

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



**Modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de distribución
de pedidos en una empresa de Última Milla**

Tesis presentada por el Bachiller:

Guerrero Fernandez, Edgar Eduardo

ORCID: 0009-0007-9209-6087

para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesora:

Mtro. Perez Gomez, Ayme Mirtha

ORCID: 0000-0002-6934-2207

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Noviembre del 2025

Dictamen: 016712-C-EPII-2025

Visto el borrador del expediente 016712, presentado por:

2019201941 - GUERRERO FERNANDEZ EDGAR EDUARDO

Titulado:

MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE DISTRIBUCIÓN DE PEDIDOS EN UNA EMPRESA DE ÚLTIMA MILLA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**29434502 - MURILLO QUISPE EFRAIN RAFAEL
DICTAMINADOR**



**29639923 - URDAY LUNA FERLY ELMER
DICTAMINADOR**



**70677280 - TALLEDO MONROY BRUNELLA
DICTAMINADOR**



Modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de distribución de pedidos en una empresa de Última Milla

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
5	repositorio.ucsp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
7	patents.google.com Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad del Istmo de Panamá Trabajo del estudiante	<1%



DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mis padres por su incondicional apoyo y por creer siempre en mis capacidades, siendo el motor para alcanzar cada meta que me propuse a lo largo de mi vida y carrera profesional, incentivándome a continuar con su presencia, ánimo y motivación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Católica de Santa María por ser el hogar académico que me brindó las herramientas, los conocimientos y el ambiente propicio para mi formación profesional. Asimismo, extendo mi sincero agradecimiento a cada uno de mis profesores, cuya dedicación, experiencia y constante guía fueron fundamentales en mi desarrollo. Su compromiso con la enseñanza marcó una diferencia invaluable en mi trayectoria

RESUMEN

La distribución de pedidos en empresas de última milla constituye un proceso logístico crítico que representa altos costos y complejidad operativa. En el caso de la empresa objeto de la presente investigación, se evidenció un diseño ineficiente de rutas que ocasiona un exceso en las distancias recorridas, incremento de costos de transporte y limitaciones en la capacidad para despachar todos los pedidos diarios. La presente investigación tiene como objetivo proponer un modelo de optimización de rutas basado en el algoritmo de ahorros de Clarke and Wright, con la finalidad de mejorar la eficiencia en la distribución de pedidos.

La investigación es de nivel descriptivo y de tipo propositivo, pues primero se diagnostica la situación actual de la distribución, identificando pedidos despachados, no despachados, distancias y costos, para luego contrastar dichos indicadores con la propuesta optimizada. El diseño es no experimental, ya que se trabajó con datos históricos y una muestra de pedidos representativos.

Los resultados demuestran una mejora en la eficiencia del 43% en las distancias recorridas y costos de transporte y un 98.17% en termino de pedidos no despachados, los cuales se entienden como aquellos que no han sido asignados a una ruta viable debido a las limitaciones de la capacidad vehicular o falta de planificación. Desde el punto de vista económico, la propuesta alcanzó un VAN positivo de S/30,850.86 y una TIR de 200.16% superior al costo de oportunidad del capital, confirmando su viabilidad financiera. Finalmente, el modelo validó la conveniencia de incorporar estrategias de subcontratación en rutas de alta demanda y variabilidad, garantizando continuidad del servicio y sostenibilidad.

Palabras Clave: Modelo de Optimización, eficiencia de rutas, pedidos no despachados

ABSTRACT

The distribution of orders in last-mile companies is a critical logistics process that involves high costs and operational complexity. In the case of the company that is the subject of this research, an inefficient route design was evident, resulting in excess distances traveled, increased transportation costs, and limitations in the ability to dispatch all daily orders. The objective of this research is to propose a route optimization model based on the Clarke and Wright savings algorithm, with the aim of improving efficiency in order distribution.

The research is descriptive and propositional in nature, as it first diagnoses the current distribution situation, identifying shipped and unshipped orders, distances, and costs, and then compares these indicators with the optimized proposal. The design is non-experimental, as it was based on historical data and a sample of representative orders.

The results show a 43% improvement in efficiency in terms of distances traveled and transportation costs, and a 98.17% improvement in terms of undelivered orders, which are understood to be those that have not been assigned to a viable route due to vehicle capacity limitations or lack of planning. From an economic standpoint, the proposal achieved a positive NPV of S/30,850.86 and an IRR of 200.16% above the opportunity cost of capital, confirming its financial viability. Finally, the model validated the advisability of incorporating subcontracting strategies on high-demand and variable routes, ensuring service continuity and sustainability.

Keywords: Optimization model, route efficiency, undelivered orders

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. MARCO METODOLÓGICO	3
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.1. Interrogante Principal	4
1.3.2. Sistematización del Problema	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.4.1. Justificación Teórica	5
1.4.2. Justificación Metodológica	5
1.4.3. Justificación Práctica	5
1.4.4. Justificación Profesional, Académica y/o Personal	5
1.4.5. Justificación Política, Económica y/o Social	5
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo General	6
1.5.2. Objetivo Específicos	6
1.6. SISTEMA DE HIPÓTESIS	6
1.6.1. Hipótesis Principal	6
1.7. VARIABLES	7
1.7.1. Variable Independiente	7

1.7.2. Variable Dependiente.....	7
1.7.3. Operacionalización de Variables.....	8
1.8. DISEÑO METODOLOGICO.....	9
1.8.1. Método de la Investigación.....	9
1.8.2. Tipo de Investigación.....	9
1.8.3. Diseño de la Investigación.....	9
1.8.4. Población.....	9
1.8.5. Tipo de Muestreo y Muestra.....	9
1.9. LIMITACIONES.....	10
CAPÍTULO II.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.1.1. Investigaciones Nacionales.....	12
2.1.2. Investigaciones Internacionales.....	14
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	17
2.2.1. Comercio Electrónico.....	17
2.2.2. Servicios Logísticos en una Empresa de Última Milla.....	18
2.2.3. Cadena de suministro en una empresa de Última Milla.....	18
2.2.4. Eficiencia.....	19
2.2.5. Flota Vehicular.....	19
2.2.6. Enrutamiento.....	19
2.2.7. Investigación Operativa.....	20
2.2.8. Programación lineal entera.....	20
2.2.9. Optimización de rutas.....	21
2.2.10. Teoría de la Complejidad Computacional.....	21
2.2.11. Problema del Agente Viajero (TSP).....	22

2.2.12. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP).....	23
2.2.13. Modelo Matemático de Problema de Ruteo de Vehículos	26
2.2.14. Softwares para la resolución del VRP	28
2.2.15. Algoritmos de Resolución del VRP.....	29
2.2.16. Algoritmo De Ahorro Clark and Wright.....	32
2.2.17. Lenguaje de programación Python	34
CAPÍTULO III.....	36
3. DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL	37
3.1. ORGANIZACIÓN.....	37
3.1.1. Organigrama.....	37
3.1.2. Responsabilidades.....	38
3.1.3. Centro de Acopio.....	39
3.1.4. Actividades.....	39
3.1.5. Diagrama BPMN	40
3.1.6. Mapa de Procesos	42
3.1.7. Diseño del Almacén	42
3.1.8. Flota vehicular	44
3.2. Distribución de rutas actuales y despacho de pedidos	45
3.3. Demanda de pedidos para el día 1.....	47
3.3.1. Ruta 1.....	48
3.3.2. Ruta 2.....	51
3.3.3. Pedidos no Despachados	52
3.4. Demanda de pedidos para el día 2.....	53
3.4.1. Ruta 3.....	54
3.4.2. Ruta 4.....	56
3.4.3. Pedidos no Despachados	58

3.5. Demanda de pedidos para el día 3.....	59
3.5.1. Ruta 5.....	60
3.5.2. Ruta 6.....	62
3.5.3. Pedidos No Despachados.....	65
3.6. Demanda de pedidos para el día 4.....	66
3.6.1. Ruta 7.....	67
3.6.2. Ruta 8.....	68
3.6.3. Pedidos no Despachados	71
3.7. Demanda de pedidos para el día 5.....	71
3.7.1. Ruta 9.....	72
3.7.2. Ruta 10.....	75
3.7.3. Pedidos No Despachados.....	76
3.8. Demanda de pedidos para el día 6.....	77
3.8.1. Ruta 11.....	79
3.8.2. Ruta 12.....	81
3.8.3. Pedidos No Despachados.....	83
3.9. Costos de Transporte.....	84
3.9.1. Ruta 1.....	84
3.9.2. Ruta 2.....	85
3.9.3. Ruta 3.....	86
3.9.4. Ruta 4.....	88
3.9.5. Ruta 5.....	89
3.9.6. Ruta 6.....	90
3.9.7. Ruta 7.....	91
3.9.8. Ruta 8.....	92
3.9.9. Ruta 9.....	93

3.9.10. Ruta 10	94
3.9.11. Ruta 11	95
3.9.12. Ruta 12	96
3.9.13. Resumen de Distancias Recorridas y Costos de Transporte	97
3.10. Diagrama de Pareto	100
3.11. Diagrama de Ishikawa	101
CAPÍTULO IV	103
4. MODELO DE OPTIMIZACIÓN	104
4.1. Selección del Algoritmo de Optimización	104
4.2. Aplicación del algoritmo de ahorros Clarke and Wright con el lenguaje de programación de Python.	110
4.2.1. Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas.....	111
4.2.2. Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales.....	112
4.2.3. Paso 3: Calcular y Ordenar la Matriz de Ahorros.....	114
4.2.4. Paso 4: Aplicar las iteraciones para generar las rutas con las restricciones de capacidad del vehículo	114
4.3. Demanda de Pedidos Propuesta Día 1	122
4.3.1. Ruta 1 Propuesta	123
4.3.2. Ruta 2 Propuesta	125
4.3.3. Pedidos No Despachados.....	127
4.4. Demanda de Pedidos Propuesta Día 2	127
4.4.1. Ruta 3 Propuesta	128
4.4.2. Ruta 4 Propuesta	130
4.4.3. Ruta Subcontratada 1	132
4.4.4. Pedidos No Despachados.....	134
4.5. Demanda de Pedidos Propuesta Día 3	135
4.5.1. Ruta 5 Propuesta	137

4.5.2. Ruta 6 Propuesta	139
4.5.3. Ruta Subcontratada 2	140
4.5.4. Pedidos No Despachados.....	142
4.6. Demanda de Pedidos Propuesta Día 4.....	142
4.6.1. Ruta 7 Propuesta	143
4.6.2. Ruta 8 Propuesta	145
4.6.3. Pedidos No Despachados.....	147
4.7. Demanda de Pedidos Propuesta Día 5.....	148
4.7.1. Ruta 9 Propuesta	149
4.7.2. Ruta 10 Propuesta	152
4.7.3. Ruta Subcontratada 3	153
4.7.4. Pedidos No Despachados.....	155
4.8. Demanda de Pedidos Propuesta Día 6.....	155
4.8.1. Ruta 11 Propuesta	156
4.8.2. Ruta 12 Propuesta	157
4.8.3. Ruta Subcontratada 4	160
4.8.4. Pedidos No Despachados.....	161
4.9. Costos de Transporte.....	161
4.9.1. Ruta 1 Propuesta	161
4.9.2. Ruta 2 Propuesta	163
4.9.3. Ruta 3 Propuesta	164
4.9.4. Ruta 4 Propuesta	165
4.9.5. Ruta 5 Propuesta	166
4.9.6. Ruta 6 Propuesta	167
4.9.7. Ruta 7 Propuesta	168
4.9.8. Ruta 8 Propuesta	169

4.9.9. Ruta 9 Propuesta	170
4.9.10. Ruta 10 Propuesta	171
4.9.11. Ruta 11 Propuesta	172
4.9.12. Ruta 12 Propuesta	173
4.9.13. Resumen de Distancias Recorridas y Costos de Transporte Propuestos ...	174
4.10. Data Histórica de la Demanda de Pedidos	179
CAPÍTULO V.....	184
5. Resultados.....	185
5.1. Pedidos Despachados Actuales vs Propuestos con flota propia	185
5.2. Pedidos No Despachados Actuales vs Propuestos.....	188
5.3. Distancia Actual vs Propuesta	190
5.4. Costo de Combustible Actual vs Propuesto	192
CAPÍTULO VI	195
6. Evaluación Económica	196
6.1. Costo de los Pedidos Subcontratados	196
6.2. Costos de la Inversión	197
6.2.1. Requerimiento de la Implementación del Algoritmo	197
6.2.2. Inversión Tangible Fija.....	199
6.2.3. Inversión Intangible	199
6.2.4. Financiamiento	199
6.3. Flujo de Caja Incremental	200
6.4. Valor Actual Neto (VAN)	204
6.5. Tasa Interna de Retorno	204
CONCLUSIONES	206
RECOMENDACIONES	208
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	209

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diagrama de flujo del procedimiento del algoritmo de ahorros</i>	33
Figura 2. <i>Organigrama de la empresa</i>	38
Figura 3. <i>Diagrama BPMN</i>	41
Figura 4. <i>Mapa de Procesos</i>	42
Figura 5. <i>Diseño del Almacén en SketchUp</i>	43
Figura 6. <i>Diseño del Almacén</i>	43
Figura 7. <i>Demanda de Pedidos para el día 1</i>	48
Figura 8. <i>Recorrido de la Ruta 1 en el software QGIS</i>	49
Figura 9. <i>Recorrido de la Ruta 2 en el software QGIS</i>	51
Figura 10. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	53
Figura 11. <i>Demanda de pedidos para el día 2</i>	54
Figura 12. <i>Recorrido de la Ruta 3 en el software QGIS</i>	55
Figura 13. <i>Recorrido de la Ruta 4 en el software QGIS</i>	57
Figura 14. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	59
Figura 15. <i>Demanda de pedidos para el día 3</i>	60
Figura 16. <i>Recorrido de la Ruta 5 en el software QGIS</i>	61
Figura 17. <i>Recorrido de la Ruta 6 en el software QGIS</i>	63
Figura 18. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	65
Figura 19. <i>Demanda de pedidos para el día 4</i>	66
Figura 20. <i>Recorrido de la Ruta 7 en el software QGIS</i>	67
Figura 21. <i>Recorrido de la Ruta 8 en el software QGIS</i>	69

Figura 22. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	71
Figura 23. <i>Demanda de pedidos para el día 5</i>	72
Figura 24. <i>Recorrido de la Ruta 9 en el software QGIS</i>	73
Figura 25. <i>Recorrido de la Ruta 10 en el software QGIS</i>	75
Figura 26. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	77
Figura 27. <i>Demanda de pedidos para el día 6</i>	78
Figura 28. <i>Recorrido de la Ruta 11 en el software QGIS</i>	79
Figura 29. <i>Recorrido de la Ruta 12 en el software QGIS</i>	81
Figura 30. <i>Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados</i>	83
Figura 31. <i>Diagrama de Pareto</i>	101
Figura 32. <i>Diagrama de Ishikawa</i>	102
Figura 33. <i>Script de la preparación del entorno y bibliotecas en Google Colab</i>	111
Figura 34. <i>Script de la preparación de los datos de entrada, coordenadas y demandas</i> . 112	
Figura 35. <i>Script de la matriz de distancias reales en kilómetros</i>	113
Figura 36. <i>Script del cálculo de la Matriz de Ahorros</i>	114
Figura 37. <i>Script del cálculo de la Matriz de Ahorros</i>	115
Figura 38. <i>Script del Bucle de Fusión de Rutas</i>	116
Figura 39. <i>Script de la verificación de condiciones</i>	117
Figura 40. <i>Script de la fusión de rutas en cuatro escenarios posibles</i>	118
Figura 41. <i>Script de la actualización de los diccionarios del algoritmo</i>	119
Figura 42. <i>Script del incumplimiento de la verificación de condiciones</i>	119
Figura 43. <i>Script de las iteraciones</i>	120
Figura 44. <i>Script de la impresión de los resultados clasificados en consola</i>	121
Figura 45. <i>Demanda de Pedidos Propuesta para el Día 1</i>	122

Figura 46. <i>Recorrido de la Ruta 1 Propuesta</i>	123
Figura 47. <i>Recorrido de la Ruta 2 Propuesta</i>	125
Figura 48. <i>Pedidos No Despachados Día 1</i>	127
Figura 49. <i>Demanda de Pedidos Propuesta para el Día 2</i>	128
Figura 50. <i>Recorrido de la Ruta 3 Propuesta</i>	129
Figura 51. <i>Recorrido de la Ruta 4 Propuesta</i>	131
Figura 52. <i>Recorrido de la Ruta Subcontratada 1</i>	133
Figura 53. <i>Pedidos No Despachados Día 2</i>	135
Figura 54. <i>Demanda de Pedidos para el día 3</i>	136
Figura 55. <i>Recorrido de la ruta 5 Propuesta</i>	137
Figura 56. <i>Recorrido de la ruta 6 Propuesta</i>	139
Figura 57. <i>Recorrido de la Ruta Subcontratada 2</i>	141
Figura 58. <i>Demanda de pedidos para el día 4</i>	143
Figura 59. <i>Recorrido de la ruta 7 Propuesta</i>	144
Figura 60. <i>Recorrido de la ruta 8 Propuesta</i>	146
Figura 61. <i>Pedidos No Despachados Día 4</i>	148
Figura 62. <i>Demanda de pedidos para el día 5</i>	149
Figura 63. <i>Recorrido de la ruta 9 Propuesta</i>	150
Figura 64. <i>Recorrido de la ruta 10 Propuesta</i>	152
Figura 65. <i>Recorrido de la ruta subcontratada 3</i>	154
Figura 66. <i>Demanda de pedidos para el día 6</i>	155
Figura 67. <i>Recorrido de la ruta 11 Propuesta</i>	156
Figura 68. <i>Recorrido de la ruta 12 Propuesta</i>	158
Figura 69. <i>Propuesta para la Ruta Subcontratada 4</i>	160
Figura 70. <i>Gráfico de la Demanda Histórica</i>	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de Variables</i>	8
Tabla 2. <i>Tipos de VRP</i>	24
Tabla 3. <i>Softwares para resolver un VRP</i>	29
Tabla 4. <i>Lista de Actividades en una Empresa de Última Milla</i>	39
Tabla 5. <i>Ficha técnica de la Unidad Vehicular 1</i>	44
Tabla 6. <i>Ficha técnica de la unidad Vehicular 2</i>	45
Tabla 7. <i>Tallas por Volumen de pedidos</i>	46
Tabla 8. <i>Distancias por nodos de la Ruta 1</i>	50
Tabla 9. <i>Distancias por nodos de la Ruta 2</i>	51
Tabla 10. <i>Distancias por nodos de la Ruta 3</i>	55
Tabla 11. <i>Distancias por nodos de la Ruta 4</i>	57
Tabla 12. <i>Distancias por nodos de la Ruta 5</i>	62
Tabla 13. <i>Distancias por nodos de la Ruta 6</i>	64
Tabla 14. <i>Distancias por nodos de la Ruta 7</i>	67
Tabla 15. <i>Distancias por nodos de la Ruta 8</i>	70
Tabla 16. <i>Distancias por nodos de la Ruta 9</i>	74
Tabla 17. <i>Distancias por nodos de la Ruta 10</i>	76
Tabla 18. <i>Distancias por nodos de la Ruta 11</i>	80
Tabla 19. <i>Distancias por nodos de la Ruta 12</i>	82
Tabla 20. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 1</i>	84
Tabla 21. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 2</i>	85
Tabla 22. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 3</i>	86
Tabla 23. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 4</i>	88
Tabla 24. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 5</i>	89

Tabla 25. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 6</i>	90
Tabla 26. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 7</i>	91
Tabla 27. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 8</i>	92
Tabla 28. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 9</i>	93
Tabla 29. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 10</i>	94
Tabla 30. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 11</i>	95
Tabla 31. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 12</i>	96
Tabla 32. <i>Distancias Recorridas y Costos de Transporte</i>	98
Tabla 33. <i>Causas identificadas</i>	100
Tabla 34. <i>Algoritmos de Optimización para resolver un VRP</i>	104
Tabla 35. <i>Selección del algoritmo con el método de factores ponderados</i>	108
Tabla 36. <i>Propuesta para la ruta 1</i>	124
Tabla 37. <i>Propuesta para la ruta 2</i>	126
Tabla 38. <i>Propuesta para la ruta 3</i>	129
Tabla 39. <i>Propuesta para la ruta 4</i>	131
Tabla 40. <i>Propuesta para ruta subcontratada 1</i>	133
Tabla 41. <i>Propuesta para la ruta 5</i>	138
Tabla 42. <i>Propuesta para la ruta 6</i>	139
Tabla 43. <i>Propuesta para la Ruta Subcontratada 2</i>	141
Tabla 44. <i>Propuesta para la ruta 7</i>	144
Tabla 45. <i>Propuesta para la ruta 8</i>	146
Tabla 46. <i>Propuesta para la ruta 9</i>	151
Tabla 47. <i>Propuesta para la ruta 10</i>	153
Tabla 48. <i>Propuesta para la ruta Subcontratada 3</i>	154
Tabla 49. <i>Propuesta para la ruta 11</i>	157
Tabla 50. <i>Propuesta para la ruta 12</i>	159

