	1150
4	2154
1	2057
5	1625
7	95
6	1681

3.2.4 CUARTO EXPERIMENTO

Día 30 de Julio del 2022. Se registró la lista de clientes del día, con su respectivo orden de visita en la planificación realizada por la empresa, véase en la **Tabla 3.23**. Una vez que termina de enlistar los pedidos del día, se carga e ingresa la información de las ubicaciones para calcular la - Matriz de distancias del cuarto experimento , cuyos valores se muestran en la **Tabla 3.24** con los tiempos de viaje entre clientes detallados en la **Tabla 3.25**.

Tabla 3.23.- Clientes del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

#	LAT.	LONG.	CO D.	CED. /RUC	DIRECCIÓN	LIM. INF	LIM. SUP	TIEMPO SERVICIO
1	- 2.098 002	- 79.908 523	23 43	93067 9063	HUANCAVILCA NORTE	14:0 0:00	18:00 :00	0:20:00
2	- 2.129 051	- 79.937 047	20 36	91782 0904	COLINAS FLORIDA MZ435 V3 VIA PERIMETRAL	14:0 0:00	18:00 :00	0:15:00

3	- 2.213 503	- 79.898 122	17 64	92541 9723	MARACAIBO 1322 Y ANTEPARA	14:4 5:00	15:30 :00	0:15:00
4	- 2.267 302	- 79.888 536	99 2	93005 5249	GUASMO COOP.UNION BANANEROS BLOQ.6 MZ.2460	15:3 0:00	16:30 :00	0:20:00
5	- 2.067 593	- 79.927 373	81 2	95837 8705	PASCUALES AV. FLAVIO ALFARO Y MONTECRISTI MZ147 S	14:0 0:00	18:00 :00	0:15:00
6	- 2.022 827	- 79.918 014	15 67	92346 4754	VILLA DEL REY ETAP REY CARLOS MZ. 4 VILLA 7	14:0 0:00	18:00 :00	0:15:00
7	- 2.160 45	- 79.906 094	15 49	92376 7164	URDESA NORTE AVENIDA 3ERA #315 Y CALLE SEXTA	14:0 0:00	18:00 :00	0:15:00
8	- 2.146 631	- 79.893 805	20 49	91737 1296	CDLA. LA GARZOTA. AV. GUILLERMO PAREJA ROLANDO	14:0 0:00	18:00 :00	0:15:00

Tabla 3.24.- Matriz de distancias del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	2343	2036	1764	992	812	1567	1549	2049
CD	0	2	5	13	21	6	13	6	5
2343	4	0	8	16	35	4	12	10	8
2036	5	6	0	13	25	9	17	7	7
1764	14	14	23	0	8	18	25	8	9
992	20	20	23	7	0	32	39	23	15
812	6	7	10	18	32	0	10	12	10
1567	12	13	16	25	38	7	0	18	16
1549	8	9	7	8	15	12	20	0	4
2049	7	8	8	9	17	12	18	4	0

Tabla 3.25.- Matriz de tiempos de viaje del cuarto experimento (Murillo & Rodríguez, 2022)

CLIENTES	CD	2343	2036	1764	992	812	1567	1549	2049
CD	0:00:00	0:04:00	0:12:00	0:22:00	0:35:00	0:09:00	0:19:00	0:11:00	0:09:00
2343	0:07:00	0:00:00	0:15:00	0:25:00	0:35:00	0:07:00	0:17:00	0:14:00	0:12:00
2036	0:09:00	0:12:00	0:00:00	0:19:00	0:29:00	0:13:00	0:22:00	0:12:00	0:12:00
1764	0:22:00	0:22:00	0:22:00	0:00:00	0:14:00	0:27:00	0:33:00	0:17:00	0:17:00
992	0:34:00	0:34:00	0:25:00	0:14:00	0:00:00	0:32:00	0:40:00	0:28:00	0:28:00
812	0:08:00	0:09:00	0:14:00	0:26:00	0:32:00	0:00:00	0:16:00	0:15:00	0:13:00
1567	0:16:00	0:16:00	0:22:00	0:32:00	0:40:00	0:10:00	0:00:00	0:23:00	0:21:00
1549	0:14:00	0:14:00	0:13:00	0:15:00	0:29:00	0:18:00	0:27:00	0:00:00	0:08:00
2049	0:10:00	0:11:00	0:13:00	0:17:00	0:30:00	0:15:00	0:21:00	0:08:00	0:00:00

Al ejecutar el algoritmo se calculó que la distancia total recorrida óptima son 77 km con un tiempo de viaje total de 262 min, la respuesta tardó 1m15s, un tiempo

computacional relativamente pequeño. Y el orden de visita de los clientes se describe en la **Tabla 3.23**.

Tabla 3.26.- Ruta óptima para el experimento cuatro (Murillo & Rodríguez, 2022)

ORDEN	CLIENTE
0	CD
2	2036
8	2049
7	1549
3	1764
4	992
1	2343
6	1567
5	812

3.3 ANÁLISIS DE COSTOS

Previo a la implementación de la herramienta, se realizó un tarifario con la información brindada por la empresa. Con la finalidad de analizar los costos correspondientes al desarrollo de las rutas y mostrar los beneficios obtenidos en la experimentación al cliente final. Posteriormente dichos beneficios se reflejarán en la reducción de costos operativos.

El vehículo cuenta con una deuda actual en dólares de *9,886.94*, correspondiente a los dos años que aún están por cancelar del préstamo vehicular con una tasa del 15.20 %. Un Chevrolet del año 2019 procedente de China cuyo modelo N300 MAX pertenece a la categoría de CARGA, cuenta con aire acondicionado. El motor 1.2L, con # puertas tracción manual 4X2 y cuenta con capacidad de 725 kilogramos y en cuanto a volumen de área de carga posee 3.603 metros cúbicos.

A lo antes calculado se le adiciona un pago de intereses correspondiente a los atrasos en pagos de las cuotas de crédito, con un valor de \$ *41.55*. lo que resulta finalmente en un valor de costos totales por kilómetros de \$*3.322*. El valor que nos permite comprobar los beneficios corresponde, el valor anterior dividido para la capacidad 725 kilogramos, por lo cual su valor por kilómetro es \$*0.005* costo por kilogramos

Tabla 3.27.- Análisis de costos fijos y variables mensuales del Chevrolet N300 (Murillo & Rodríguez, 2022)

COSTOS FIJOS	DOLARES
--------------	---------

	COSTO MENSUAL	COSTO KM.
SUELDO FIJO CONDUCTORES	USD 450.00	USD 0.094
BENEFICIOS SOCIALES	USD 95.00	USD 0.020
PRIMA DEL SEGURO VEHICULO	USD 427.00	USD 0.089
PROVISIÓN REPARACIONES (APROX)	USD 300.00	USD 0.063
MATRICULA	USD 134.72	USD 0.028
DEPRECIACION	USD 817.42	USD 0.170
COSTOS FIJOS TOTALES	USD 2,224.14	USD 0.463
COSTOS VARIABLES	DOLARES	
	COSTO MENSUAL	COSTO KM.
COMBUSTIBLES	USD 115.20	USD 0.024
LLANTAS X KM RECORRIDO (4 LLANTAS)	USD 1,581.25	USD 0.329
COSTOS LLANTAS REPARACION	USD 57.78	USD 0.012
FILTROS	USD 74.34	USD 0.015
ACEITES/LUBRICANTES	USD 221.00	USD 0.046
SISTEMA ELECTRICO Y SIST. FRENOS	USD 447.22	USD 0.093
CAJA DE CAMBIOS/SUSPENSION/RADIADOR	USD 306.08	USD 0.064
REPUESTOS MOTOR	USD 400.00	USD 0.083
ACCESORIOS EXTERNOS	USD 102.00	USD 0.021
MANTENIMIENTO BASICO	USD 60.00	USD 0.013
HERRAMIENTAS EQUIPO	USD 49.00	USD 0.010
MANO DE OBRA IMPREVISTOS	USD 300.00	USD 0.063
RASTREO SATELITAL	USD 12.32	USD 0.003
FILTRO RACOR	USD 7.52	USD 0.002
FILTRO DE AIRE	USD 7.69	USD 0.002
VIATICOS	USD 50.00	USD 0.010
COSTOS VARIABLES TOTALES	USD 3,491.40	USD 0.790
IMPREVISTOS	USD 300.00	USD 0.063
COSTOS FIJOS+VARIABLES TOTALES	USD 6,015.54	USD 1.316