Tabla 51. <i>Propuesta para la ruta subcontratada 4</i>	161
Tabla 52. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 1 propuesta</i>	162
Tabla 53. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 2</i>	163
Tabla 54. <i>Costo del Recorrido de la Ruta</i>	164
Tabla 55. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 4</i>	165
Tabla 56. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 5</i>	166
Tabla 57. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 6</i>	167
Tabla 58. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 7</i>	168
Tabla 59. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 8</i>	169
Tabla 60. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 9</i>	170
Tabla 61. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 10</i>	171
Tabla 62. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 11</i>	172
Tabla 63. <i>Costo del Recorrido de la Ruta 12</i>	173
Tabla 64. <i>Distancias Recorridas y Costos de Transporte Propuestos</i>	175
Tabla 65. <i>Demanda histórica</i>	179
Tabla 66. <i>Comparativa de Métricas</i>	181
Tabla 67. <i>Pronostico con el método de Suavización Exponencial ($\alpha = 0.5$)</i>	182
Tabla 68. <i>Pedidos Entregados Actuales vs Pedidos Entregados con la Propuesta</i>	186
Tabla 69. <i>Pedidos No Despachados Actuales vs No Despachados Propuestos</i>	188
Tabla 70. <i>Distancia Actual vs Propuesta</i>	190
Tabla 71. <i>Costo de Combustible Actual vs Propuesto</i>	192
Tabla 72. <i>Costo de los Pedidos Subcontratados</i>	196
Tabla 73. <i>Requerimientos para la Implementación</i>	198
Tabla 74. <i>Equipos</i>	199
Tabla 75. <i>Inversión Intangible</i>	199
Tabla 76. <i>Flujo de Caja Incremental Anual</i>	203

Tabla 77. <i>Tasa Interna de Retorno</i>	204
Tabla 78. <i>Distancias por nodos de la Ruta 13</i>	215
Tabla 79. <i>Distancias por nodos de la Ruta 14</i>	216
Tabla 80. <i>Distancias por nodos de la Ruta 15</i>	216
Tabla 81. <i>Distancias por nodos de la Ruta 16</i>	217
Tabla 82. <i>Distancias por nodos de la Ruta 17</i>	218
Tabla 83. <i>Distancias por nodos de la Ruta 18</i>	219
Tabla 84. <i>Distancias por nodos de la Ruta 19</i>	220
Tabla 85. <i>Distancias por nodos de la Ruta 20</i>	221
Tabla 86. <i>Distancias por nodos de la Ruta 21</i>	222
Tabla 87. <i>Distancias por nodos de la Ruta 22</i>	223
Tabla 88. <i>Distancias por nodos de la Ruta 23</i>	224
Tabla 89. <i>Distancias por nodos de la Ruta 24</i>	225
Tabla 90. <i>Distancias por nodos de la Ruta 25</i>	226
Tabla 91. <i>Distancias por nodos de la Ruta 26</i>	227
Tabla 92. <i>Distancias por nodos de la Ruta 27</i>	228
Tabla 93. <i>Distancias por nodos de la Ruta 28</i>	229
Tabla 94. <i>Distancias por nodos de la Ruta 29</i>	230
Tabla 95. <i>Distancias por nodos de la Ruta 30</i>	231
Tabla 96. <i>Distancias por nodos de la Ruta 31</i>	232
Tabla 97. <i>Distancias por nodos de la Ruta 32</i>	233
Tabla 98. <i>Distancias por nodos de la Ruta 33</i>	234
Tabla 99. <i>Distancias por nodos de la Ruta 34</i>	235
Tabla 100. <i>Distancias por nodos de la Ruta 35</i>	236
Tabla 101. <i>Distancias por nodos de la Ruta 36</i>	237
Tabla 102. <i>Distancias por nodos de la Ruta 37</i>	238

Tabla 103. <i>Distancias por nodos de la Ruta 38</i>	239
Tabla 104. <i>Distancias por nodos de la Ruta 39</i>	240
Tabla 105. <i>Distancias por nodos de la Ruta 40</i>	241
Tabla 106. <i>Distancias por nodos de la Ruta 41</i>	242
Tabla 107. <i>Distancias por nodos de la Ruta 42</i>	243
Tabla 108. <i>Distancias por nodos de la Ruta 43</i>	244
Tabla 109. <i>Distancias por nodos de la Ruta 44</i>	245
Tabla 110. <i>Distancias por nodos de la Ruta 45</i>	246
Tabla 111. <i>Distancias por nodos de la Ruta 46</i>	247
Tabla 112. <i>Distancias por nodos de la Ruta 47</i>	248
Tabla 113. <i>Distancias por nodos de la Ruta 48</i>	249
Tabla 114. <i>Distancias por nodos de la Ruta 49</i>	250
Tabla 115. <i>Distancias por nodos de la Ruta 50</i>	251
Tabla 116. <i>Distancias por nodos de la Ruta 51</i>	252
Tabla 117. <i>Distancias por nodos de la Ruta 52</i>	253
Tabla 118. <i>Distancias por nodos de la Ruta 53</i>	254
Tabla 119. <i>Distancias por nodos de la Ruta 54</i>	255
Tabla 120. <i>Distancias por nodos de la Ruta 55</i>	256
Tabla 121. <i>Distancias por nodos de la Ruta 56</i>	257
Tabla 122. <i>Distancias por nodos de la Ruta 57</i>	258
Tabla 123. <i>Distancias por nodos de la Ruta 58</i>	259
Tabla 124. <i>Distancias por nodos de la Ruta 59</i>	260
Tabla 125. <i>Distancias por nodos de la Ruta 60</i>	261
Tabla 126. <i>Distancias por nodos de la Ruta 61</i>	262
Tabla 127. <i>Distancias por nodos de la Ruta 62</i>	263
Tabla 128. <i>Rutas Pendientes día 7</i>	265

Tabla 129. <i>Rutas Pendientes día 8</i>	266
Tabla 130. <i>Rutas Pendientes día 9</i>	267
Tabla 131. <i>Rutas Pendientes día 10</i>	269
Tabla 132. <i>Rutas Pendientes día 11</i>	270
Tabla 133. <i>Rutas Pendientes día 12</i>	272
Tabla 134. <i>Rutas Pendientes día 13</i>	273
Tabla 135. <i>Rutas Pendientes día 14</i>	274
Tabla 136. <i>Rutas Pendientes día 15</i>	276
Tabla 137. <i>Rutas Pendientes día 16</i>	277
Tabla 138. <i>Rutas Pendientes día 17</i>	278
Tabla 139. <i>Rutas Pendientes día 18</i>	280
Tabla 140. <i>Rutas Pendientes día 19</i>	281
Tabla 141. <i>Rutas Pendientes día 20</i>	283
Tabla 142. <i>Rutas Pendientes día 21</i>	284
Tabla 143. <i>Rutas Pendientes día 22</i>	286
Tabla 144. <i>Rutas Pendientes día 23</i>	287
Tabla 145. <i>Rutas Pendientes día 24</i>	288
Tabla 146. <i>Rutas Pendientes día 25</i>	290
Tabla 147. <i>Rutas Pendientes día 26</i>	291
Tabla 148. <i>Rutas Pendientes día 27</i>	293
Tabla 149. <i>Rutas Pendientes día 28</i>	294
Tabla 150. <i>Rutas Pendientes día 29</i>	296
Tabla 151. <i>Rutas Pendientes día 30</i>	297
Tabla 152. <i>Rutas Pendientes día 31</i>	299
Tabla 153. <i>Pronóstico con el método de promedios móviles simples (n=3)</i>	302
Tabla 154. <i>Pronóstico con el método de promedios móviles simples</i>	303

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RUTAS PENDIENTES DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	214
ANEXO 2. RUTAS PENDIENTES PROPUESTAS	264
ANEXO 3. PRONÓSTICOS DE DEMANDA	301
ANEXO 4. SCRIPTS DE PYTHON.....	306



INTRODUCCIÓN

La distribución de pedidos en la Última Milla se ha convertido en uno de los principales retos logísticos de la actualidad. El crecimiento acelerado del comercio electrónico y el cambio en los hábitos de consumo han generado un incremento sustancial en los volúmenes de entregas diarias, lo que exige a las empresas mayor rapidez, eficiencia y confiabilidad en la prestación del servicio. En este contexto, la optimización de recursos, como distancias recorridas y costos de transporte, se vuelve una necesidad prioritaria para garantizar la competitividad.

En el caso de la empresa objeto de estudio, dedicada al servicio de Última Milla en la ciudad de Arequipa, la gestión de la distribución presenta deficiencias relevantes, pues actualmente no cuenta con un modelo formal de optimización de rutas. Las entregas se asignan de manera empírica, basándose en la experiencia de los conductores, lo que genera distancias innecesarias, costos elevados y la existencia de pedidos no despachados. Frente a esta situación, la presente investigación propone un modelo de optimización de rutas basado en el algoritmo de Clarke and Wright, que permita atender la demanda diaria con mayor eficiencia, reduciendo costos y mejorando la utilización de la flota.

La investigación se desarrolló de la siguiente manera: El Capítulo I aborda el planteamiento teórico —problema, justificación, objetivos, variables, hipótesis y metodología—; el Capítulo II desarrolla el marco conceptual, referencial y legal. El Capítulo III describe la situación actual de la empresa y su operación logística, mientras que el Capítulo IV presenta la propuesta de optimización de rutas mediante el algoritmo de Clarke and Wright en Python. El Capítulo V expone los resultados comparativos entre la situación actual y el modelo propuesto, y el Capítulo VI desarrolla la evaluación económica de la propuesta. Finalmente, las Conclusiones y Recomendaciones sintetizan los principales hallazgos y orientan su futura implementación.



CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa objeto de esta investigación, no cuenta con un modelo adecuado de rutas para la distribución de pedidos que permita brindar de manera eficiente el servicio y sea capaz de atender las grandes cantidades de pedidos diarios, que se incrementan cada vez más por el crecimiento del mercado.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa objeto de esta investigación opera en el sector de última milla, un eslabón logístico crítico que abarca el trayecto entre el centro de distribución y el domicilio del cliente final. Este eslabón, tradicionalmente visto como la fase más costosa y compleja de la logística, ha cobrado una importancia estratégica en los últimos años debido al crecimiento acelerado del comercio electrónico.

El aumento de transacciones a través de plataformas digitales y aplicaciones móviles ha generado un volumen creciente de entregas en entornos urbanos. Transformando profundamente la manera en que los clientes acceden a bienes y servicios, pasando de esquemas tradicionales de compra presencial a sistemas digitales que priorizan la inmediatez. La digitalización no solo ha permitido al consumidor acceder a una mayor variedad de productos, sino que también ha impulsado la aparición de nuevos modelos de negocio en el sector.

Las cifras muestran lo significativo que es este eslabón en términos de costos, por ejemplo, según Olsson, Hellström y Pålsson (2022) estiman que los costos asociados a la entrega final pueden representar entre el 13% y el 75% del costo total de la cadena logística, dependiendo del contexto urbano, densidad de población y modelo de operación. Para las empresas de Última Milla, la capacidad de ofrecer entregas rápidas se ha convertido en una ventaja competitiva clave, que les permite ampliar su alcance en el mercado. Sin embargo, la ausencia de un modelo de optimización de rutas genera limitaciones estructurales que impactan directamente en la operación diaria, traduciéndose en un mayor número de pedidos

que no logran salir a ruta, distancias recorridas innecesariamente y costos de transporte elevados en la flota vehicular.

Ante esta situación la empresa actualmente no cuenta con un modelo de optimización de rutas que integre variables como pedidos despachados, distancias y costos transporte impidiendo ver un panorama integral de la operación, lo que dificulta identificar rutas críticas y distribuir la carga entre los vehículos. El modelo no solo facilita una mejor utilización de la flota vehicular y un mayor número de pedidos despachados dentro de un mismo periodo, sino que también proporciona información estratégica para la toma de decisiones de mediano y largo plazo, como la asignación de recursos y la proyección de la demanda.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Interrogante Principal

- ¿De qué manera la propuesta del modelo de optimización de rutas logrará mejorar la eficiencia en la distribución de pedidos en una empresa de Ultima Milla?

1.3.2. Sistematización del Problema

1.3.2.1. Interrogantes Secundarias

- ¿Cuál es la situación actual del servicio de distribución de pedidos una empresa Ultima Milla?
- ¿Cómo puedo construir un modelo de optimización que sea capaz de construir rutas viables en función de las restricciones operativas de la empresa?
- ¿Cómo influye la propuesta del modelo de optimización de rutas en la eficiencia de la distribución medida a través de la reducción de pedidos no despachados, distancias recorridas y costos de transporte?
- ¿Cómo influye la propuesta del modelo de optimización de rutas cuando la flota propia no logra cubrir todas las rutas generadas?

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación Teórica

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad teórica de reafirmar la validez de la propuesta de un modelo de optimización de rutas para reducir distancias recorridas y costos de transporte en una empresa de Última Milla, demostrando que el diseño de la propuesta, pueda brindar soluciones óptimas, siendo está, una respuesta confiable gracias a la aplicación computarizada de las rutas propuestas, llevando a reducciones significativas en las distancias que recorre la flota vehicular propia y costos de transporte.

1.4.2. Justificación Metodológica

El trabajo de investigación se justifica metodológicamente debido a que busca desarrollar y evaluar un modelo de optimización de rutas dentro una empresa de Ultima Milla, minimizando las distancias recorridas por los vehículos.

1.4.3. Justificación Práctica

El trabajo de investigación se justifica desde el punto de vista práctico debido a la búsqueda óptima de rutas para una empresa de Ultima Milla, incluyendo temas de ingeniería, informática, matemática y programación, para poder diagnosticar el estado actual de la empresa y poder brindar una alternativa de solución, reduciendo las distancias recorridas.

1.4.4. Justificación Profesional, Académica y/o Personal

La presente investigación busca aportar al conocimiento a los criterios sólidos de la optimización en la carrera profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica de Santa María, pretendiendo poner en práctica los conocimientos adquiridos a una problemática real en el área de la optimización de rutas, a través de aplicación de algoritmos matemáticos, herramientas de diseño y gestión, contribuyendo a la reducción de recorridos innecesarios y costos de transporte.

1.4.5. Justificación Política, Económica y/o Social

La importancia de esta investigación se rige bajo el aspecto económico en una empresa de Última Milla, gracias a la reducción de distancias recorridas utilizadas para la distribución

de los pedidos, generando beneficios económicos para la empresa, tras la propuesta de implementación de un sistema basado en el algoritmo de ahorros.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Proponer un modelo de optimización que permita mejorar la eficiencia en la distribución de pedidos en una empresa de Última Milla.

1.5.2. Objetivo Específicos

- Diagnosticar la situación actual del servicio de distribución de pedidos en la empresa de última milla, identificando las características de las rutas, el volumen de pedidos y la utilización de la flota vehicular propia.
- Proponer un modelo de optimización de rutas capaz de construir rutas viables en función de las restricciones operativas de la empresa.
- Analizar la influencia del modelo de optimización de rutas en la eficiencia de la distribución, a través de la reducción de pedidos no despachados, distancias recorridas y costos de transporte.
- Analizar la evaluación económica del modelo de optimización de rutas en la gestión de la flota vehicular, estableciendo los pedidos que no pueden ser cubiertos con flota propia.

1.6. SISTEMA DE HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis Principal

- El modelo de optimización de rutas mejorará la eficiencia en la distribución de pedidos, reduciendo los pedidos no despachados en un 80 %, las distancias recorridas y los costos de transporte en un 25 % respecto a la situación actual.

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variable Independiente

- Modelo de Optimización de rutas

1.7.2. Variable Dependiente

- Eficiencia de distribución de pedidos



1.7.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1.

Operacionalización de Variables

OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Proponer un modelo de optimización que permita mejorar la eficiencia en la distribución de pedidos en una empresa de Última Milla.	Modelo de optimización de rutas.	Variable Independiente.	Es un enfoque matemático, lógico y computacional que permite determinar la secuencia óptima para visitar un conjunto de destinos minimizando la distancia recorrida.	Rutas generadas	Unidad
	Eficiencia en la distribución de pedidos.	Variable Dependiente.	Grado en que la empresa logra atender la demanda de pedidos utilizando la menor cantidad de recursos posibles.	Pedidos despachados Pedidos No despachados Distancias de recorrido Costo de transporte	Unidad Unidad Kilómetros Soles (S/.)

1.8. DISEÑO METODOLOGICO

1.8.1. Método de la Investigación

El presente trabajo, tiene un método de investigación con un enfoque cuantitativo, debido a que utilizaremos un proceso deductivo, secuencial y probatorio, analizando la realidad objetiva a partir de la recolección y análisis de datos numéricos para encontrar las soluciones óptimas.

1.8.2. Tipo de Investigación

El tipo de la investigación es de alcance correlacional, debido a que el objetivo principal es desarrollar y profundizar como a partir del modelo de optimización se puede generar rutas adecuadas y mejorar la eficiencia de distribución de pedidos.

1.8.3. Diseño de la Investigación

La presente investigación contempla un diseño experimental, debido a que el grupo evaluado estará compuesto por un conjunto de rutas seleccionadas en las que se propondrá el modelo de optimización.

1.8.4. Población

La población de esta investigación es finita debido a que son las rutas que deben recorrer todas las unidades de una Empresa de Ultima Milla, en un determinado periodo, las cuales se obtienen de una base de datos que contienen las direcciones exactas que recorren las unidades vehiculares.

1.8.5. Tipo de Muestreo y Muestra

Para calcular y analizar las rutas generadas por el modelo de optimización, no se necesita un tipo de muestreo estadístico tradicional sobre la población de rutas, debido a que el algoritmo es un método heurístico de optimización que, dada una matriz de distancias y un conjunto de demandas y restricciones, genera un conjunto específico de rutas a lo largo del tiempo. Por lo que se necesita un conjunto de datos representativos de las operaciones reales de la empresa para alimentar el algoritmo, y luego analizar las rutas que el algoritmo genere con este conjunto de datos. Estos datos representativos de entrada hacen referencia a

las coordenadas de los clientes de un mes a pesar de que se tiene la data histórica de los últimos 3 años, tomando como muestra el mes que más pedidos representó en el último año de registro.

1.9. LIMITACIONES

- El estudio se basa en una muestra correspondiente únicamente al conjunto de datos de clientes del mes más representativo del 2024, lo cual puede no reflejar con total precisión las variaciones estacionales en la demanda o en el comportamiento logístico de otros periodos del año. Por tanto, los resultados obtenidos podrían no ser representativos en contextos de alta o baja estacionalidad o demanda atípica.
- El modelo de optimización se desarrolló bajo la variante básica del VRP con capacidad (CVRP), sin considerar restricciones adicionales como ventanas de tiempo, prioridades de entrega, o tráfico en tiempo real, las cuales podrían afectar significativamente el rendimiento operativo en escenarios reales más complejos.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El contexto en la industria logística y de reparto es muy amplio, por ello la aplicación de distintas metodologías y herramientas en el mundo de la paquetería ha sido motivo de discusión en el último periodo, para la aplicación de estas mismas, las cuales, a través del presente capítulo describiremos y profundizaremos algunas investigaciones relacionadas al sistema de mejora continua, aplicada a un problema de optimización de rutas a nivel nacional como internacional.

2.1.1. Investigaciones Nacionales

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Suarez Flores (2021), pretende en su trabajo de investigación, estudiar el problema de ruteo de vehículos (VRP), en una empresa de transporte de productos químicos y peligrosos, teniendo como principales herramientas el algoritmo de ahorros, y el software Solver, buscando determinar rutas óptimas para reducir los costos de operación, formulando un modelo para equilibrar la carga de trabajo para los colaboradores de la empresa, en función a la localización de las coordenadas geográficas de los clientes respectivos, dividiendo un equivalente a 85 clientes en 7 zonas geográficas en todo Lima Metropolitana, dando como resultado un segundo escenario en donde se aprovecha en mejor medida la capacidad de los vehículos transportistas hasta en un 85%, sugiriendo además una reducción de un vehículo.

Jiménez (2022), pretende cuantificar el impacto de la aplicación del Algoritmo Clarke and Wright para mejorar la gestión del transporte en las rutas de acopio de leche producidas en su mayoría por pequeños productores que se encuentran ubicados en zonas rurales, utilizando porongos de aluminio para conservar la leche fresca buscando resolver problemas derivados del tiempo, costo de flete, la distancia y la capacidad limitada de las unidades correspondientes, incrementando en un 10.6% la utilización de la capacidad de carga de las unidades, asegurando una estabilidad operacional y una optimización en el ruteo.

Arévalo y Palma (2024), utiliza una serie de herramientas de ingeniería en las que destaca, el Mantenimiento Productivo Total (TPM), la cual es una filosofía que busca la participación organizativa de cada uno de los miembros de la empresa de servicios de transporte de cargas, y el algoritmo de ahorros Clark and Wright, además del Mantenimiento Preventivo Standardized Work (SW). Es por ello, que uno de sus principales objetivos es incrementar el rendimiento del combustible en la flota de vehículos, a partir de reducir la distancia recorrida por cada uno de ellos y evitar las fallas mecánicas que repercuten en el rendimiento del combustible, concluyendo que la flota de vehículos analizados para el estudio mejoro en un 6%, reduciendo en un 9.4% la cantidad de galones consumidos por kilómetro.

Huarcaya (2023), pretende en su trabajo de investigación, evaluar metodológicamente la viabilidad de implementar un sistema de abastecimiento que tenga en cuenta el exceso de inventario en cada punto de entrega y el retorno de empaques logísticos, con el fin de mejorar la eficiencia del abastecimiento y reducir el incumplimiento, con un total de 93 tiendas de conveniencia desde un almacén central, segmentados por distrito y por la demanda que cada tienda representa. Se utilizó la plataforma AMPL para ejecutar el modelo, realizando un análisis de distribución sobre los establecimientos que se agruparon. El principal resultado para abastecer las tiendas agrupadas es 187.25 km, ya que la función del modelo es reducir las distancias recorridas. La cantidad de vehículos requeridos por tipo también se determina como resultado de la ejecución del modelo. El modelo también permite distinguir entre nodos que solo reciben y entregan productos que podrían recolocarse en otras tiendas debido a la baja rotación y demanda.