3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO

Se observó que, debido a las pequeñas cantidades en los pedidos, el vehículo rara vez ocupa su capacidad máxima, es por ello que se consideró un uso del 60% del espacio, es decir capacidad de 435 kilogramos para el análisis de beneficios.

El día 13 de Julio, día de la primera toma de datos para el experimento, se representa la distancia total recorrida medida con ayuda de Google Maps en la **Figura 3.1**, cuyo recorrido total fue de 124 km. Al comparar dicho valor con el óptimo, se determina que la reducción representa un 40.3% kilómetros recorridos. En lo que concierne a conocer los beneficios monetarios, en este recorrido se ahorran \$110.92.



Figura 3.1.- Recorrido día uno (Murillo & Rodríguez, 2022)

El día 16 de Julio, día de la segunda toma de datos para el experimento, se representa la distancia total recorrida medida con ayuda de Google Maps en el lado izquierdo de la **Figura 3.2**, cuyo recorrido total fue de *120 km*. Al comparar dicho valor con el óptimo, se determina que la reducción representa un *31.6 %* kilómetros recorridos. En lo que concierne a conocer los beneficios monetarios, en este recorrido se ahorran *\$82.65*.

El día 27 de Julio, día de la tercera toma de datos para el experimento, se representa la distancia total recorrida medida con ayuda de Google Maps en el lado izquierdo de la **Figura 3.3**, cuyo recorrido total fue de *94.7 km*. Al comparar dicho valor con el óptimo, se determina que la reducción representa un *34.5 %* kilómetros recorridos. En lo que concierne a conocer los beneficios monetarios, en este recorrido se ahorran *\$71.12*.

El día 30 de Julio, día de la cuarta toma de datos para el experimento, se representa la distancia total recorrida medida con ayuda de Google Maps en el lado izquierdo de la **Figura 3.4**, cuyo recorrido total fue de *101 km*. Al comparar dicho valor con el óptimo, se determina que la reducción representa un *23.7 %* kilómetros recorridos. En lo que concierne a conocer los beneficios monetarios, en este recorrido se ahorran *\$52.20*.

Así, en promedio los beneficios diarios equivalen a *\$79.22* y en lo concerniente a kilómetros recorridos se reduce en promedio un *32.52 %*.

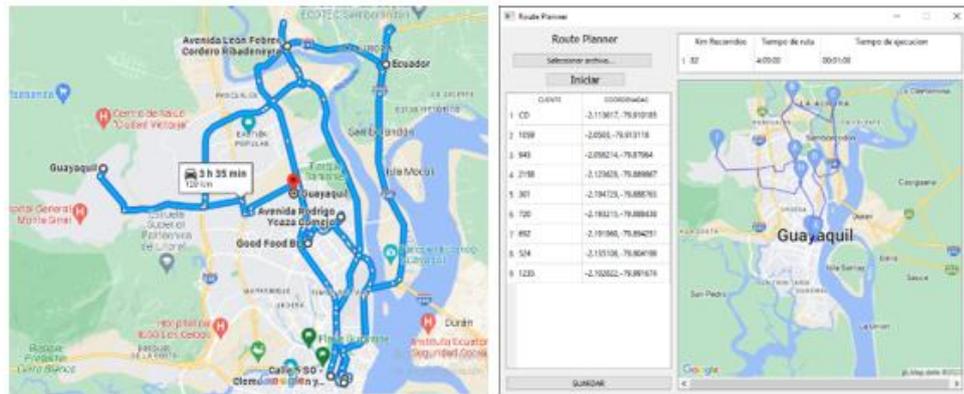


Figura 3.2.- Recorrido día dos (Murillo & Rodríguez, 2022)

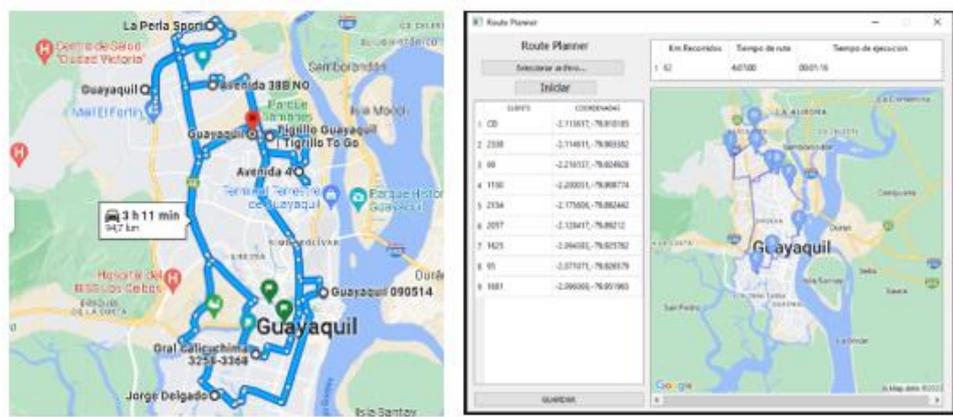


Figura 3.3.- Recorrido día tres (Murillo & Rodríguez, 2022)

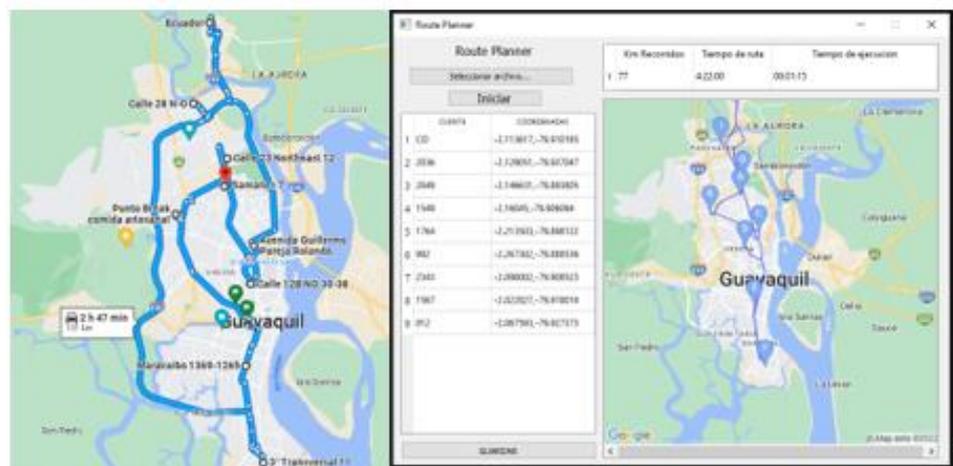


Figura 3.4 Recorrido día cuatro (Murillo & Rodríguez, 2022)

3.5 INTERFAZ DEL APLICATIVO

El entregable, el cual se realizó según los requerimientos solicitados por parte del cliente, genera las rutas necesarias para satisfacer la demanda que la empresa distribuidora posea. Con el objetivo de ser utilizado por cualquier persona que esté a cargo de realizar las planificaciones futuras, la interfaz ofrece al usuario, las

opciones necesarias. Para el funcionamiento de este se ejecuta el aplicativo, posterior a ello se carga un archivo Excel en el cual el usuario puede configurar los parámetros del algoritmo y obtener una respuesta factible en un tiempo considerable.