Vitorino (2023), demuestra que las rutas actuales en la empresa Don Vito Services S.A.C. cuenta con una demanda empírica para la programación de sus operaciones, específicamente en la distribución de acuerdo a una localización geográfica en 5 distritos siendo un total de 386 clientes, y un ciclo de distribución de 6 días a la semana, por lo que se propone utilizar el método Clarke and Wright, obteniendo la matriz de ahorro de distancia por cada ruta en una hoja de cálculo en Excel, incorporando los datos obtenidos al software Driv.in en línea, por lo que no se requiere comprarlo, se paga mensual por la cantidad de personas que lo tienen que utilizar en la empresa, además el uso del aplicativo Driv.in, tiene

una interfaz que hace más simple y efectiva la entrega de la mercadería a los clientes y tener el control de las rutas prestando un mejor servicio a la distribuidora de alimentos.

Meregildo y Chaves (2023), en la investigación propuesta, diseñaron un modelo para optimizar rutas de distribución aplicando el método de ahorros de Clarke and Wright y herramientas de Google Maps. Usaron coordenadas geográficas para agrupar clientes cercanos mediante el algoritmo K-Means, formando clústeres según su ubicación y características similares. Esta clasificación facilita planificar rutas más eficientes y tomar decisiones logísticas basadas en la proximidad, aprovechando la geolocalización para mejorar la organización de las entregas.

2.1.2. Investigaciones Internacionales

Setiawan y Suseno (2024), pretende proporcionar las rutas más efectivas y económicas, comparando el método de Clarke and Wright y el método Sequential Insertion en términos de distancia de ruta y costos de distribución. El estudio se basa en datos de la fábrica de hielo Cahaya Kristal Tube Ice en Yogyakarta. Los datos recopilados incluyen información de consumidores (nombre, ubicación, cantidad de demanda), rutas de distribución iniciales, distancias del depósito a los consumidores, vehículos utilizados y costos de combustible. La fábrica utiliza un Mobil Grand Max con capacidad de 50 piezas y el costo de combustible es de Rp. 10.000 por litro, con un rendimiento de 10 km por litro. Se concluye que las rutas formadas utilizando el Algoritmo Clarke and Wright Savings son más efectivas y económicas en comparación con las rutas formadas utilizando Sequential Insertion o la ruta inicial de la fábrica, obteniendo 2 rutas de vehículos con una ruta combinada de 72 km y un costo de distribución diario de Rp. 147.000.

Anshoriy, Juhari y Nashichuddin (2023), pretenden centrarse en determinar la ruta más corta para la distribución de servicios postales exprés en la Oficina de Correos de Blitar (KRPK) de la empresa PT.POS Indonesia. El objetivo es superar obstáculos como la limitación de vehículos y la necesidad de ajustar los plazos, anticipando daños en las mercancías y retrasos en la entrega al cliente. La investigación utiliza el algoritmo de ahorro de Clarke y Wright, un método heurístico que, aunque no garantiza una solución óptima, ofrece buenas aproximaciones para encontrar rutas económicas y lograr ahorros en distancia.

La relevancia del estudio radica en la aplicación de algoritmos computacionales para soluciones sistemáticas y medibles, lo que contribuye a mejorar la calidad del servicio y la confianza del consumidor. La recopilación de datos incluye información detallada sobre las sucursales, la demanda de paquetes, los tiempos de distribución y los movimientos de la flota. Con base en el análisis de la aplicación del método de ahorro de Clarke y Wright para determinar la ruta más corta para la flota de distribución de bolsas de servicio desde la Oficina Postal Blitar KPRK (Depósito) hasta KPC (C1 a C17), se puede concluir que el Depósito tiene dos rutas iniciales con una distancia total de entrega de 189,7 km ahorrando un 9,85% en tiempo de viaje.

Cengiz (2022), en su artículo de investigación desarrollo una propuesta para el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) en la distribución de ayuda humanitaria, debido a que, en situaciones de desastres naturales, es crucial considerar múltiples criterios más allá de la distancia o el coste, como la densidad del tráfico o el estado de la carretera, para asegurar una distribución de ayuda más orientada a las necesidades y que minimice el sufrimiento de las personas afectadas. Para ello, proponen un algoritmo de ahorro de Clarke y Wright modificado, que integra el método de la Técnica de Preferencia de Orden por Similitud con una Solución Ideal (TOPSIS). Este método busca evaluar el efecto de diferentes criterios al crear la matriz de ahorro en el algoritmo Clarke and Wright, utilizando coeficientes de importancia determinados por el método TOPSIS. Aunque el algoritmo clásico de Clarke and Wright es preferido por su simplicidad, el método propuesto presenta limitaciones inherentes a su capacidad subyacente del algoritmo VRP. Como futura línea de investigación, se sugiere integrar este enfoque con metaheurísticas basadas en ahorros para evitar la optimalidad local, permitiendo la evaluación de situaciones complejas como demandas estocásticas o distancias asimétricas, y explorar otras técnicas para determinar los coeficientes de importancia en las prioridades de ruta.

Guerriero y Saccomanno (2024), en su investigación propuesta se aborda el Problema de Enrutamiento de Vehículos Capacitado (CVRP), el cual es NP-difícil y para el que se utilizan heurísticas como el algoritmo de Clarke-Wright debido a la complejidad computacional de encontrar soluciones exactas para instancias grandes. Este estudio presenta una implementación del algoritmo CW en unidades de procesamiento gráfico (GPU) utilizando el framework CUDA. Los resultados de la comparación entre la implementación

en GPU y su contraparte en CPU demuestran mejoras significativas en los tiempos de ejecución y rendimiento, especialmente para instancias de gran escala, lo que se atribuye a la capacidad de procesamiento paralelo de las GPU.

Stopka (2020), en su investigación realizada se aplica el método de Clarke-Wright para diseñar rutas de entrega óptimas, con el fin de minimizar la distancia recorrida y mejorar la utilización de la capacidad de los vehículos en la distribución de carga urbana, específicamente en Žilina, República Eslovaca. El estudio compara las rutas originales, con una distancia total de 57.4 km y una utilización promedio de capacidad del 63.88%, con las optimizadas por el método de Clarke-Wright, que lograron una distancia total de 26.1 km y una utilización promedio de capacidad del 95.48%. Además, se sugieren futuras investigaciones centradas en sistemas de distribución intermodales y la implementación de sistemas de información eficaces.

Según Pratiwi y Syafitri (2023), en la investigación realizada, se aborda el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP) para la distribución de cerámica. El estudio compara la eficacia de los algoritmos Nearest Neighbor y Clarke and Wright para optimizar las rutas de distribución de una empresa. Se encontró que la ruta original de la empresa tenía una distancia total de 319.9 km. El algoritmo Nearest Neighbor logró una reducción de 79 km (un ahorro del 24.69%), resultando en 240.9 km. Por otro lado, el algoritmo de Clarke y Wright Savings obtuvo una reducción de 80.7 km (un ahorro del 25.22%), resultando en 239.2 km. Se concluye que el algoritmo de Clarke y Wright Savings es más óptimo para reducir el kilometraje en comparación con el algoritmo Nearest Neighbor.

Según Nurcahyo, Irawan y Kristanti (2023), en la investigación propuesta, se aborda la optimización de rutas de distribución para empresas con el objetivo de mejorar la eficiencia logística y reducir los altos costos de transporte, que representan aproximadamente dos tercios de los costos logísticos totales. El estudio se centra en PT. XYZ, una empresa dedicada al mantenimiento de cajeros automáticos (ATM), que enfrenta desafíos logísticos como la imposibilidad de alcanzar los objetivos de instalación debido a las largas distancias y la congestión urbana, lo que incrementa sus gastos operativos. Para resolver estos problemas, la investigación aplica el Algoritmo de Ahorro de Clarke-Wright, logrando una

reducción significativa de 97.9 km en la distancia total y, consecuentemente, en los costos de envío.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Comercio Electrónico

El e-commerce o comercio electrónico desempeña actualmente un papel muy importante en la economía mundial, creciendo exponencialmente luego de la pandemia del covid-19, consistiendo principalmente en la compra/venta globalizada de bienes o servicios ofreciendo este intercambio en todas las formas de distribución posibles de web. Para Robayo (2020), el comercio electrónico involucra el uso de Internet, la World Wide Web (web), las aplicaciones móviles (apps) y los buscadores (browsers) que corren en los dispositivos móviles para la realización de transacciones de negocio, y puede ser definido como las transacciones comerciales habilitadas digitalmente entre organizaciones e individuos. Estas transacciones habilitadas digitalmente se realizan a través de medios digitales y son transacciones comerciales porque involucran el intercambio de valor entre las organizaciones y los individuos en retorno de un producto o servicio. Así mismo se distinguen varios tipos de comercio electrónico:

- Empresa a Empresa (business to business, B2B)
- Empresa a Consumidor (business to consumer, B2C)
- Consumidor a Consumidor (consumer to consumer, C2C)
- Consumidor a Empresa (consumer to business, C2B)
- Empresa a Administración (business to administration, B2A)
- Consumidor a Administración (consumer to administration, C2A)
- Compañeros a Compañeros (peer to peer que son personas de igual estanding, P2P)

Esta nueva modalidad de transacciones que hacen los usuarios a nivel mundial supone una oportunidad de negocio para las empresas de Última Milla que deseen utilizar su cadena de suministro de manera oportuna, para la entrega de paquetes, documentos, mercancías entre otros.

2.2.2. Servicios Logísticos en una Empresa de Última Milla.

Según Camargos y Beraldo (2020) en el comercio electrónico, la logística busca centrarse en la agilidad de las entregas, el cumplimiento de los plazos y, la entrega de pedidos en menos tiempo del prometido. La atención al cliente es el componente que diferencia la logística moderna del enfoque tradicional; actualmente, la importancia no reside únicamente en la búsqueda de la eficiencia operativa, sino también en la satisfacción de las necesidades del cliente.

Iqbal (2023) una empresa de Última Milla especializada en la entrega final de productos desde un centro de distribución o centro de acopio hasta el cliente final. En los últimos años, los avances tecnológicos y los cambios en el comportamiento del consumidor han llevado a un mayor enfoque en la logística de última milla. Sin embargo, las empresas de esta naturaleza plantean desafíos debido a su complejidad e incertidumbre que afectan tanto a las organizaciones o proveedores de servicios logísticos como a los clientes.

2.2.3. Cadena de suministro en una empresa de Última Milla

A diferencia de otras empresas, la cadena de suministro de una empresa de Última Milla utiliza mejores tecnologías de información para el rastreo de productos que circulan en el comercio exterior. Busca la coordinación e integración de todos los entes que participan en las actividades vinculadas al movimiento físico e informativo de productos, desde su recogida, y generación de nuevos códigos, hasta el transporte de productos enviados al cliente final, abarcando estrategias de gestión en sistemas, y recolección de información para la administración del inventario, transportación, almacenamiento y atención al cliente.

Según Correia (2021) la digitalización ha puesto en evidencia ineficiencias significativas en el rendimiento de la cadena de suministro. Estas deficiencias no solo perjudican a las empresas y a los consumidores, sino que también tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Para superar estos problemas y ofrecer un servicio personalizado al cliente, es fundamental la colaboración y el intercambio de recursos entre todos los actores de la cadena de suministro. A pesar de los avances tecnológicos, la logística de entrega sigue siendo un reto considerable. Por ejemplo, si un cliente desea adquirir un producto de un mercado distante, su envío aún implica un gran esfuerzo logístico, requiriendo la

combinación de múltiples modos de transporte, tanto urbanos como transcontinentales, para que el producto llegue a su destino final.

2.2.4. Eficiencia

Para Rosales (2021) la eficiencia logística se refiere a la capacidad de las organizaciones para administrar de forma efectiva los procesos de la cadena de suministro, incluyendo el almacenamiento, transporte y distribución, optimizando recursos, reduciendo costos y garantizando el cumplimiento de los requerimientos del cliente mediante una gestión tecnológica y coordinada. Según Cardona y Balza (2020), la eficiencia logística constituye una de las tres dimensiones fundamentales del desempeño logístico y tiene una incidencia directa en la competitividad empresarial, ya que permite reducir los costos de transacción y mejorar el nivel de servicio ofrecido al cliente.

2.2.5. Flota Vehicular

La flota vehicular es el conjunto de medios de transporte que posee una empresa para constituir el canal de distribución por medio del cual viajan los productos. Representan un papel fundamental en las operaciones de una empresa Última Milla, debido a su rendimiento medido por tiempos de entrega, indicadores de distancias y consumo de combustible, capacidad, y la satisfacción del cliente. Una gestión optimizada de estos indicadores puede reducir los gastos operativos, minimizar el impacto ambiental y, en última instancia, mejorar la rentabilidad de la empresa, lo que se traduce en un mejor servicio al cliente. (Bermúdez & Sarmiento, 2020).

2.2.6. Enrutamiento

Según Zapata, Vélez y Arango (2020) definen al enrutamiento como una técnica enfocada en diseñar el recorrido de reparto ideal para todas las entregas pendientes, buscando siempre la mejor ruta posible. Para lograrlo, se pueden utilizar tanto herramientas tecnológicas avanzadas como métodos más tradicionales, con el objetivo primordial de cumplir con los plazos de entrega acordados. Sin embargo, la realidad es que la mayoría de las empresas todavía gestionan esta demanda de forma empírica y manual. Esto significa que las decisiones se basan en la experiencia y el conocimiento personal, lo que a menudo lleva a maximizar las distancias y los tiempos de recorrido. Esta aproximación limita significativamente la capacidad de encontrar una ruta verdaderamente óptima, generando

ineficiencias que pueden afectar los costos operativos, el consumo de combustible, los tiempos de entrega y, en última instancia, la satisfacción del cliente.

2.2.7. Investigación Operativa

La investigación operativa en la Ingeniería Industrial se ha encargado de emplear técnicas matemáticas, estadísticas y de optimización para solucionar problemas complicados vinculados a la administración y planificación de sistemas. Esta disciplina se ha convertido según Alzate (2022) en una de las principales áreas de estudio en el ámbito científico y empresarial debido a su capacidad para mejorar los procesos de toma de decisiones y maximizar el rendimiento de los sistemas. La investigación de operaciones utiliza una metodología sencilla para acercarse a la solución de problemas que requieren de optimización. Tal metodología puede expresarse como sigue:

- Identificación del problema que requiere de la investigación de operaciones y recopilación de información.
- Planteamiento del modelo matemático.
- Solución del problema matemático y ajustes al mismo.
- Implementación de la mejor solución

2.2.8. Programación lineal entera

La programación lineal entera es un método matemático de resolución de problemas donde el objetivo es maximizar o minimizar un resultado a partir de seleccionar los valores específicamente enteros de un conjunto de variables de decisión, respetando restricciones correspondientes a disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas, u otras condicionantes que limiten la libertad de elección, permitiendo analizar y elegir la mejor alternativa entre muchas. Se utiliza para resolver problemas donde las soluciones continuas no son viables, como en planificación de recursos, rutas o de producción. Por ejemplo, un problema que puede ser formulado por la programación lineal entera es el Problema Del Agente Viajero o TSP en sus siglas como (Travelling Salesman Problem) usado para métodos de optimización aplicados en campos como relacionados a la planificación, logística, y la fabricación de circuitos.

Según Gómez, Martínez, Hernández, Ravell y Ocaña (2020) la programación lineal es una técnica clave en la investigación operativa, emplea métodos de programación matemática basados en el álgebra matricial para resolver problemas de optimización. Sin embargo, un obstáculo común surge de la necesidad de trabajar con números racionales. Este requerimiento puede llevar a errores significativos en la solución del problema, especialmente cuando hay falta de conocimiento sobre cómo realizar estas operaciones o un manejo inadecuado de las calculadoras.

2.2.9. Optimización de rutas

De acuerdo a Jiménez, Sánchez, Keewong y Bazán (2020), la optimización de rutas es un área de investigación que busca elegir la opción más adecuada entre varias alternativas bajo ciertas limitaciones, y se puede abordar desde diversas perspectivas, como la optimización matemática, la de procesos o la de trayectorias. Los autores indican que los modelos de optimización representan la realidad de manera abstracta y posibilitan el análisis de procesos complejos según el tipo de solución requerido, siendo un problema de optimización combinatoria que busca establecer la secuencia óptima de nodos geográficos para reducir tiempo y distancia, administrando de manera eficiente recursos como vehículos, conductores y presupuesto. En el ámbito del sector petrolero, los trayectos se representan como redes compuestas de nodos y aristas, simbolizando pozos y rutas respectivamente, lo que se vincula al Problema del Viajante (Traveling Salesman Problem, TSP) en la teoría de optimización.

2.2.10. Teoría de la Complejidad Computacional

Según Zaidan (2023), la teoría de la complejidad computacional es una rama de la informática teórica que estudia la eficiencia con la que se pueden resolver los problemas mediante algoritmos, clasificándolos en función del tiempo y recursos requeridos para su resolución. Esta teoría distingue entre problemas fácilmente resolubles o aquellos donde podemos encontrar la solución en un tiempo razonable, conocidos como clases de complejidad P, por su tiempo polinomial determinista y por otro lado de clase NP, de tiempo polinomial no determinista problemas cuya solución puede verificarse rápidamente, pero cuya resolución puede ser computacionalmente costosa. Un problema pertenece a NP si una solución propuesta puede verificarse en tiempo polinomial.

La eficiencia de los cálculos es crucial porque nos dice qué problemas podemos resolver en un tiempo práctico y cuáles no. También nos da una idea del esfuerzo y el tiempo que costará cada cálculo. Por ejemplo, algunas aplicaciones como Waze necesitan darte una respuesta casi al instante sobre la mejor ruta. En cambio, otros problemas en campos como la ciencia o la ingeniería no requieren una solución inmediata, pero sí esperamos que se resuelvan en un tiempo razonable para obtener respuestas importantes. Según Segev y Wigderson (2024) para abordar un problema computacional primero, necesitas establecer la relación entre lo que entra (input) y lo que sale (output), es decir, definir la función. Una vez que tienes esa función, la segunda fase es descubrir una forma eficiente de resolver el problema.

Esto podría implicar encontrar una solución rápida, estimar una respuesta, o incluso probar que el problema es demasiado complejo para ser resuelto en un tiempo aceptable. En la rama de la ingeniería informática quienes se dedican a la teoría de la complejidad computacional, se enfocan mucho en la eficiencia de los cálculos. Al fin y al cabo, cada cálculo no es más que una serie de operaciones aplicadas a los datos de entrada para obtener un resultado, y a esa serie de operaciones se conoce como algoritmo. (Chotchovea, 2021)

La cuestión de si $P = NP$ fue formalmente planteada por Stephen Cook en 1971, quien introdujo también el concepto de NP-completitud, y es actualmente uno de los principales problemas abiertos en ciencias computacionales (Buriol, Figueiredo, Resende, & Uchoa, 2020). Esta pregunta tiene profundas implicaciones prácticas: si P fuera igual a NP , problemas complejos como el VRP podrían resolverse de forma óptima con algoritmos eficientes, lo cual transformaría muchos campos, desde la logística hasta la criptografía. Sin embargo y dado que no se ha demostrado que $P = NP$, y debido a la complejidad intrínseca del VRP, es habitual recurrir a técnicas heurísticas, las cuales, aunque no garantizan una solución óptima, permiten obtener resultados de alta calidad en tiempos computacionales aceptables (Neukart, 2024).

2.2.11. Problema del Agente Viajero (TSP)

El TSP, según Eggert (2023), es uno de los problemas más emblemáticos en optimización combinatoria, que busca la ruta más corta que visita una serie de ciudades

exactamente una vez y retorna al origen. Es un problema NP-hard, lo que implica que no se conocen algoritmos que garanticen una solución óptima en tiempo polinomial para todas las instancias posibles. Además, en su tesis presenta un crecimiento combinatorio de complejidad factorial del TSP, donde el número de rutas posibles en su versión simétrica se expresa mediante la fórmula $\frac{(n-1)!}{2}$. Esta expresión permite cuantificar el número total de permutaciones posibles descartando rutas duplicadas en sentido inverso y fijando un punto de partida, ejemplificando solo 24 nodos, un algoritmo de fuerza bruta tomaría miles de millones de años en procesar todas las combinaciones, lo que lo vuelve impracticable para aplicaciones reales.

Las aplicaciones del TSP van más allá de la logística de rutas. Se ha utilizado en la optimización de rutas de vehículos, la distribución de productos, el diseño de circuitos electrónicos, el mapeo genético, la robótica y la producción industrial, incluso en entornos inciertos, como los que modelan datos con variables difusas o ambientes neutrosóficos, se han desarrollado técnicas avanzadas para obtener soluciones casi óptimas (Dhouib, 2021).

Por otro lado, el trabajo de investigación de Bérczi, Mních y Vincze (2022) introduce una serie de algoritmos de aproximación con garantías de rendimiento para variantes del TSP con múltiples agentes (mTSP), como el mTSP con regreso al depósito y sin regreso. El enfoque metodológico considera estas variantes para evaluar la versatilidad de algoritmos en contextos logísticos más cercanos a la realidad. Estas técnicas permiten una evaluación combinada de rendimiento y factibilidad, permitiendo comparar las rutas generadas frente a un mínimo estimado teórico o heurístico.