Una vez que se termina de ingresar la información solicitada, se inicia el aplicativo en cuya pantalla se puede visualizar un cuadro de dialogo donde aparece el botón de “*Seleccionar archivo*”, dicho archivo Excel contiene los parámetros a utilizarse. Se ejecuta el aplicativo presionando “*inicio*”, dependiendo de la complejidad del problema a solucionar se espera un mayor o menor tiempo de respuesta. Finalmente, el resultado es un conjunto tabla-mapa, donde se observa la ruta optima con su correspondiente orden de visita, cliente y coordenadas de ubicación, además del tiempo que le tomará al vehículo efectuar dicha ruta, los kilómetros a recorrer y el tiempo que le tomó al algoritmo resolver dicho problema.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La posibilidad de optimizar los recursos disponibles en dichas operaciones ya sea al disminuir costos, y el impacto ambiental son uno de los tantos beneficios que la implementación de estas herramientas tecnológicas ofrece a las empresas.

Con la implementación del aplicativo, se pretende reducir tiempos de transporte los cuales derivan en el uso apropiado de los recursos, específicamente el combustible que es un insumo fundamental para la operación de transporte, en la distribución de productos y que a su vez es considerado como un potencial contaminante del planeta. Económicamente hablando, en lo que respecta al sector de las importaciones o comercio interno del país, su influencia está directamente relacionada al crecimiento del sector, al tratar de aprovechar al máximo los recursos disponibles y obtener mayores beneficios, generando así un incremento en los movimientos de efectivo en el sistema de forma interna y externa.

Conclusiones

Los pronósticos representan predicciones de ventas, sirviendo de guía al encargado de compras, quien decide las cantidades para reabastecimiento basado en un parámetro confiable. Durante la revisión de datos se logró unificar los sistemas que usa compras y bodegas para que la información de los clientes este disponible para evitar errores en facturas o entregas de pedidos.

Al realizar la ejecución del aplicativo, se concluye que el tiempo de respuesta es considerable en función a la complejidad del problema a resolver, en este caso ruteo vehicular con ventanas de tiempo. Sin embargo, el usuario tiene la opción de variar los parámetros en función de sus necesidades, y obtener una buena respuesta.

A diferencia de la planificación convencional, el uso del aplicativo representa una reducción mayor al 25% de los costos operativos y los kilómetros recorridos. Por lo que se concluye que la reducción representa un beneficio monetario significativo que puede ser invertido en otras áreas con la finalidad de optimizar recursos y realizar procesos efectivos.

En la actualidad, en el momento menos esperado posterior a la planificación de rutas ocurren eventos imprevistos que obligan a modificar al plan previo, lo cual para el aplicativo se traduce como nuevas variables. Con el fin de poder atender estos requerimientos y reducir el impacto que producen estos eventos, el

algoritmo fue diseñado de tal forma que sea posible analizar estos nuevos eventos a considerar para crear la nueva planificación de la ruta.

Recomendaciones

Para un control eficiente de la información se recomienda ejecutar un control periódico de inventario y pronósticos, que regulen el abastecimiento. Los mismos que se deben realizar en un período de tiempo no muy extenso, por ello se sugiere una revisión semestral exhaustiva de la información de los clientes y la demanda. Nótese, que la repuesta óptima del aplicativo refleja una sola ruta, debido a que la demanda que posee la empresa se satisface con una sola unidad para distribución. Si la demanda aumenta es posible que la empresa requiera invertir en una unidad de transporte adicional o mejorar la clusterización de los sectores donde atienden a sus clientes.