2.2.12. Problema de Ruteo de Vehículos (VRP)

Según Ruiz (2021) los modelos matemáticos del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) tradicionalmente buscan minimizar distancias, costos de viaje y/o tiempos de recorrida, dada para que una flota de vehículos visite, un conjunto de clientes y centros de acopio máximo una sola vez, los cuales están dispersos geográficamente en un territorio, y cumplen con algunas restricciones dependiendo de la variante del problema.

Según Agárdi, Kovács y Bányai (2022), existen varios tipos de VRP los cuales, se distinguen en función de componentes como, nodo, vehículo, tiempo, producto, costo, tipo de valor y parámetro funcional. En la tabla 2 se resumen los principales tipos de problemas de VRP.

Tabla 2.

Tipos de VRP

Nombre	Descripción
Componente Nodo	
Problema del Agente Viajero	Un solo agente (vehículo) visita las ciudades (clientes). El vehículo realiza un viaje. El objetivo es minimizar la distancia que recorre. Las ciudades (clientes) no tienen demanda de productos.
Problema de enrutamiento de vehículos con un solo depósito	Los vehículos parten de un depósito común, visitan a los clientes (entregan los productos) y luego regresan al depósito (después de la visita de los clientes).
Problema de enrutamiento de vehículos con múltiples depósitos	El sistema incluye varios depósitos; cada vehículo inicia su ruta desde uno de ellos y regresa allí al finalizar su recorrido.
Problema de enrutamiento de vehículos de dos niveles	Los productos se transportan primero desde el depósito a ubicaciones intermedias (satélites) y luego a los clientes. El transporte de productos entre un depósito-satélite y un satélite-cliente puede realizarse mediante diferentes tipos de vehículos (con capacidad limitada).
Problemas de enrutamiento de vehículos con congestión de tráfico	El tiempo entre cada nodo (depósitos, satélites, clientes) también depende del tráfico. El objetivo es que los vehículos completen su ruta lo antes posible.
Componente Vehículo	
Problema de enrutamiento de vehículos de flota homogénea	El sistema incluye vehículos del mismo tipo.
Problema de enrutamiento de vehículos de flota heterogénea	El sistema incluye diferentes tipos de vehículos.
Problema de enrutamiento de vehículos con capacidad	Los vehículos tienen una capacidad limitada para los productos.
Problema de enrutamiento de vehículos ecológicos de bajo consumo de combustible	El objetivo es minimizar las emisiones de combustible de los vehículos.
Componente Tiempo	

Problema de Enrutamiento de Vehículos con Ventana de Tiempo	Los clientes pueden tener diferentes ventanas de tiempo. Sus demandas de productos deben atenderse dentro de la ventana de tiempo. El cliente puede tener una o varias ventanas de tiempo.
Problema de Enrutamiento de Vehículos con Múltiples Ventanas de Tiempo	Se han añadido múltiples ventanas de tiempo a los clientes. Las demandas de productos de los clientes deben satisfacerse dentro de una ventana de tiempo.
Problema de Enrutamiento de Vehículos con Ventana de Tiempo Flexible	Las demandas de los clientes pueden atenderse fuera de la ventana de tiempo, pero en ese caso existe un punto de penalización.
Problema de Enrutamiento de Vehículos con Capacidad Acumulativa	El objetivo es minimizar la latencia en los nodos.

Componente Costo

Problema de Enrutamiento selectivo de vehículos	No se satisfacen todas las demandas de los clientes, solo las que son rentables.
Problema de enrutamiento de vehículos abierto	Existen uno o más depósitos en el sistema desde los cuales los vehículos salieron para visitar a los clientes. Sin embargo, los vehículos no regresan al depósito después de visitar a los clientes.
Problema de enrutamiento de vehículos en múltiples depósitos con rutas entre depósitos	El sistema cuenta con uno o más depósitos desde los cuales los vehículos salen para visitar a los clientes. Una vez visitados los clientes, los vehículos pueden regresar a cualquier depósito.
Problema de enrutamiento de vehículos con recogida y entrega	No solo la entrega, sino también la recogida de productos es importante.
Problema de enrutamiento de vehículos con cross-docking	Los productos recogidos no se almacenan durante mucho tiempo; la fase de entrega comienza casi inmediatamente después de la recogida.

Nota. Elaborador a partir de “*Mathematical Model for the Generalized VRP Model*” por Agárdi, Kovács y Bányai (2022), MDPI.

Al integrar diversas características complejas, como una flota heterogénea capacitada, entregas y recogidas simultáneas, ventanas de tiempo flexibles y múltiples depósitos, según Bezerra (2020) se clasifica este problema como "NP-hard", lo que significa que encontrar la solución óptima es computacionalmente complejo para problemas de gran tamaño, siendo un desafío logístico que impacta a miles de empresas globalmente.

Según Errami, Queiroga, Sadykov y Uchoa (2023), en los últimos años, el campo de la optimización ha hecho grandes progresos en la resolución óptima de Problemas de Enrutamiento de Vehículos (VRP). Los complejos algoritmos de "Branch-and-Cut-and-Price" (BCP), utilizados para las variantes más comunes del VRP, ahora pueden resolver eficientemente numerosas instancias que involucran hasta varios cientos de clientes. Asimismo, los solucionadores heurísticos han avanzado notablemente, logrando soluciones de alta calidad para instancias aún más grandes en poco tiempo. Por esta razón, es probable que estas heurísticas sigan siendo la opción más práctica y preferida para la mayoría de las aplicaciones reales del VRP.

2.2.13. Modelo Matemático de Problema de Ruteo de Vehículos

Según Urango, Hernández y López (2020) dado un conjunto de nodos que representan las ciudades o clientes y el conjunto de arcos que los conectan, relacionados con la matriz de costos $C = (c_{ij})$, de tamaño $N \times N$, de modo que cada arco tiene asignado un costo C_{ij} . P_i que especifica la información de demanda de cada cliente y P_k que contiene los datos de capacidad máxima de los vehículos. La flota está compuesta por M vehículos, es decir, $1 \leq k \leq M$. El problema tiene el objetivo de encontrar una matriz $X = (x_{ijk})$, de tamaño $N \times N \times M$, donde las variables binarias x_{ijk} indican si el arco (i, j) se utiliza en la solución para ser visitado por k . La formulación del problema se muestra a continuación:

i = nodo de partida i (1,2, 3, ..., n)

j = nodo de llegada j (1,2, 3, ..., n)

k = vehículo k (1,2, 3, ..., K)

Definición de Variables

C_{ij} = Distancia recorrida del nodo i al nodo j

$X_{ijk} = 1$ Si se asigna el vehículo k para recorrer el arco del nodo i al nodo j 0 De lo contrario

K = Número de recursos (vehículos) a utilizar.

P_k = Capacidad máxima de unidad vehicular

p_i = representa la demanda del cliente i .

Función Objetivo:

$$\min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M C_{ij} X_{ijk}$$

Sujeto a:

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

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in [1, N] \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{i=1}^N X_{ijk} \quad \forall k \in [1, M], i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_i X_{ijk} \leq P_k \quad \forall k \in [1, M] \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \in S}}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \in S}}^N X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \begin{array}{l} |S| \geq 2, \\ k \in [1, M] \\ \forall i, j \in [1, N] \\ \forall k \in [1, M] \end{array} \quad (5)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (6)$$

La ecuación (1) limita el número total de vehículos utilizados a un máximo de M , la restricción (2) asegura que cada cliente (excepto el depósito o centro de acopio, que es el nodo 0) sea visitado exactamente una vez. La restricción (3) garantiza que el número de veces que un vehículo entra en un nodo sea igual al número de veces que sale, asegurando así que las rutas sean completas. La restricción (4) limita la carga total de cada vehículo k a su capacidad máxima P_k . Aquí, p_i representa la demanda del cliente i . Por última la restricción (5) evita subciclos, es decir, que un vehículo visite un subconjunto de clientes múltiples veces sin regresar al depósito.

2.2.14. Softwares para la resolución del VRP

Un software para resolver un VRP, consiste en plataformas y librerías computacionales que se utilizan para determinar las rutas más eficientes para una flota de vehículos que debe atender a un conjunto de clientes. Sus aplicaciones son transversales a cualquier sector que involucre la distribución y logística. Sin embargo, actualmente el VRP al ser de naturaleza NP - hard, implica que el tiempo de cálculo para encontrar la solución óptima crece exponencialmente con el número de clientes y vehículos. Por ello, la mayoría de los softwares utilizan heurísticas para encontrar soluciones de alta calidad en un tiempo razonable.

Según Masson, Paravié, Rohvein y Villalba (2021), en un mercado globalizado y tecnológico, la logística es crucial para las empresas, llegando a constituir hasta un 25% del costo de un producto. Por ello, los programas para optimizar un VRP son una gran oportunidad para mejorar la eficiencia de las pymes en Argentina. Así mismo, en su artículo de investigación a partir de la ejecución de numerosas pruebas y tomando como ejemplo un problema real aplicado en pequeñas y medianas empresas se comparó cada software, realizando un análisis de caracterización, y definiendo los programas informáticos como los más adecuados y aptos para su aplicación, los cuales se detallan a continuación en la tabla 3:

Tabla 3.

Softwares para resolver un VRP

Software	Formato	Restricciones	Vehículos	Resolución Gráfica	Resolución Analítica	Data adicional
SimpliRoute	Uso en navegador web. Requiere creación de cuenta.	Acceso gratuito total durante 14 días.	Suficiente, sin especificaciones de velocidad.	Limitada.	Adecuada.	Posibilidad de descarga en dispositivos móviles.
RouteXL	Uso en navegador web.	Acceso gratuito a un número limitado de herramientas.	Insuficiente.	Limitada.	Limitada.	Posibilidad de descarga en dispositivos móviles.
Routific-Main	Uso en navegador web. Requiere creación de cuenta.	Acceso gratuito a herramientas limitadas durante 7 días.	Insuficiente.	Adecuada.	Adecuada.	No permite que el vehículo regrese al almacén al completar su capacidad. El número de vehículos no se puede modificar.
OptimoRoute	Uso en navegador web. Requiere creación de cuenta.	Acceso gratuito total durante 30 días.	Suficiente, sin especificaciones de velocidad.	Adecuada.	Adecuada.	El número de vehículos no se puede modificar.
VRP Spreadsheet Solver	Se descarga e instala en el computador. No requiere creación de cuenta.	Acceso gratuito ilimitado.	Suficiente.	Limitada.	Adecuada.	Se pueden usar datos en tiempo real a través de la plataforma Bing Maps.
ArcGIS Online	Uso en navegador web. Requiere creación de cuenta.	Acceso gratuito total durante 21 días.	Insuficiente.	Adecuada.	Adecuada.	Cargas y capacidades no especificadas. Bueno para optimizar en tiempo y distancia.

Nota. Adaptada de *Revisión de Software de Resolución de Problemas de Ruteo de Vehículos* por A. Masson, D. Paravié, C. Rohvein y L. Villalba, 2021, *INGECUC*, 17(1), 315–328.

La efectividad del software depende críticamente de la precisión de los datos de entrada: coordenadas exactas de los clientes, tiempos de servicio realistas, y una matriz de distancias que refleje las condiciones reales del tráfico y las vías. Los modelos estándar a menudo tienen dificultades para manejar imprevistos en tiempo real, como cambios de pedidos, congestión vehicular inesperada o cierres de calles.

2.2.15. Algoritmos de Resolución del VRP

El problema de ruteo de vehículos implica una gran complejidad en su aplicación matemática para ser resuelto, no solo por las soluciones exactas difíciles de encontrar sino por formulación tradicional del problema gracias a una inmensa cantidad de variables que

se suscitan en las organizaciones. Para abordar esta complejidad, se han desarrollado diversos enfoques que se clasifican principalmente en tres grupos, los cuales nos permiten seleccionar la estrategia más adecuada según el tamaño del problema, las restricciones operativas y el tiempo de cálculo disponible (Elatar, Abouelmehdi, & Essaid, 2020). Se describen a continuación:

2.2.15.1. Métodos Exactos

Dentro de los enfoques metodológicos para la resolución exacta del VRP, dos aplicaciones destacadas son el método basado en generación de columnas y el método exacto por fragmentación de rutas. El primero, implementado en la herramienta VRPy en Python, utiliza la generación de columnas y la descomposición de Dantzig-Wolfe para resolver eficientemente variantes del VRP, dividiendo el problema en un maestro restringido y subproblemas, y es adecuado para evaluar el desempeño en instancias pequeñas (hasta 50 nodos) de conjuntos de datos benchmark (Montagné, Torres, & Olsen, 2020).

Por su parte, el método exacto por fragmentación de rutas propone una resolución precisa del VRP mediante la construcción de rutas parciales predefinidas (fragmentos) que se combinan luego en un modelo de programación entera. Este enfoque, que modela el VRP como un problema de Set Partitioning y se resuelve con técnicas como Branch-and-Cut, mejora la escalabilidad de los métodos exactos tradicionales, manteniendo la precisión para problemas medianos (Mehsin, 2020).

2.2.15.2. Heurísticas

Las heurísticas, como el algoritmo de ahorros de Clarke y Wright, el algoritmo de barrido (Sweep) y las heurísticas de inserción, son soluciones efectivas para problemas de optimización de rutas de gran envergadura. Estas metodologías proporcionan una combinación entre facilidad de cálculo y calidad de resultados, siendo particularmente efectivas en entornos logísticos con recursos escasos. Su facilidad para implementarse y su adaptabilidad a limitaciones operativas, como la capacidad o el tiempo de servicio, las transforma en recursos muy recomendados para aquellas organizaciones que desean mejorar la eficiencia en sus procesos de distribución. Por su parte, el algoritmo de ahorros de Clarke y Wright integra rutas de clientes considerando los ahorros obtenidos al conectar trayectos, dando prioridad a las uniones más beneficiosas sin sobrepasar las limitaciones de carga. En

el sector del hormigón prefabricado, su uso logró disminuir en un 11,49 % las distancias totales y las emisiones de CO₂ en relación con la heurística Sweep. En contraste, las heurísticas de inserción crean rutas desde el principio, incorporando clientes de manera iterativa en las ubicaciones que producen el menor aumento en la distancia o costo total, preservando soluciones eficientes y viables incluso en contextos logísticos cambiantes. (Arifian & Pulansari, 2023).

2.2.15.3. Metaheurísticas

Las metaheurísticas son procedimientos genéricos que, mediante algoritmos aproximados, guían una heurística subordinada combinando la exploración del espacio de soluciones para problemas de optimización, obteniendo mejores resultados que las heurísticas clásicas en un período más largo; sin embargo, este tiempo es menor que si se utilizan los métodos exactos. Una de las metaheurísticas más aplicada en numerosas implementaciones incluyendo variantes e hibridaciones con otros procedimientos como la búsqueda de vecindad variable o el reenlace de rutas, con las que esta metaheurística ha demostrado ser muy eficaz en la práctica. GRASP cuenta con un proceso de múltiples inicios en el que cada paso consta de una fase de construcción y una de mejora. En la fase de construcción, el proceso heurístico constructivo obtiene una buena solución inicial, que se mejora en la segunda fase mediante un algoritmo de búsqueda local, la mejor de todas las soluciones examinadas se guarda como resultado final (Sandoya, Letamendi, & Sanabria, 2020).

Por otro lado, según Muriyatmoko (2024), metaheurísticas existentes como Greedy Descent, Búsqueda Local Guiada, Recocido Simulado, Búsqueda Tabú, los cuales con herramientas como Google OR Tools y lenguaje de programación Python y Google Colab demostraron ser más eficaces que heurísticas como Ruta Arco más barato, Ruta Arco más restringido, Ahorros y Christofides en un escenario de capacidades diferentes, aunque en escenarios para un solo vehículo, o vehículos con capacidades homogéneas los resultados muestran que las heurísticas y metaheurísticas generan rutas similares en cuanto a tiempo y distancia de recorrido (Muriyatmoko, Djunaidy, & Muklason, 2024).

2.2.16. Algoritmo De Ahorro Clark and Wright

Según Cengiz (2021), el algoritmo de ahorros ha sido un método fundamental para resolver VRP desde 1964, combinando rutas para minimizar las distancias o los costos totales. Desde su desarrollo, el algoritmo ha sido objeto de numerosas mejoras y extensiones por parte de distintos investigadores en función de diferentes escenarios y restricciones. El concepto central del algoritmo se base en el cálculo de ahorros. Siendo la distancia que se evita al fusionar dos rutas.,E l algoritmo calcula este ahorro con la siguiente fórmula:

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$$

donde C_{i0} y C_{0j} son los costos de viaje del depósito a los clientes i y j respectivamente, y C_{ij} es el costo del viaje directo entre i y j . Se evalúan y fusionan las rutas que ofrecen los mayores ahorros. La figura 1 es un diagrama que detalla cómo se debe realizar el algoritmo en cuestión.

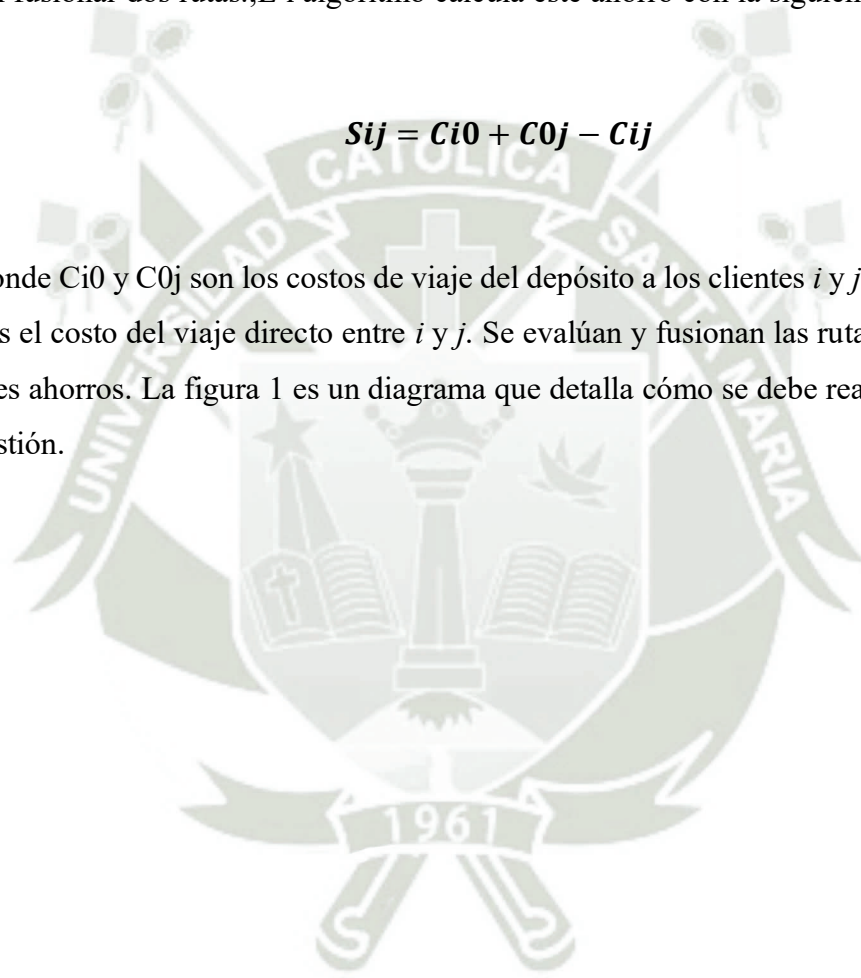
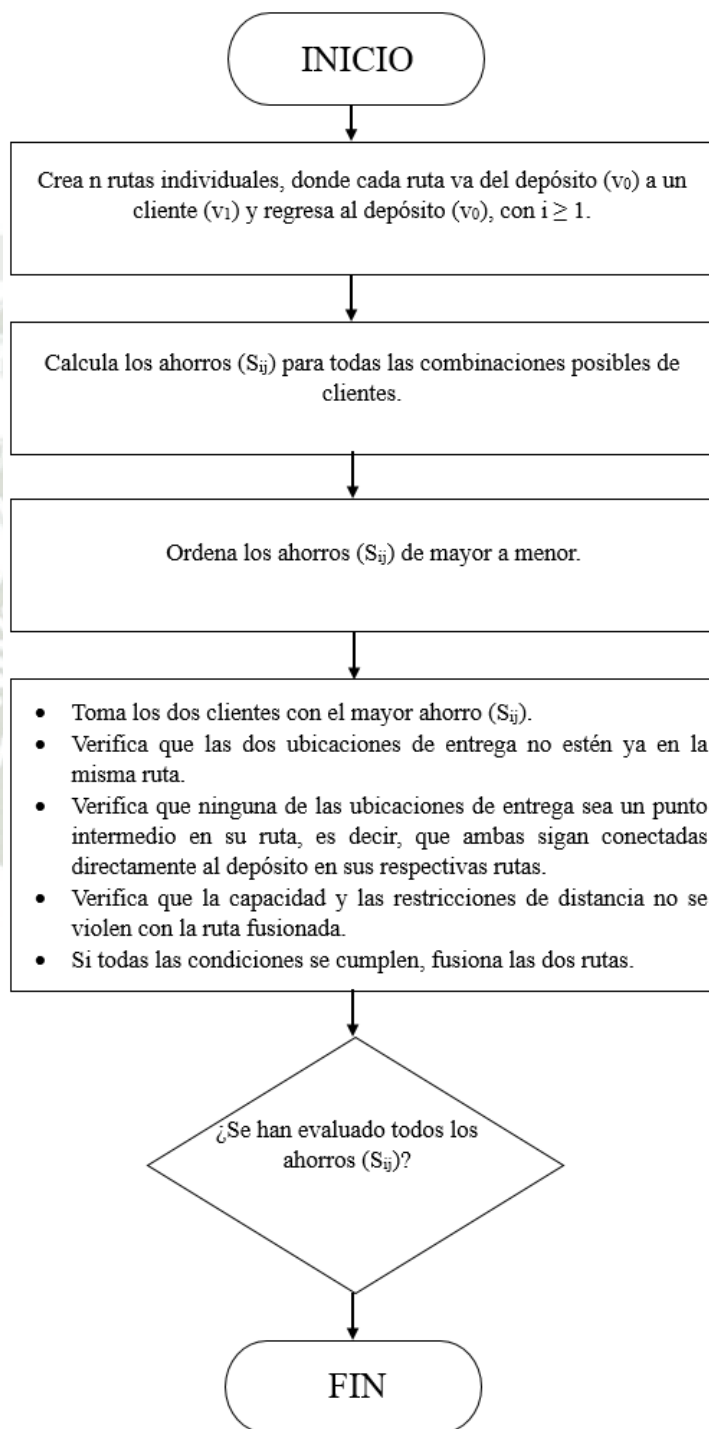


Figura 1.