Con respecto a los parámetros del aplicativo, si el cliente requiere mayor precisión o si tiene poco tiempo para programar la planificación, en cualquier caso obteniendo un menor número de kilómetros recorridos y tiempos de viaje que en la forma convencional, se preferiría hacer uso de los parámetros descritos en la ***Tabla 2.5.-Parámetros de experimentación A*** .

Dicha estrategia y el aplicativo puede replicar en distintos sectores, en donde se requiera manejar de forma más eficiente los recursos de transporte basando sus decisiones en registros históricos, realizando siempre un previo análisis de la situación actual y de los datos recopilados por la empresa. La naturaleza del producto se considera como una variable adicional, ya que aspectos como el tiempo de vida útil que estos poseen afectan el intervalo de rotación del producto, y no se puede almacenar mucho tiempo o en grandes cantidades. La forma y el medio en que estos se transportan es otro aspecto que considerar debido a que se incurre en diferentes costos de transporte que no son relevantes para el caso de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Gu, H., & all., e. (2009). Optimization and algorithm for the vehicle distribution route of urban cold-chain logistics model. *"3rd International Conference on Operations and Supply Chain Management* (págs. (págs. 621-628)). Wuhan: Peoples Republic of China.
- Lenoardo, J., & all, e. (2013). An optimization model for the vehicle routing problems with practical three-dimensional loading constraints. *International Transactions in Operational Research*, 20, pp. 645-666.
- Martí, R., Pardalos, P. M., & G, M. (2018). En R. Editors, *Handbook of heuristics* (págs. .pp. 318-319). Springer, Cham.
- Murillo, D., & Rodríguez, R. (2022). Proyecto de Titulación. Guayas, Guayaquil, Ecuador.
- Ombuki, B., Ross, B., & Hanshar, F. (2006). Multi-Objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Appl Intell*, 24, 17–30. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10489-006-6926-z>
- Pole, K. (2009). Diseño de metodologías mixtas Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas. *Revista Arbitrada en Ciencias Sociales y Humanidades*(60), 4-5.
- propia, F. (s.f.).
- Savelsberg, M. W. (1985). Local search in routing problems with time windows. *Annals of Operations Research*, pp. 285–305.
- Solomon, M., & Desrosiers, J. (1988). Survey Paper-Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems. *Transportation Science*, 22(1), 1-81. doi:10.1287/trsc.22.1.1
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). Handbook of mixed methods in social and behavioral research. Sage, Thousand Oaks, California,.
- Toth, P. (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

YEPES, V. .. (2002). Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 352.

ANEXOS

I. PREGUNTAS PARA JEFA DE ADMINISTRACIÓN

- ¿Cómo define sus actividades en la empresa?
- ¿Qué información maneja en la empresa?
- ¿Cómo se gestionan los pedidos?
- ¿Cómo es la planificación previa al momento de realizar la distribución?
- ¿Cómo se maneja el tema de inventarios?
- ¿Cómo se manejan las órdenes de compra de materia prima?
- ¿Cuál es la demanda del producto, análisis de años posteriores?

II. PREGUNTAS PARA ENCARGADO DE TRANSPORTE

- ¿Qué procesos se manejan en la empresa? -
- ¿Qué información documentan?
- ¿Han calculado indicadores?
- Según su experiencia, ¿qué material genera más costos y menor impacto?
- ¿Bodega?
- ¿Distribución eficiente?
- ¿Cómo definir y monitorear las rutas de transporte existentes?
- ¿Qué consideraciones se toman al momento de transportar los productos?

III. PREGUNTAS PARA VENEDORES- DESPACHADORES

- ¿Cómo define sus actividades en la empresa?
- ¿Cómo gestiona los pedidos?
- ¿Cuál es la información que maneja del cliente?
- ¿Cuál es el proceso que realiza previo al despacho?
- ¿Cómo se realiza el embarque de los productos?
- ¿Con que frecuencia realizan promociones?

- ¿Cuáles considera que son las razones por la cual un cliente no finaliza la compra?
- ¿Qué situaciones afectan las ventas, según su perspectiva?