Diagrama de flujo del procedimiento del algoritmo de ahorros



Nota. Diagrama de flujo del algoritmo Clarke and Wright. Adaptado de “A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution”, por M. C. Toklu, 2022, Journal of Intelligent Manufacturing.

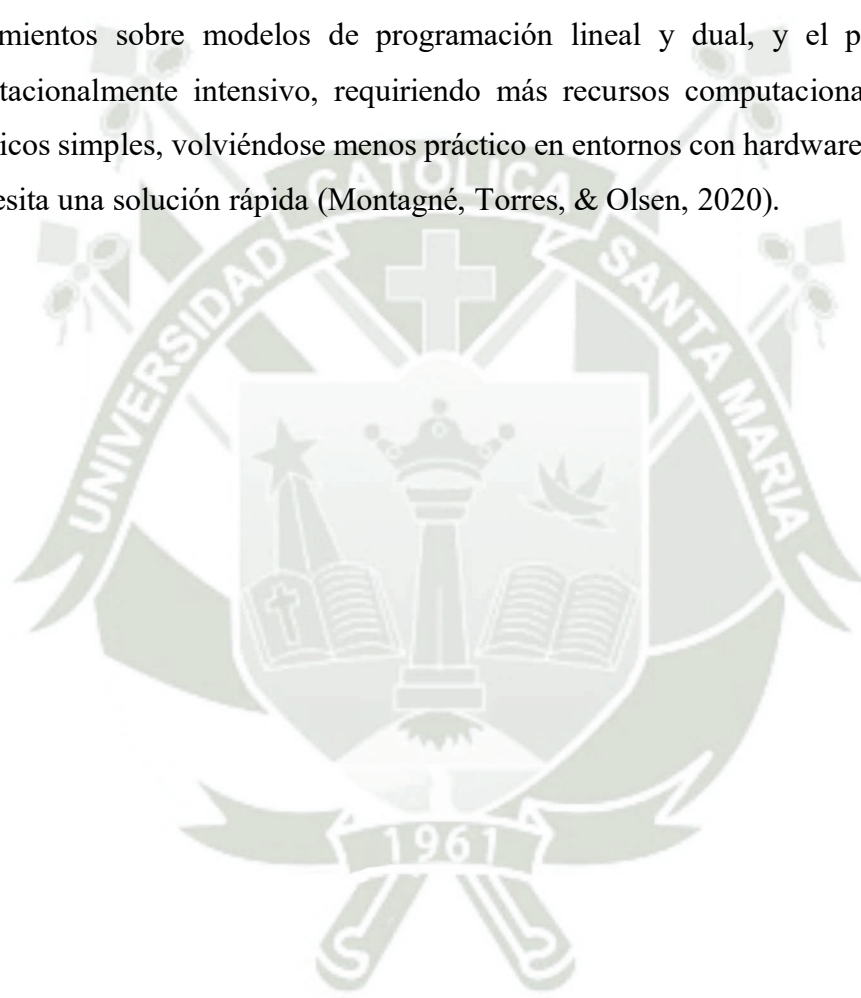
2.2.17. Lenguaje de programación Python

Para la presente investigación, se ha optado por utilizar el lenguaje de programación Python por su naturaleza multiparadigma fundamental para manejar de manera eficiente las estructuras de datos complejos del problema como los nodos y las matrices de distancia. Además, Python permite integrar herramientas externas de forma fluida con la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), de enrutamiento Open Source Routing Machine (OSRM) utilizado para calcular las distancias entre diferentes ubicaciones, especialmente en redes de calles reales, lo que garantiza una solución más precisa y aplicable a un contexto real. Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito general, ampliamente adoptado por su sintaxis simple, extensibilidad y rica biblioteca estándar. Su crecimiento en el ámbito académico e industrial se debe a su facilidad para desarrollar soluciones complejas de forma rápida y mantenible (Logroño, Estrada, Vásconez, & Rosero, 2022).

Este lenguaje de programación es muy versátil, ya que permite usar múltiples estilos de programación. Su diseño se basa principalmente en la programación orientada a objetos, donde todo, desde los números hasta las cadenas de texto, se trata como un objeto que tiene sus propias funciones y atributos. Sin embargo, Python también soporta otros enfoques de programación en diferentes niveles, como la programación funcional, usando herramientas como “lambda” o comprensiones de listas, la programación imperativa, con estructuras de control como “if” y “while”, y la programación procedimental a través de funciones con “def” (Dyer & Chauhan, 2022).

La elección de Python como lenguaje base para resolver un VRP responde a su amplia adopción, su sintaxis accesible y la disponibilidad de bibliotecas de apoyo como NetworkX para grafos, Pandas para manipulación de datos, y NumPy para operaciones numéricas. Esto permite a usuarios e investigadores implementar y adaptar algoritmos de ruteo sin la necesidad de profundos conocimientos en optimización matemática (Aurachman, Baskara, & Habibie, 2020).

En el mundo de la programación se ha desarrollado en Python a la fecha, un paquete llamado VRP y propuesto por Montagné, Torres y Olsen (2020), diseñado específicamente para resolver una amplia variedad de variantes del VRP, como el Capacitated VRP (CVRP), VRP con ventanas de tiempo (VRPTW), VRP con recogidas y entregas (VRPPD), entre otros. Su principal fortaleza radica en el uso del enfoque de *generación de columnas*, una técnica avanzada de optimización que permite resolver de manera eficiente grandes instancias del problema. Sin embargo, al utilizar generación de columnas, implica conocimientos sobre modelos de programación lineal y dual, y el problema se hace computacionalmente intensivo, requiriendo más recursos computacionales que métodos heurísticos simples, volviéndose menos práctico en entornos con hardware limitado o donde se necesita una solución rápida (Montagné, Torres, & Olsen, 2020).





3. DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL

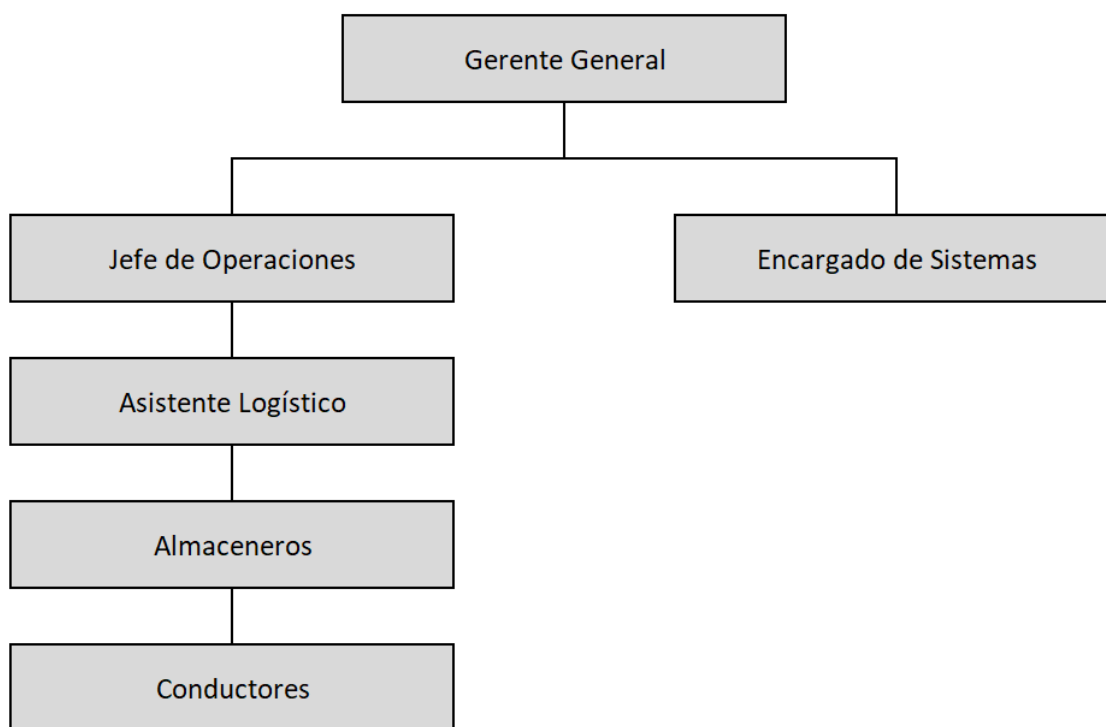
El incremento de la población en la ciudad de Arequipa es una gran oportunidad para el crecimiento en las operaciones logísticas de las empresas; por ello, el transporte de productos hasta el consumidor final necesita no solo de una optimización de rutas, sino también de realizar un diagnóstico actual que permita medir de manera óptima métricas como la distancia recorrida, los costos operativos, la satisfacción del cliente y del proveedor, con centros de distribución estratégicamente ubicados, y sobre todo, una flota que garantice la fiabilidad de las entregas.

En el contexto peruano, el comercio electrónico ha mostrado un crecimiento notable: en 2024, el mercado de e-commerce en Perú alcanzó un volumen estimado de US\$ 37000 millones, con una tasa de crecimiento anual compuesta proyectada de 17 % entre 2024 y 2027 y un gasto promedio de US\$ 55 por compra (PCMI, 2024). Además, el e-commerce representó 5,4 % del PIB peruano en 2023, movilizandando cerca de US\$ 13000 millones ese año con un crecimiento anual del 7 % (Cámara Peruana de Comercio Electrónico, 2023). Estas cifras presionan la logística de Última Milla: en ciudades densas, la fase final de entrega puede representar entre 41 % y 53 % del costo total del envío (WEF, 2024), lo que refuerza la necesidad de diagnosticar con precisión variables como distancia total recorrida, costo por pedido y costo total de transporte.

3.1. ORGANIZACIÓN

3.1.1. Organigrama

El Organigrama de la empresa, presentado en la Figura 2, muestra la estructura jerárquica de la organización. A la cabeza se encuentra el Gerente General, que es la máxima autoridad y se encarga de la dirección estratégica. Por debajo de él, en un nivel de liderazgo, se encuentran dos jefaturas clave: Jefe de Operaciones y el Encargado de Sistemas.

Figura 2.*Organigrama de la empresa*

Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

3.1.2. Responsabilidades

- **Gerente General:** Encargado para liderar la empresa, generando planes estratégicos a corto y largo plazo, tomando las decisiones pertinentes para realizar las observaciones y definir instrucciones que generen valor velando por la viabilidad de los procesos en cada departamento.
- **Jefe de Operaciones:** Encargado del almacenamiento, la organización y distribución de todos los movimientos de los productos a lo largo de la cadena de suministro, además del requerimiento de unidades vehiculares que se necesite para cubrir la demanda.
- **Encargado de sistemas:** Encargado de garantizar el funcionamiento adecuado de los sistemas de computación, ya sean hardware o software, de la empresa, abarcando servidores, redes, dispositivos móviles, aplicaciones, bases de datos y todo aquello vinculado con el almacenamiento y manejo de datos.

- **Asistente de Logística:** Se encarga de coordinar que los pedidos se entreguen a tiempo de manera eficiente, generando informes de indicadores de desempeño, para realizar el seguimiento de inconformidades de los clientes.
- **Almaceneros:** Se encargan de recepcionar, verificar, clasificar y registrar los productos que ingresan al almacén en el sistema.
- **Conductores:** Se encargan de transportar los pedidos despachados por el departamento, garantizando directamente la conformidad con los clientes cumpliendo con las evidencias adjuntadas en el sistema.

3.1.3. Centro de Acopio

El centro de acopio cumple con recibir, almacenar y clasificar los pedidos antes de ser distribuidos a su destino final, queda ubicado en el distrito de Yanahuara, y tiene un área de 112 m², cuenta con una zona de clasificación y recepción de los pedidos, una zona de despacho, una zona administrativa y una zona de espera.

3.1.4. Actividades

En este punto se describen cada uno de las actividades actuales de la empresa los cuales se siendo los más importantes los procesos de almacén y distribución, siendo efectuados secuencialmente en el departamento de logístico, para llevar cabo las operaciones y cumpliendo las metas diarias que demandan los proveedores. A continuación, se presenta un listado en la tabla 4, de los procesos que intervienen en la cadena de suministro de la empresa.

Tabla 4.

Lista de Actividades en una Empresa de Última Milla

Nro	Actividades
1	Recojo
2	Descarga
3	Pickeo
4	Validar en el sistema
5	Clasificación por distrito
6	Requerimiento de unidades

7	Asignación de pedidos
8	Ruteo
9	Carga
10	Salida
11	Proceso de evidencias
12	Notificación a los clientes
13	Informar a proveedor
14	Embalaje
15	Envío por encomienda

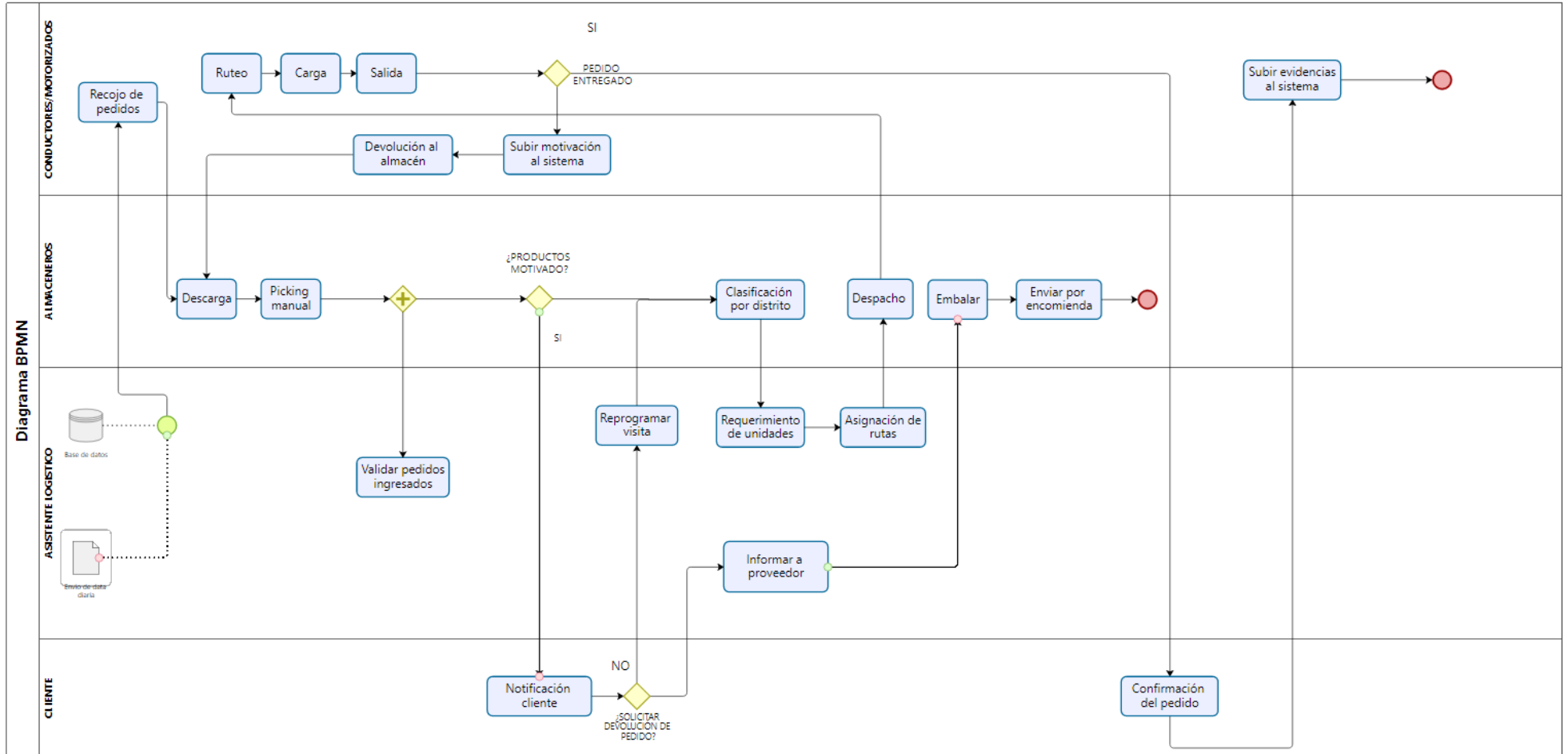
Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

3.1.5. Diagrama BPMN

La Figura 3 ilustra el flujo de trabajo operativo y logístico de una empresa, modelado bajo el estándar BPMN (Business Process Model and Notation). Este diagrama detalla la interrelación entre los tres actores principales: los almaceneros, los conductores, el cliente final y el asistente logístico, responsable de validar los pedidos y generar la información para la base de datos, lo que permite la demanda de rutas y gestión de requerimientos de unidades.

Figura 3.

Diagrama BPMN



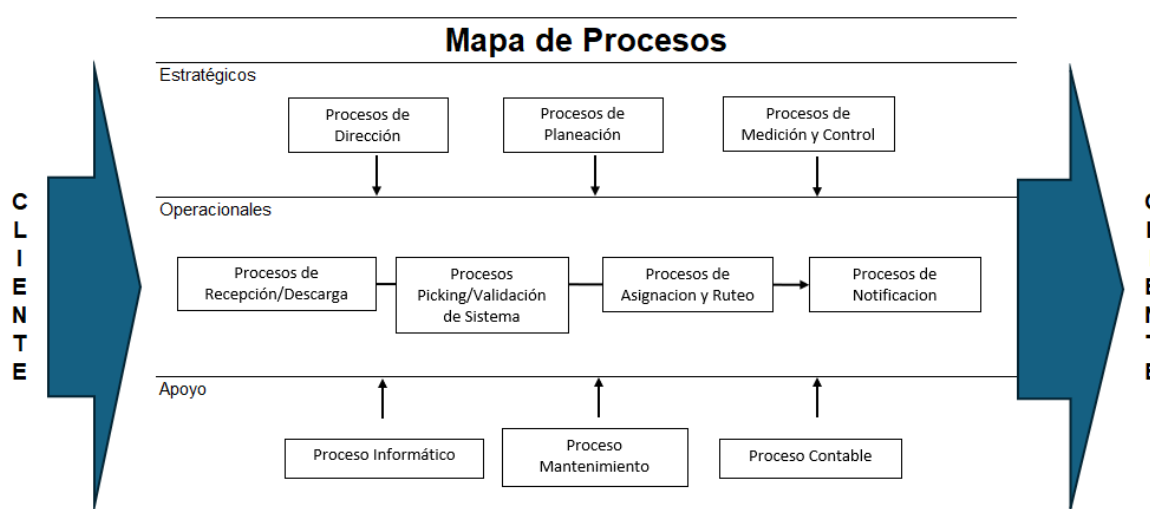
Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

3.1.6. Mapa de Procesos

El diagrama del Mapa de Procesos que se muestra en la figura 4, representa una estructura de organización desde una perspectiva de valor para el cliente, utilizada para visualizar la interdependencia de los procesos y como se contribuyen a la entrega de un pedido.

Figura 4.

Mapa de Procesos



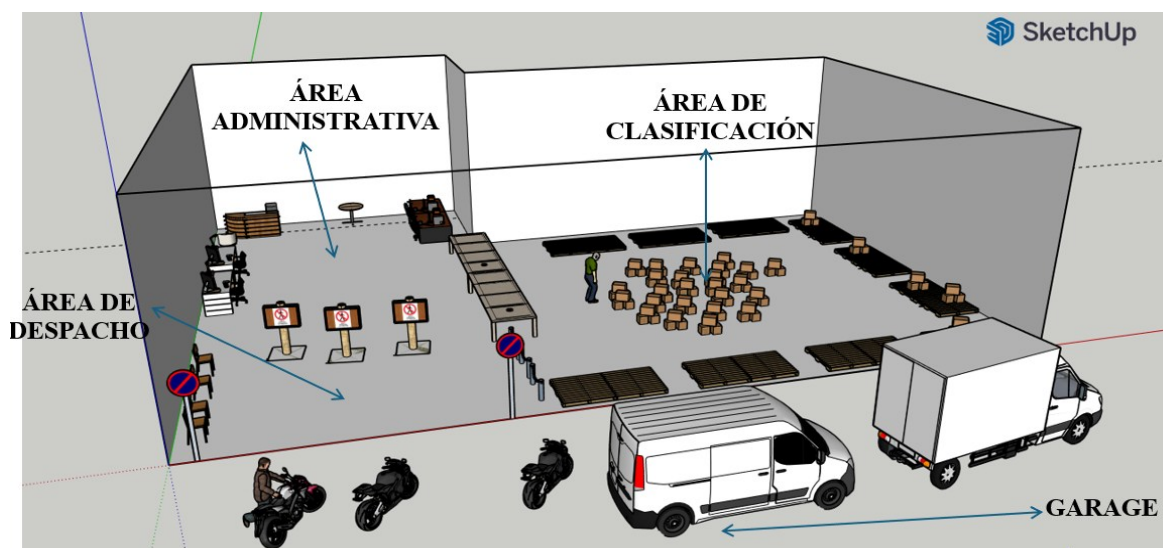
Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

3.1.7. Diseño del Almacén

La Figura 5 y 6 muestran la distribución física y el diseño (layout) de un almacén, destacando las zonas clave para la operación logística. El espacio está segmentado para facilitar un flujo de trabajo eficiente, y se divide en las 5 áreas principales.

Figura 5.

Diseño del Almacén en SketchUp



Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

Figura 6.

Diseño del Almacén



Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

3.1.8. Flota vehicular

La empresa está compuesta por 2 unidades vehiculares quienes se encargan principalmente de realizar la parte de distribución al cliente final, cada unidad cuenta con 1 auxiliar de reparto y un conductor. A continuación, se detalla la ficha técnica de cada una de ellas en la tabla 5 y 6 respectivamente:

Tabla 5.

Ficha técnica de la Unidad Vehicular 1

UNIDAD VEHICULAR 1	
Marca	CHEVROLET
Modelo	N300 WORK
Tipo De Vehículo	FURGON
PESO BRUTO (kg)	2020
PESO NETO (kg)	1105
Dirección	MECANICA
LARGO/ANCHO/ALTO (mm)	4560/1610/1870
Capacidad De Tanque (L)	45
Combustible	GASOLINA
Nro. De Ejes	2
CAPACIDAD DE CARGA (m ³)	13.72

Nota. Ficha técnica de la Unidad Vehicular 1. Adaptado de la ficha técnica del modelo N300 Work de Chevrolet (2025).

Tabla 6.

Ficha técnica de la unidad Vehicular 2

UNIDAD VEHICULAR 2	
Marca	SHANGAN
Modelo	CHANNA V5
Tipo De Vehículo	MINIVAN
PESO BRUTO (kg)	2445
PESO NETO (kg)	1330
Dirección	MECANICA
LARGO/ANCHO/ALTO (mm)	4498/1940/1735
Capacidad De Tanque (L)	45
Combustible	GASOLINA
Nro. De Ejes	2
CAPACIDAD DE CARGA (m ³)	13.72

Nota. Ficha técnica de la Unidad Vehicular 2. Adaptado de la ficha técnica del modelo Channa V5 de Shangan (2025).

3.2. Distribución de rutas actuales y despacho de pedidos

La distribución de las rutas de las unidades vehiculares actualmente es evaluada y asignada por el asistente logístico, quien diariamente solicita las unidades necesarias en función de la data enviada por los proveedores y de la base de datos de las ubicaciones registradas a la fecha de publicación de este estudio. Para determinar y evaluar las rutas actuales de la empresa, se utilizó el software QGIS, y la base de datos proporcionada de la empresa, información exportada en un archivo de Excel, correspondiente a un mes representativo del último año, permitiendo capturar la dinámica de los pedidos y la complejidad, la cual contiene información detallada de cada cliente y pedido entregado. Las bases de datos incluyen los siguientes campos:

- Dirección de entrega: La ubicación física donde se realizó la entrega del pedido.
- Latitud y Longitud: Coordenadas geográficas precisas que permitieron la georreferenciación de cada punto de entrega en QGIS.

- Nombre del cliente: Identificador del destinatario del pedido.
- DNI del cliente: Número de identificación del cliente.
- Talla del pedido: Información relevante sobre las dimensiones del pedido entregado, detallado en la tabla 7.

Tabla 7.

Tallas por Volumen de pedidos

Talla	Volumen (m ³)
M	0.3549
L	0.4732
XL	0.5915

Nota. Elaborado a partir de información estructural y documental proporcionada por la empresa (2025).

En la operación actual de la empresa, la distribución del recorrido de las rutas para cada unidad vehicular se realiza de manera manual y empírica, basándose predominantemente en la experiencia y el conocimiento tácito de los conductores sobre las zonas de entrega. El orden de los pedidos en la base de datos se genera a medida que los choferes registran su estado a través de un aplicativo web, cuando un pedido es entregado, o en su defecto, cuando no puede ser entregado por motivos como ausencia del cliente, información de dirección incompleta o cambios de último minuto en el horario. Sin embargo, en la presente investigación no se consideran estas causas específicas, centrándose únicamente en la clasificación de los pedidos como despachados y no despachados, con el propósito de evitar sesgos y asegurar una medición uniforme de la eficiencia de la operación, además de prevenir la asignación de penalidades asociadas a factores externos.

Además, se utilizó el software QGIS, gracias a su capacidad para geocodificar datos de coordenadas como latitud y longitud, directamente importados desde un documento Excel para la visualización y análisis de los recorridos generados, representando con precisión la ubicación de cada pedido y cliente sobre un mapa real. El trazado de las rutas en el software se hizo con el complemento Ors Tools, generando automáticamente los trayectos sobre la

vida real, basándose en el orden preestablecido de las paradas proporcionado por la base de datos solicitada, proporcionando datos detallados de distancia. A pesar de que representan valores teóricos, y no reflejan condiciones reales operativas como la congestión vehicular, demoras promedias por el cliente, entre otros imprevistos, el software puede ayudar a calcular la distancias entre cada nodo siguiendo los trayectos diseñados, calculando la distancia total del recorrido. Para diferenciar los trazos realizados a cada vehículo, se implementó una simbología distinta, en donde los trazos de color rojo corresponden a la ruta asignada al Vehículo 1, mientras que los trazos de color azul representan la ruta del Vehículo 2.

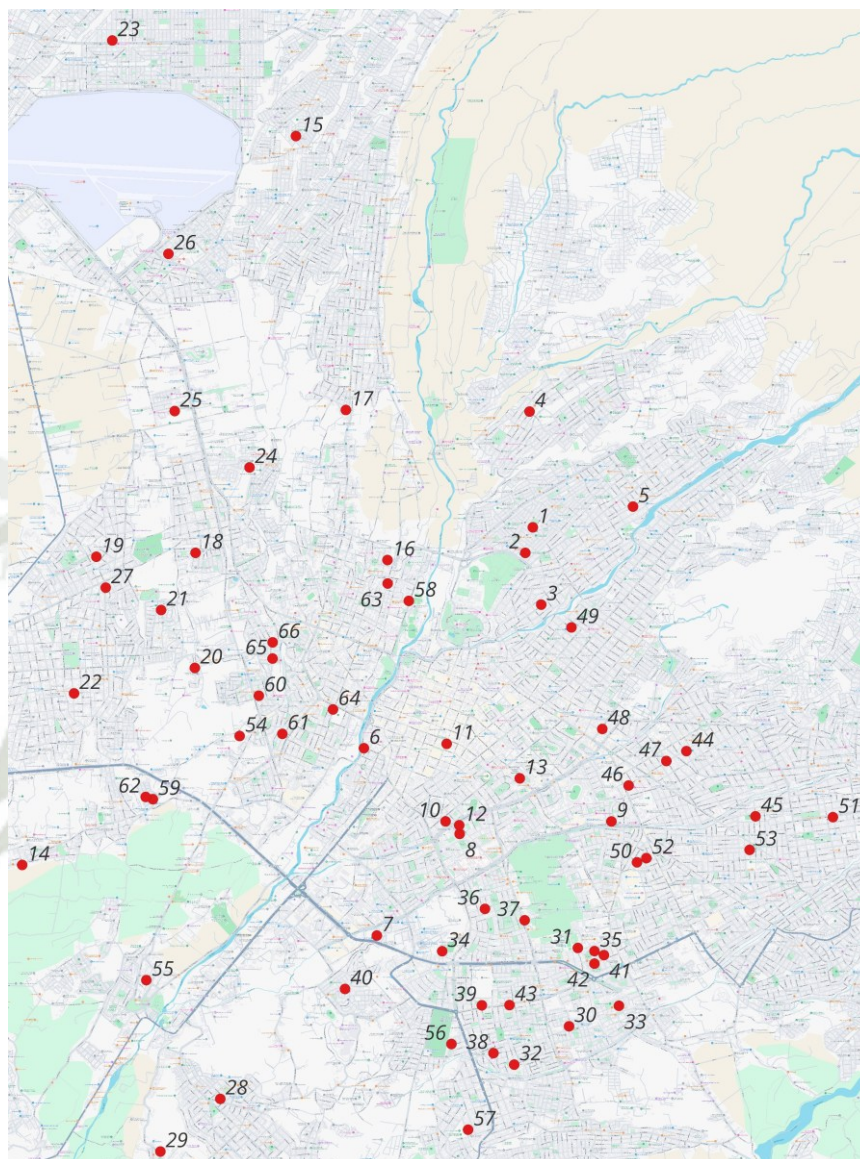
Cabe destacar que la investigación también aborda la problemática de los pedidos que son y no son despachados, debido a la insuficiente capacidad de la flota, o de los mecanismos existentes. Estos pedidos se identificaron en el software QGIS de color negro y son programados para su despacho automáticamente al siguiente día, aunque no garantiza su salida inmediata, siendo muchas veces pospuestos repetitivamente. Estos pedidos fueron identificados en la base de datos, como “No Despachados”. A continuación, se muestran las rutas generadas durante los primeros seis días de operación y en el Anexo 1 las rutas pendientes, en las cuales se detalla la demanda diaria atendida, las rutas recorridas, los pedidos no despachados y los costos de transporte asociados. Esta información permite visualizar el comportamiento operativo y la eficiencia del modelo de optimización aplicado.

3.3. Demanda de pedidos para el día 1

La cantidad de pedidos por atender el día 1 es de 61, sin considerar los 5 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 66 y sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 7.

Figura 7.

Demanda de Pedidos para el día 1



3.3.1. Ruta 1

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 1 fueron de 30 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 1 es de 69.81 km, el recorrido se muestra en la figura 8 y en la tabla 8 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 8.

Recorrido de la Ruta 1 en el software QGIS



Tabla 8.

Distancias por nodos de la Ruta 1

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	27	3.42835
2	27	19	0.57759
3	19	22	2.20645
4	22	25	4.11584
5	25	18	2.59932
6	18	21	1.22859
7	21	24	2.47564
8	24	26	3.81575
9	26	15	2.31627
10	15	23	3.27788
11	23	17	7.18564
12	17	16	2.40412
13	16	63	0.42009
14	63	58	0.59149
15	58	4	4.09156
16	4	5	2.12663
17	5	1	1.64447
18	1	2	0.45712
19	2	3	1.29983
20	3	49	0.69931
21	49	48	1.78645
22	48	44	1.47716
23	44	47	0.26317
24	47	46	0.53397
25	46	45	1.79453
26	45	9	2.65685
27	9	50	1.60608
28	50	52	0.17391
29	52	53	1.85436
30	53	51	1.5211
31	51	0	9.21058
TOTAL			69.8401

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.3.2. Ruta 2

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 27 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 2 es de 42.98 km, el recorrido se muestra en la figura 9 y en la tabla 9 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 9.

Recorrido de la Ruta 2 en el software QGIS

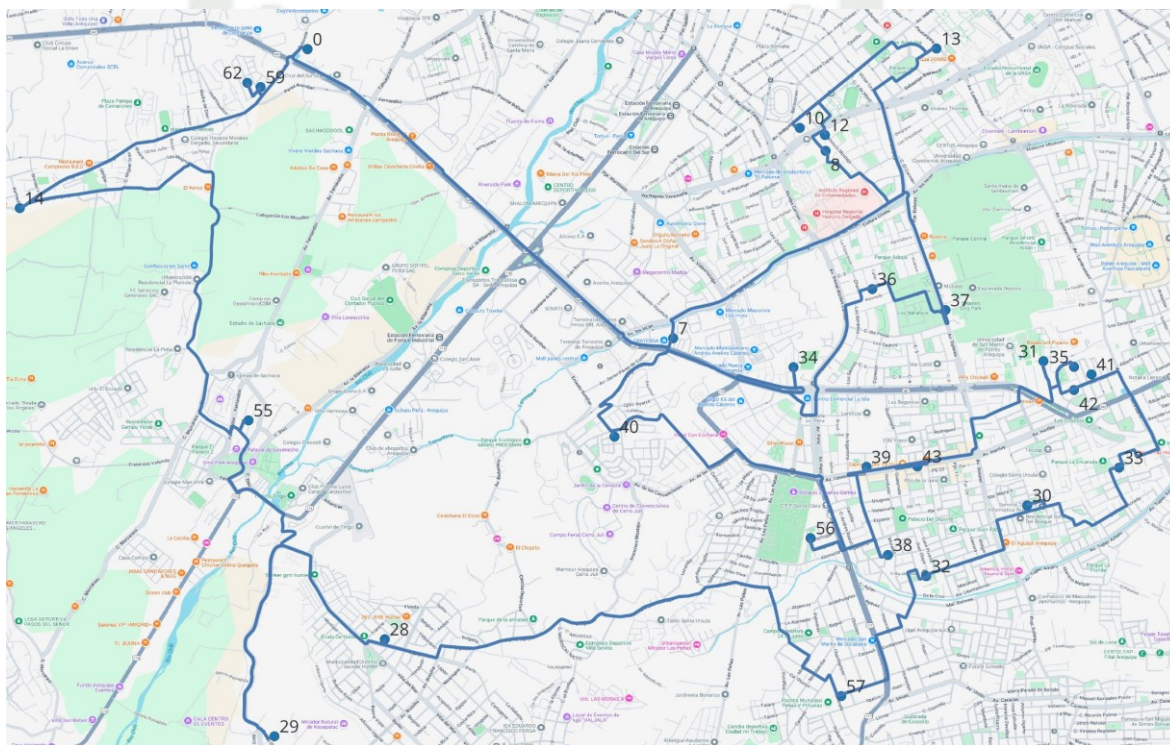


Tabla 9.

Distancias por nodos de la Ruta 2

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	59	0.49049
2	59	62	0.17148
3	62	14	1.87096
4	14	55	3.78823
5	55	29	2.65822
6	29	28	2.4524
7	28	57	3.67498
8	57	32	1.46425
9	32	30	1.20348

10	30	33	1.17143
11	33	42	1.25977
12	42	41	0.13743
13	41	35	0.51079
14	35	31	0.45751
15	31	43	1.81127
16	43	39	0.49254
17	39	38	0.79776
18	38	56	0.68431
19	56	40	2.45837
20	40	34	2.35262
21	34	36	2.20883
22	36	37	0.82411
23	37	8	1.61534
24	8	12	0.23164
25	12	10	0.50819
26	10	13	1.2179
27	13	7	3.22313
28	7	0	3.24566
TOTAL			42.98309

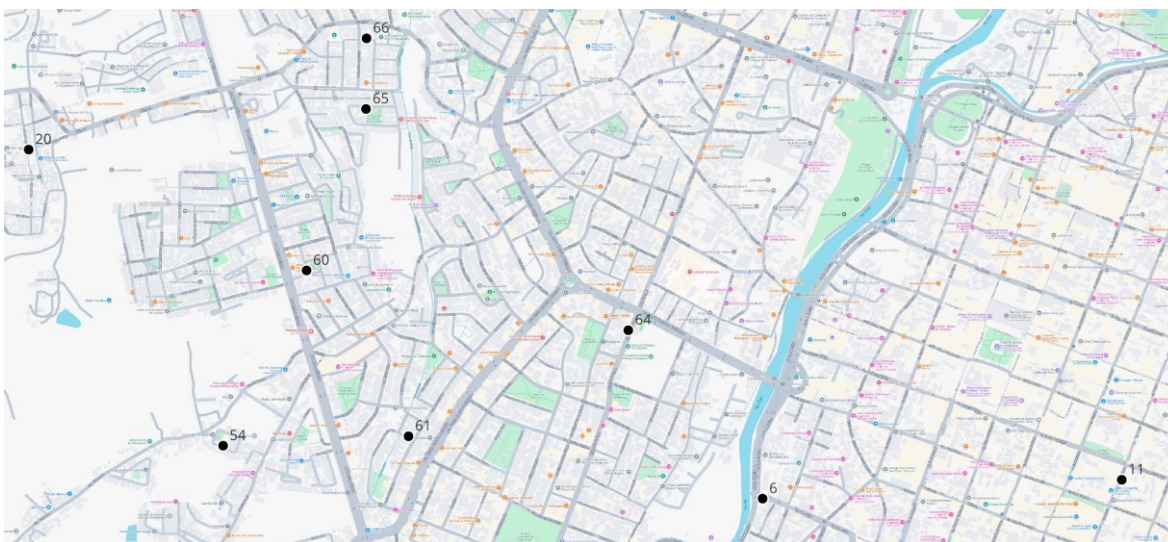
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.3.3. Pedidos no Despachados

En el día 1 no se despacharon 9 pedidos a la flota vehicular de la empresa, los cuales pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 10.

Figura 10.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados

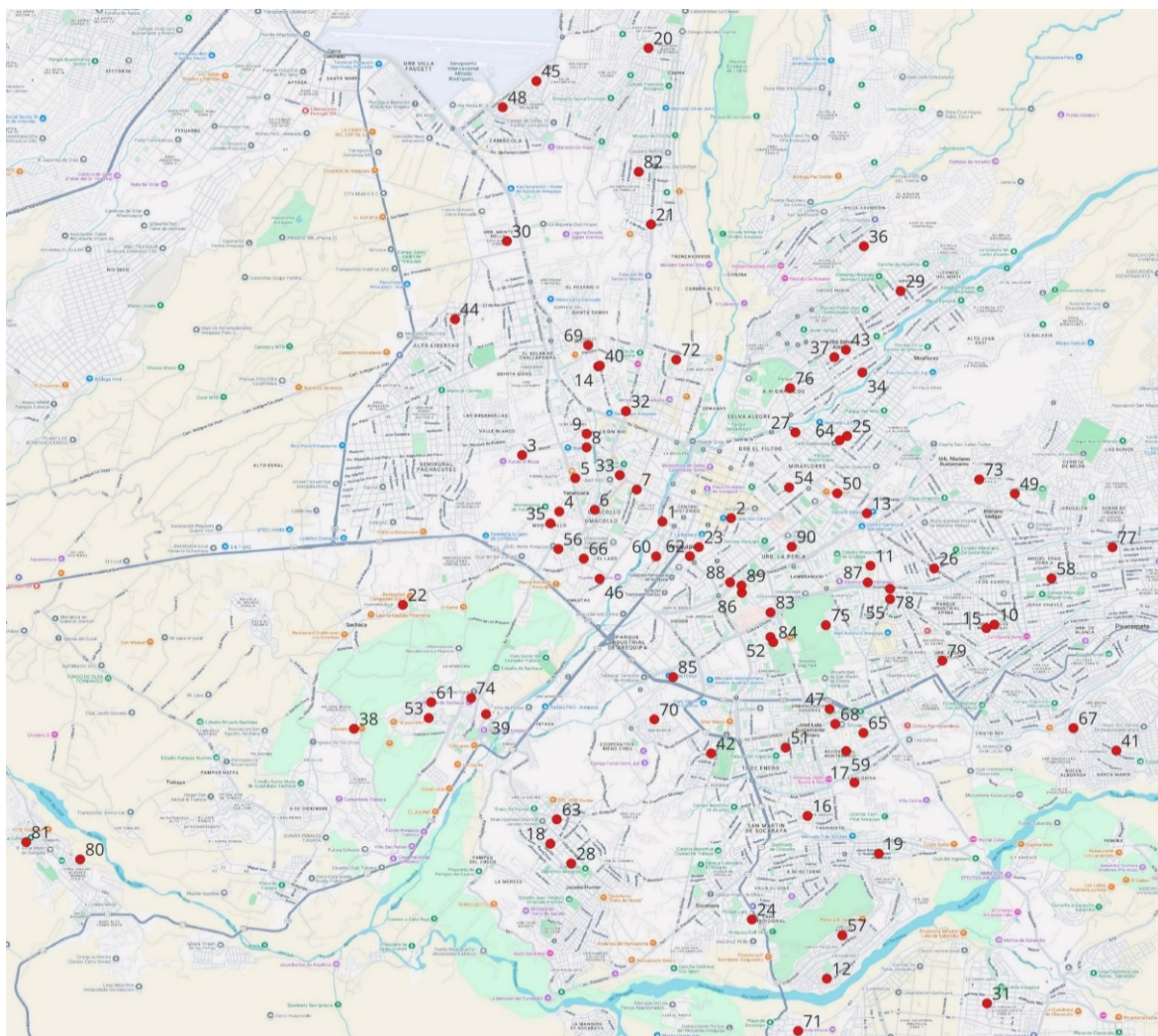


3.4. Demanda de pedidos para el día 2

La cantidad de pedidos por atender para el día 2 es de 81, sin considerar los 9 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 90 pedidos, y sus ubicaciones geográficas se muestran en la figura 11.

Figura 11.

Demanda de pedidos para el día 2.



3.4.1. Ruta 3

Los pedidos despachados por la unidad vehicular 1 fueron de 29 y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 3 es de 59.82 km, el recorrido se muestra en la figura 12 y en la tabla 10 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 12.

Recorrido de la Ruta 3 en el software QGIS.

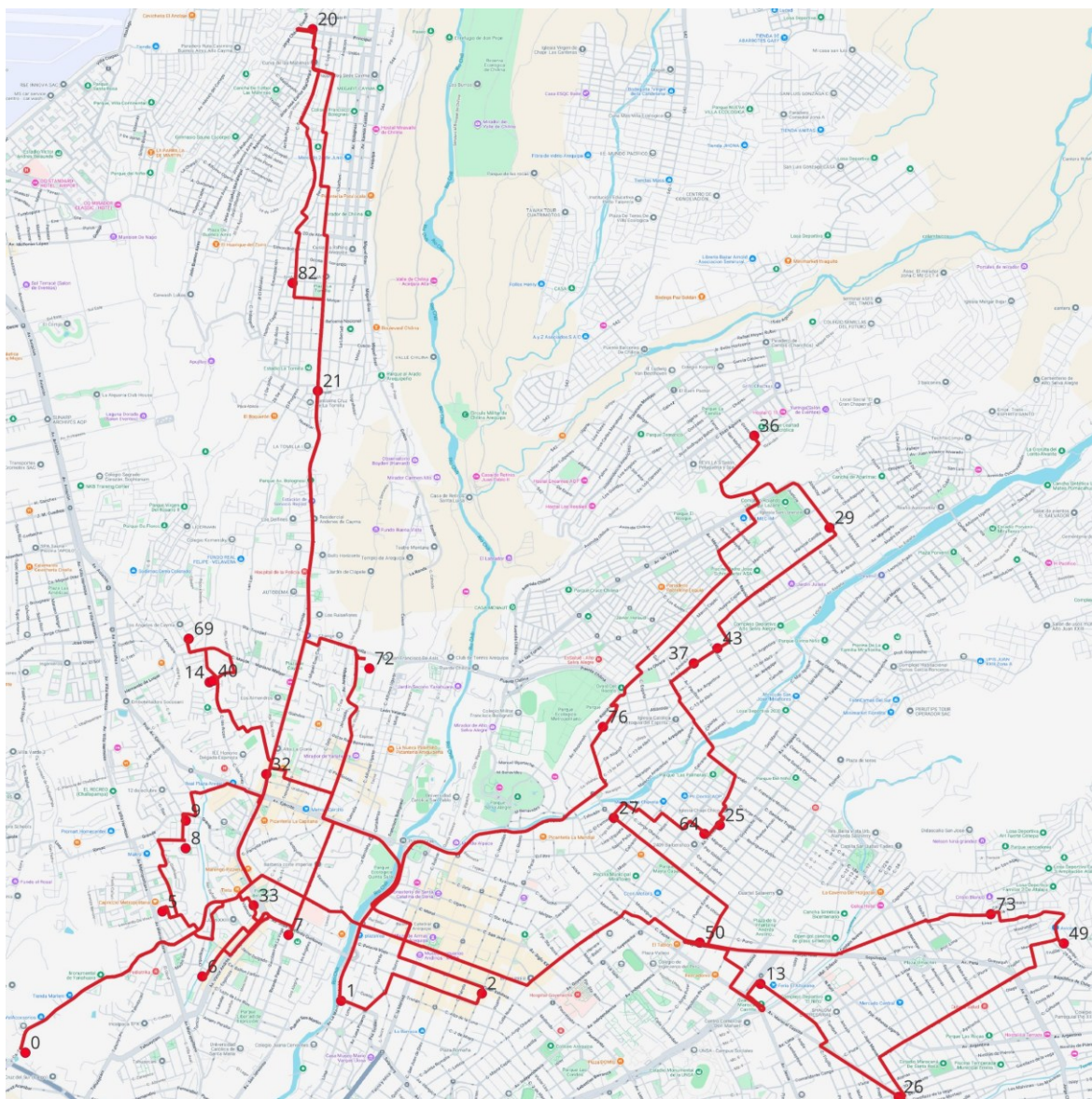


Tabla 10.

Distancias por nodos de la Ruta 3

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	20	9.3998
2	20	82	2.7364
3	82	21	0.9668
4	21	72	2.2689
5	72	7	2.4619

6	7	6	0.9517
7	6	33	0.9386
8	33	5	0.9734
9	5	8	1.1716
10	8	9	0.1741
11	9	32	1.1593
12	32	14	0.9517
13	14	40	0.0094
14	40	69	0.6654
15	69	2	4.4032
16	2	1	1.1745
17	1	76	3.1575
18	76	36	3.6336
19	36	29	1.8543
20	29	43	1.3521
21	43	37	0.1932
22	37	25	1.8529
23	25	64	0.2501
24	64	27	0.9224
25	27	50	1.6237
26	50	13	1.4723
27	13	26	1.2969
28	26	49	2.2523
29	49	73	0.8179
30	73	0	8.7321
TOTAL			59.8178

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.4.2. Ruta 4

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 28 y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 4 es de 56.23 km, el recorrido se muestra en la figura 13 y en la tabla 11 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 13.

Recorrido de la Ruta 4 en el software QGIS.



Tabla 11.

Distancias por nodos de la Ruta 4

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	35	1.86054
2	35	56	0.58486
3	56	66	0.59199
4	66	46	0.91807
5	46	39	3.13088
6	39	74	0.61247
7	74	61	1.27186
8	61	53	1.32993

9	53	38	1.26157
10	38	22	2.85252
11	22	28	6.69649
12	28	18	0.57529
13	18	63	0.53271
14	63	57	6.28743
15	57	12	0.98334
16	12	24	2.0216
17	24	42	3.68286
18	42	52	2.31811
19	52	84	0.14164
20	84	47	2.78781
21	47	68	1.43096
22	68	65	1.58716
23	65	59	0.86306
24	59	17	0.50175
25	17	19	1.78468
26	19	16	1.65139
27	16	51	1.25457
28	51	70	2.51736
29	70	0	4.19726
TOTAL			56.23016

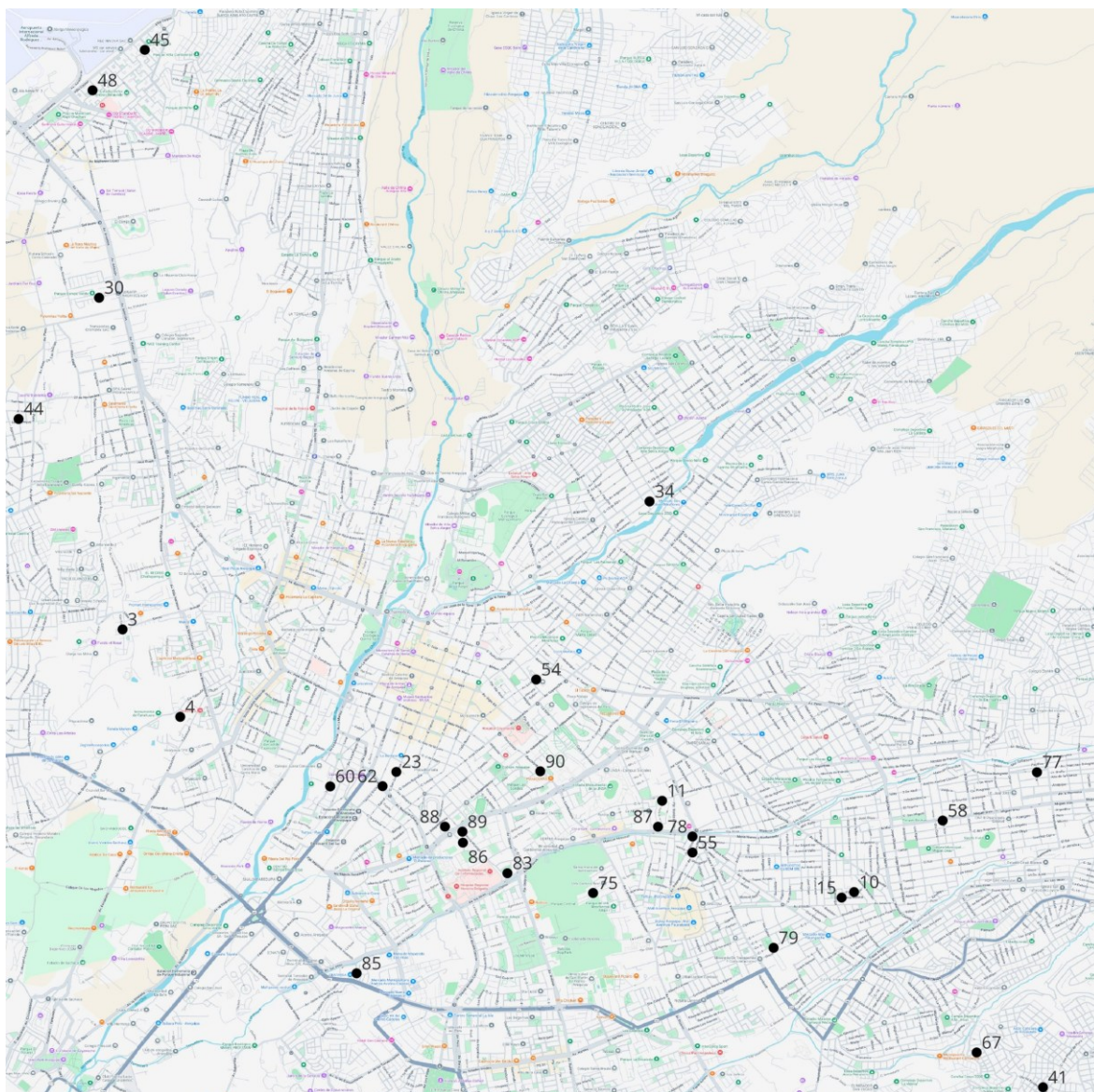
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.4.3. Pedidos no Despachados

En el día 2 no se despacharon 33 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 14.

Figura 14.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados

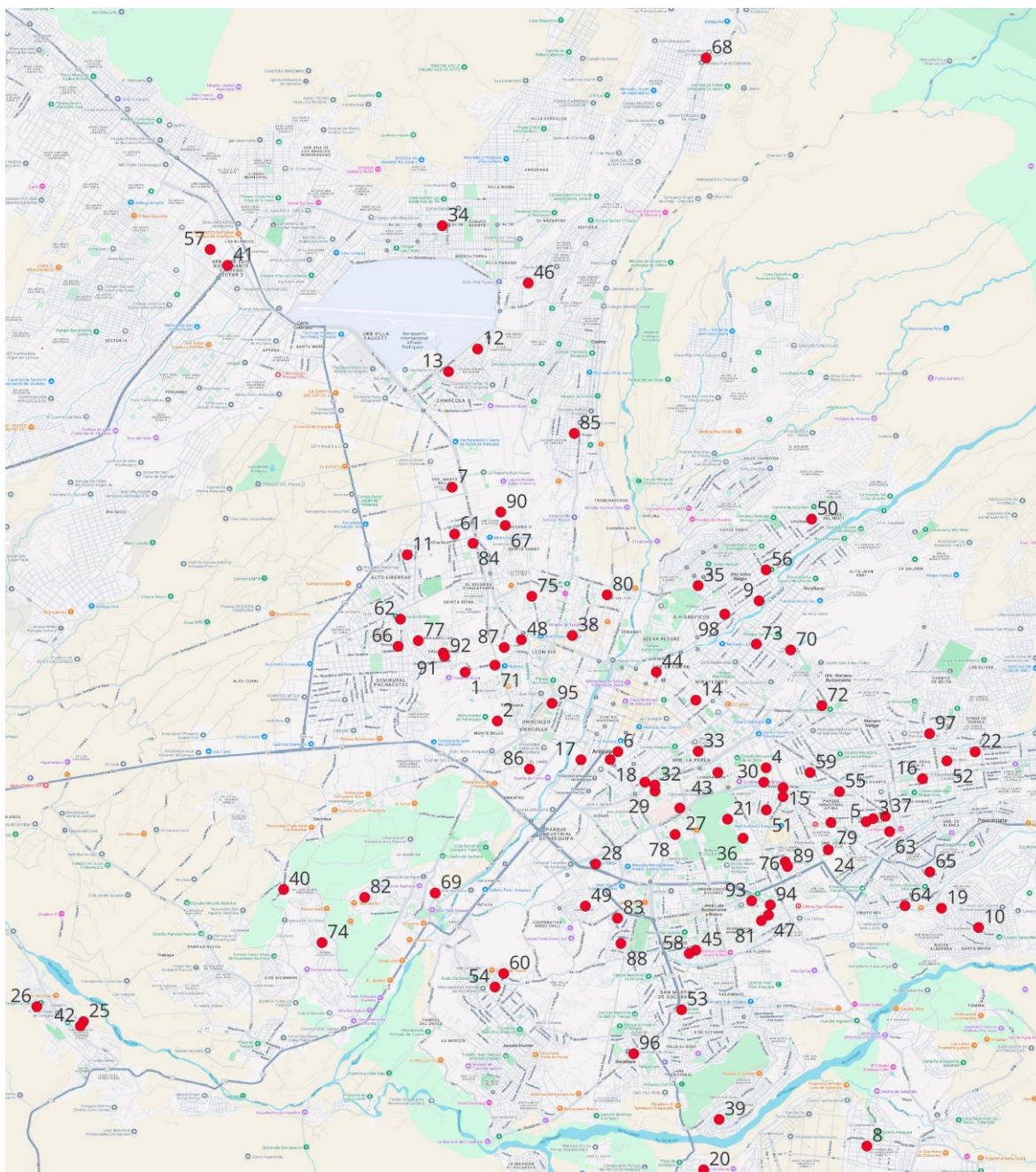


3.5. Demanda de pedidos para el día 3

La cantidad de pedidos por atender para el día 3 son de 65, sin considerar los 33 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 98 pedidos, y se muestran en la figura 15.

Figura 15.

Demanda de pedidos para el día 3.



3.5.1. Ruta 5

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 1 fueron de 26 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 5 es de 69.63 km, el recorrido se muestra en la figura 16 y en la tabla 12 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 16.

Recorrido de la Ruta 5 en el software QGIS

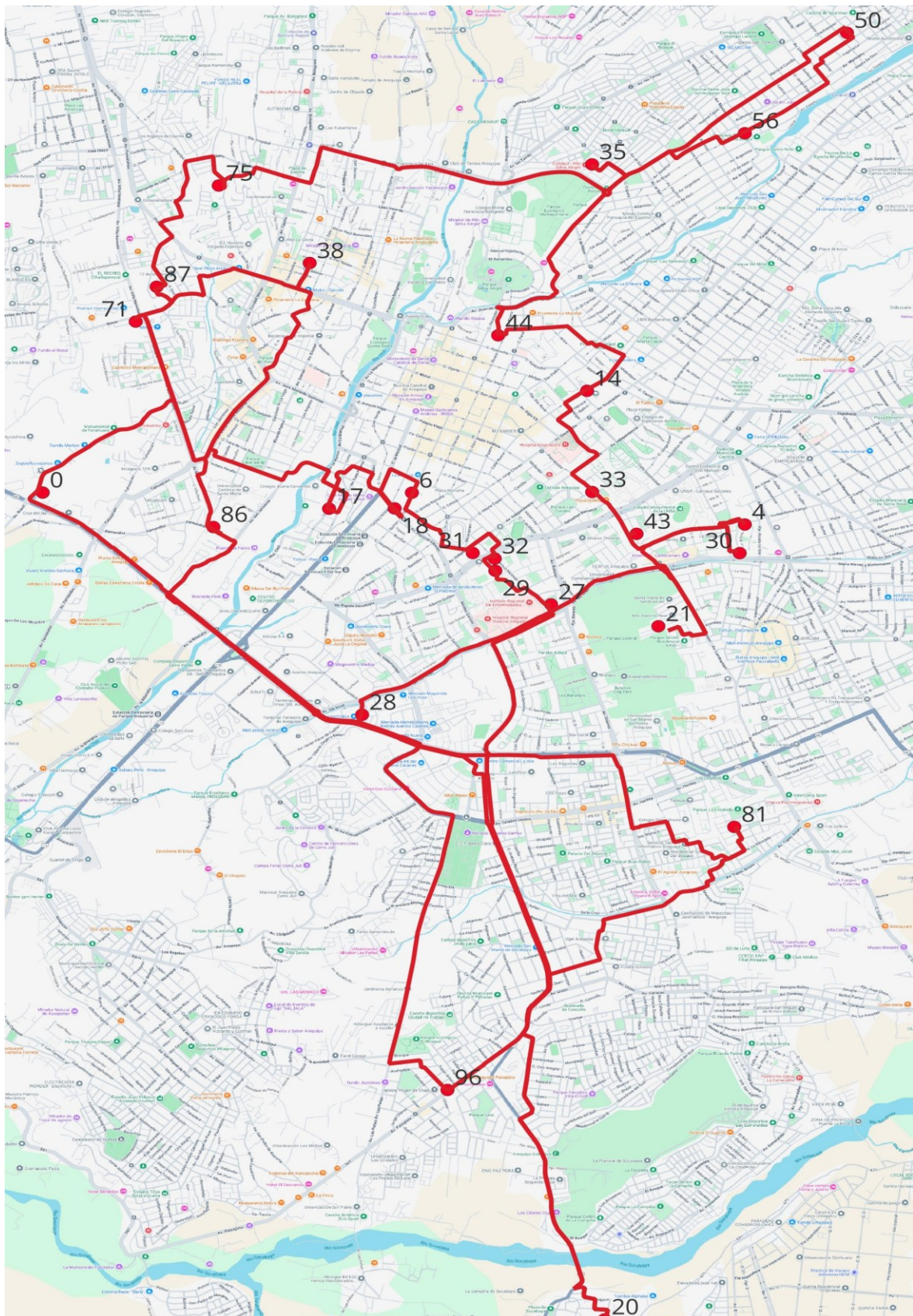


Tabla 12.

Distancias por nodos de la Ruta 5

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	87	2.44599
2	87	75	1.97361
3	75	50	5.82499
4	50	56	1.42748
5	56	35	1.3872
6	35	44	2.28554
7	44	14	1.82387
8	14	33	1.36206
9	33	43	0.53061
10	43	4	1.04449
11	4	30	0.55794
12	30	21	2.12975
13	21	28	3.56098
14	28	20	6.56545
15	20	27	6.99352
16	27	29	0.64397
17	29	32	0.23187
18	32	31	0.50868
19	31	6	0.93336
20	6	18	0.88309
21	18	17	1.00883
22	17	71	3.10992
23	71	38	1.74934
24	38	86	3.00364
25	86	81	6.64954
26	81	96	3.57012
27	96	0	7.42206
TOTAL			69.6279

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.5.2. Ruta 6

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 28 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 6 es de 100.02 km, el recorrido se muestra en la

figura 17 y en la tabla 13 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 17.

Recorrido de la Ruta 6 en el software QGIS

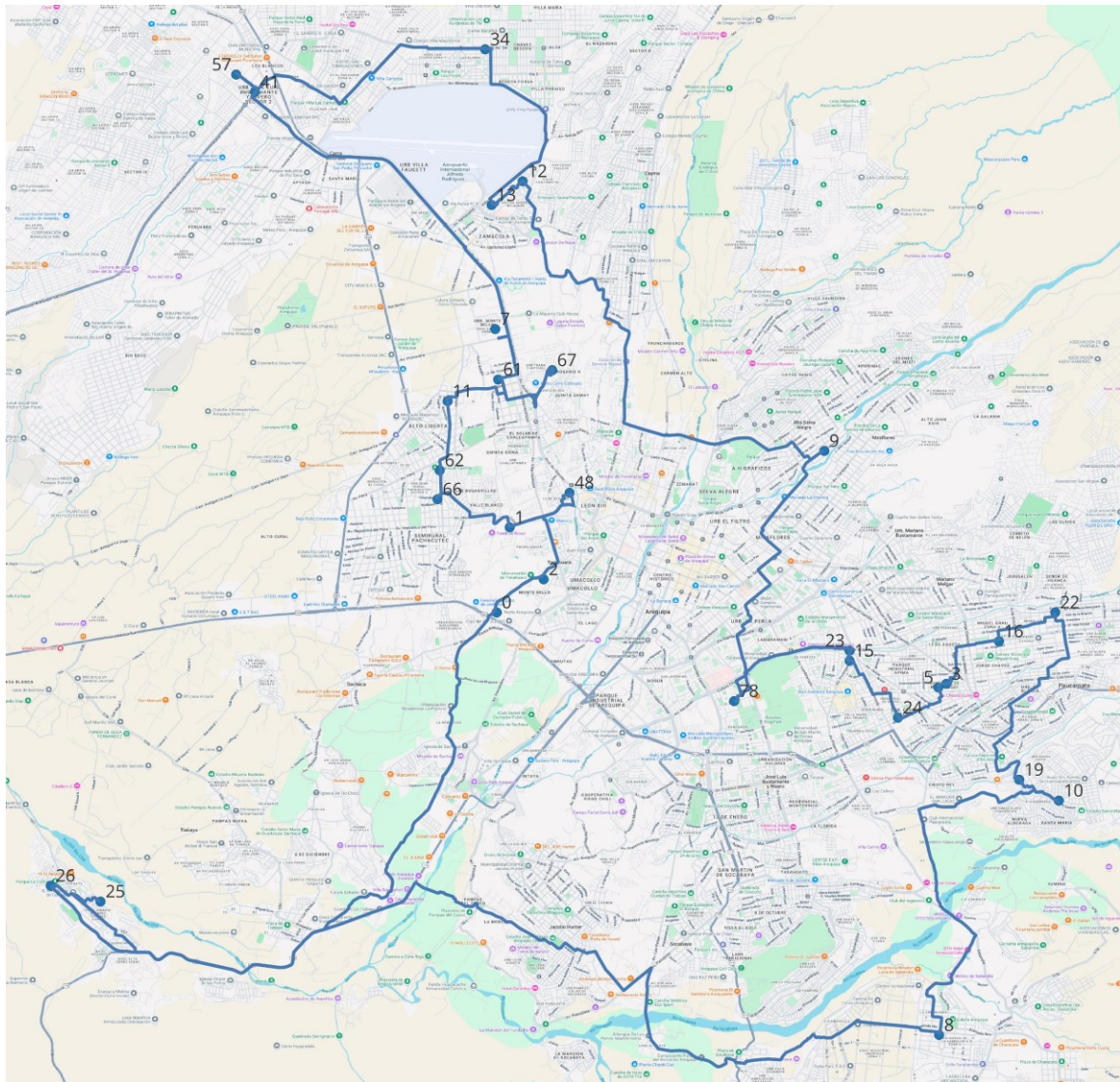


Tabla 13.

Distancias por nodos de la Ruta 6

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	26	13.07199
2	26	25	1.01301
3	25	8	20.30596
4	8	10	7.84137
5	10	19	0.97685
6	19	22	4.6731
7	22	16	1.42812
8	16	3	1.43364
9	3	5	0.15991
10	5	24	1.06168
11	24	15	1.37366
12	15	23	0.19413
13	23	78	2.41077
14	78	9	5.53613
15	9	12	8.86191
16	12	13	0.80495
17	13	34	3.75093
18	34	57	4.94172
19	57	41	0.48034
20	41	7	6.80849
21	7	61	1.2477
22	61	67	1.68028
23	67	11	2.24335
24	11	62	1.3508
25	62	66	0.48413
26	66	1	1.78444
27	1	48	1.29021
28	48	2	1.89732
29	2	0	0.91282
TOTAL			100.01971

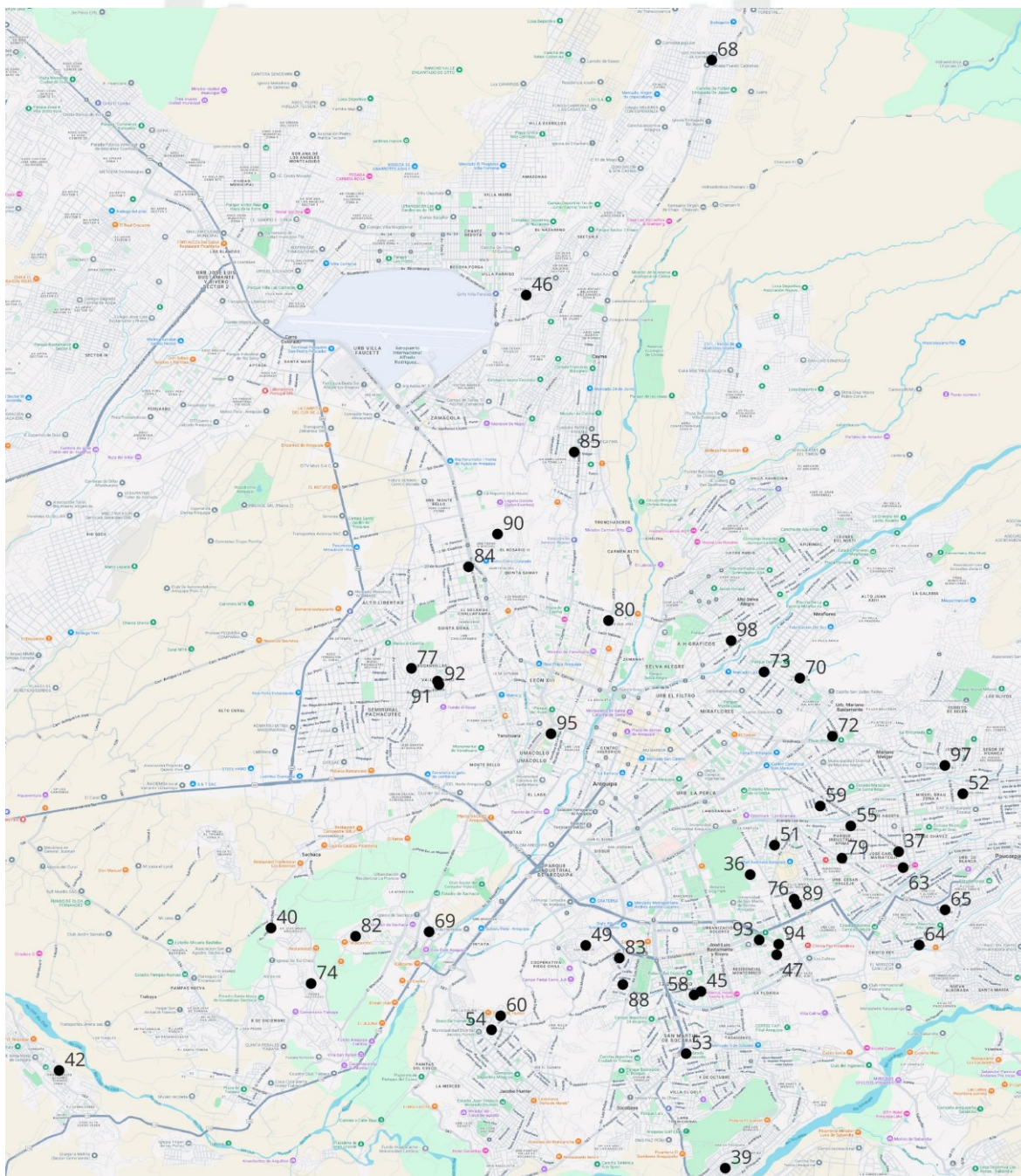
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.5.3. Pedidos No Despachados

En el día 3 no se despacharon 44 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 18.

Figura 18.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados

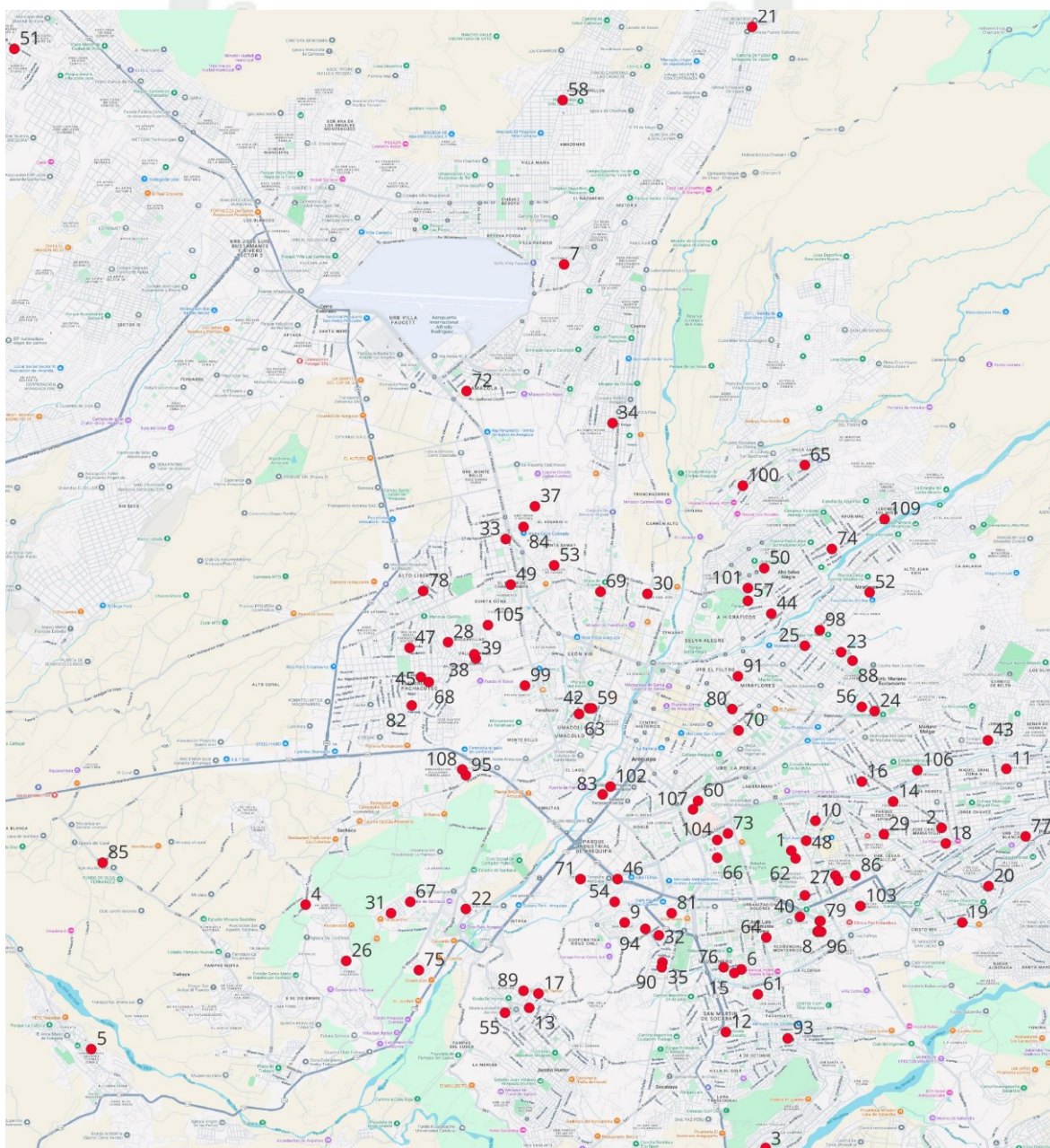


3.6. Demanda de pedidos para el día 4

La cantidad de pedidos por atender para el día 4 son de 65, sin considerar los 44 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 109 pedidos, y se muestran en la figura 19.

Figura 19.

Demanda de pedidos para el día 4.



3.6.1. Ruta 7

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 28 y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 7 es de 118.20 km, el recorrido se muestra en la figura 20 y en la tabla 14 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 20.

Recorrido de la Ruta 7 en el software QGIS

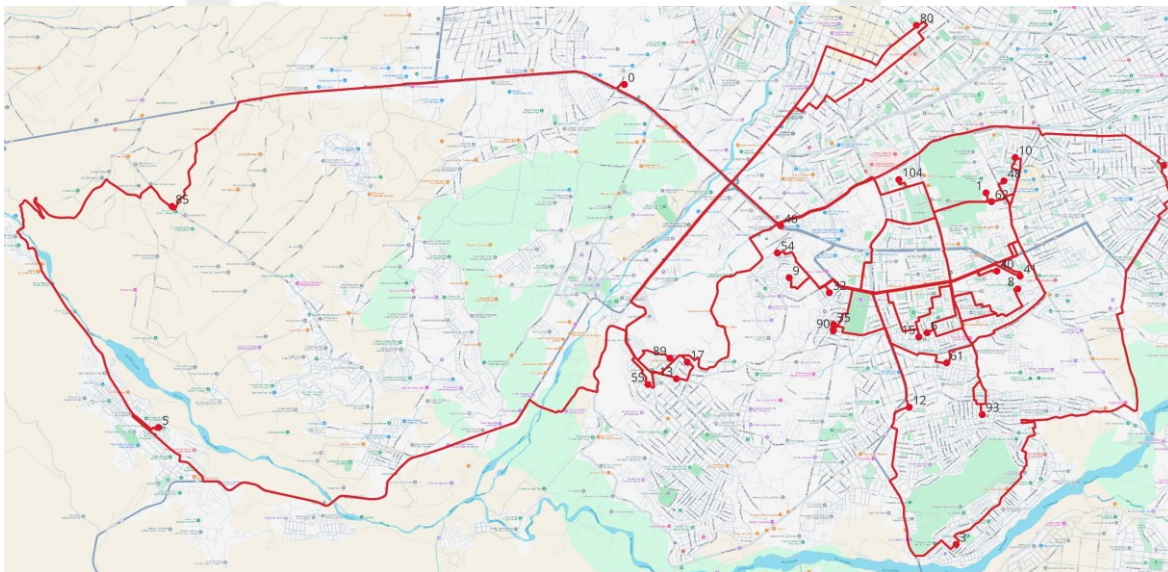


Tabla 14.

Distancias por nodos de la Ruta 7

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	85	7.67292
2	85	5	7.23842
3	5	13	10.47464
4	13	17	0.59371
5	17	55	1.02514
6	55	80	7.58722
7	80	89	7.80295
8	89	46	3.72756
9	46	2	5.55836
10	2	3	8.08426
11	3	12	3.07972
12	12	35	1.88163

13	35	90	0.14064
14	90	1	3.67791
15	1	6	3.35835
16	6	8	2.17396
17	8	9	4.54958
18	9	10	4.78737
19	10	15	3.60346
20	15	32	2.06551
21	32	40	2.39427
22	40	41	0.84507
23	41	48	1.78572
24	48	54	4.72475
25	54	61	3.32893
26	61	62	3.10644
27	62	93	3.85776
28	93	104	3.96034
29	104	0	5.11604
TOTAL			118.20263

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.6.2. Ruta 8

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 27 y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 7 es de 112.79 km, el recorrido se muestra en la figura 21 y en la tabla 15 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 21.

Recorrido de la Ruta 8 en el software QGIS

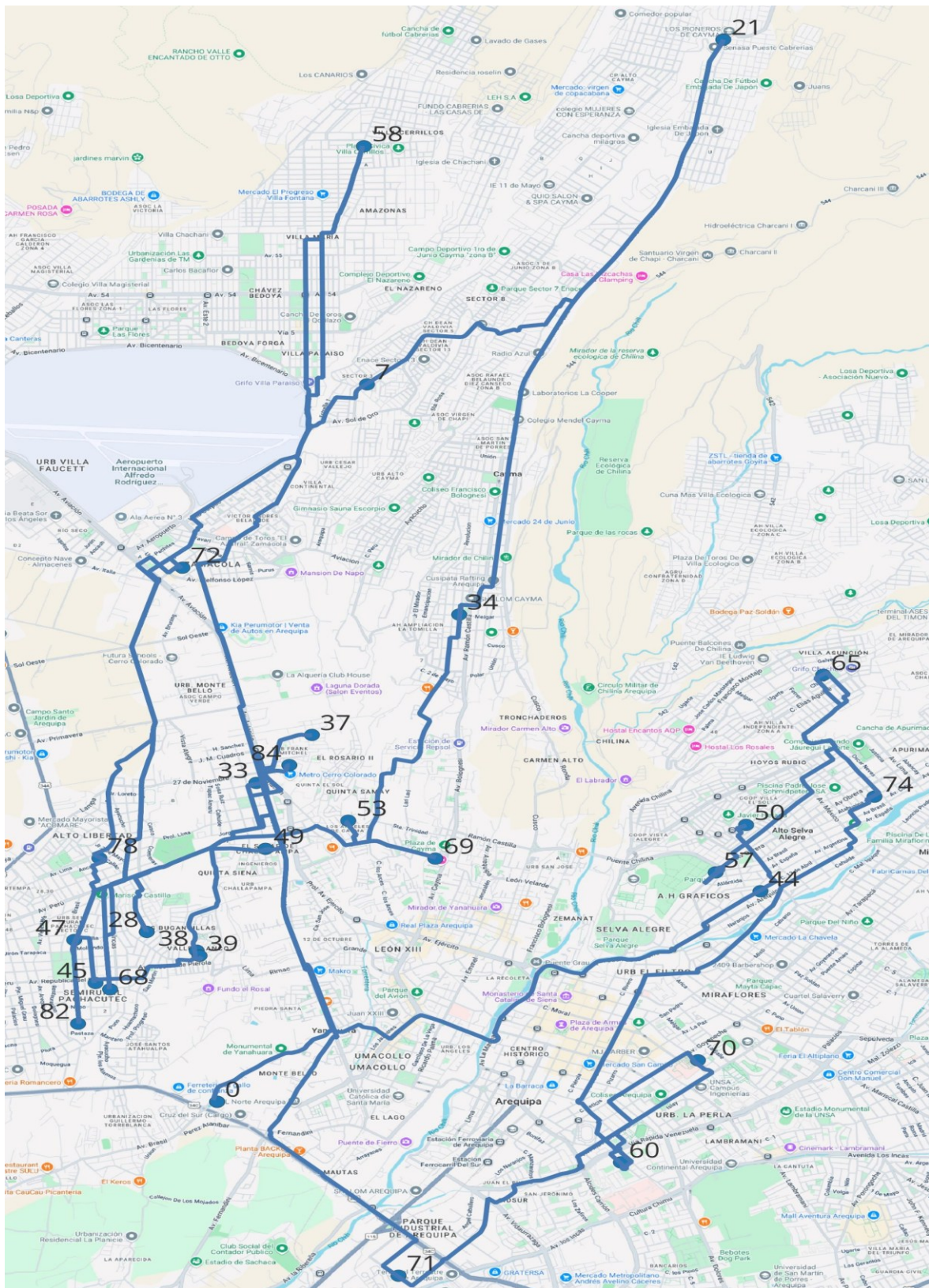


Tabla 15.

Distancias por nodos de la Ruta 8

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	44	5.91163
2	44	50	0.98579
3	50	57	0.80201
4	57	65	3.94714
5	65	74	1.98529
6	74	60	6.29529
7	60	70	1.84788
8	70	71	4.37019
9	71	7	11.89823
10	7	21	5.61618
11	21	34	6.85605
12	34	53	3.54254
13	53	69	0.96013
14	69	28	3.62314
15	28	33	2.8646
16	33	37	1.21366
17	37	38	4.71852
18	38	39	0.14886
19	39	45	1.12918
20	45	47	0.69083
21	47	49	2.50936
22	49	58	9.02727
23	58	68	10.41965
24	68	72	5.62822
25	72	78	3.92325
26	78	82	2.30439
27	82	84	4.35824
28	84	0	5.20906
TOTAL			112.78658

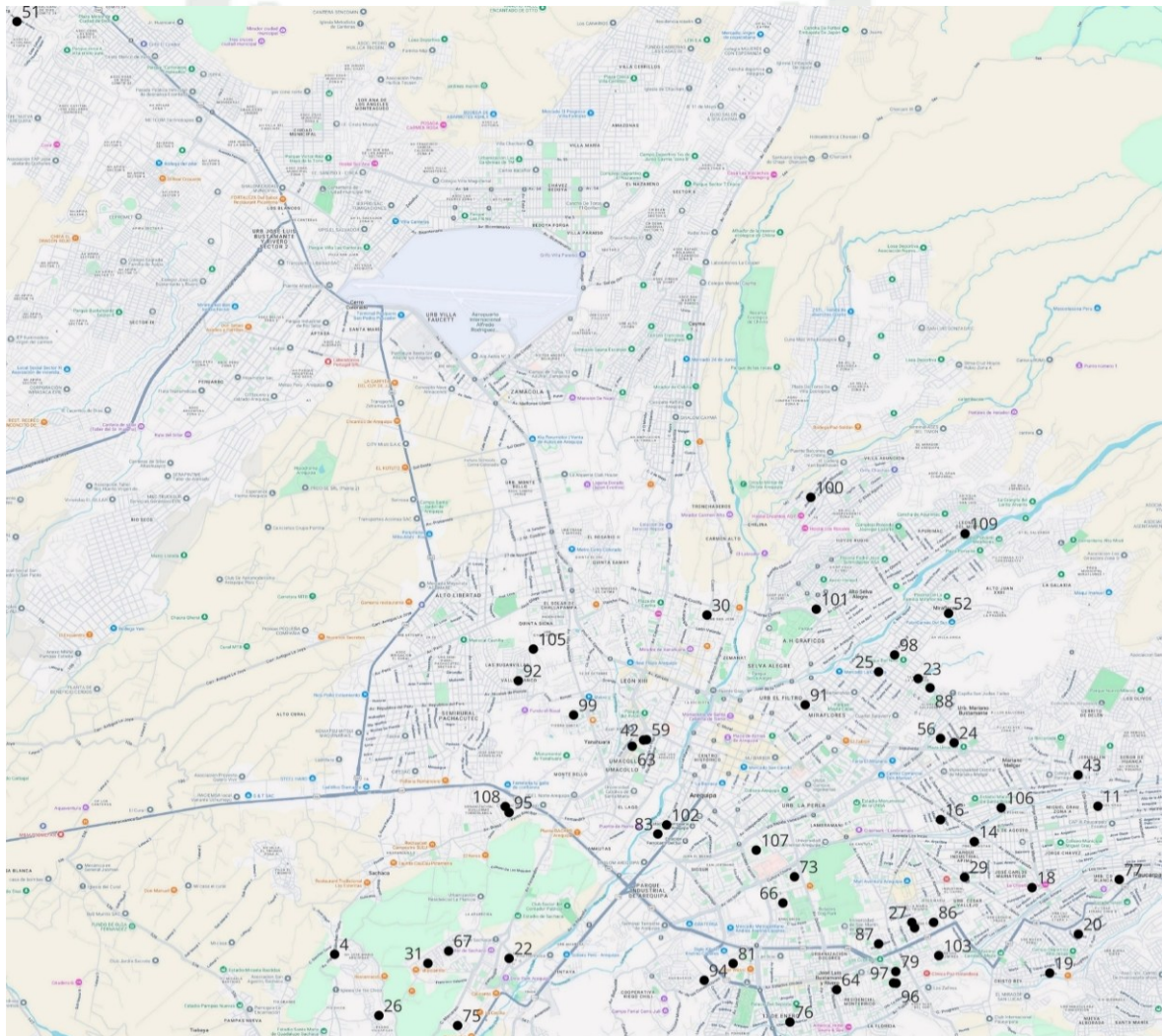
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.6.3. Pedidos no Despachados

En el día 4 no se despacharon 54 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 22.

Figura 22.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados

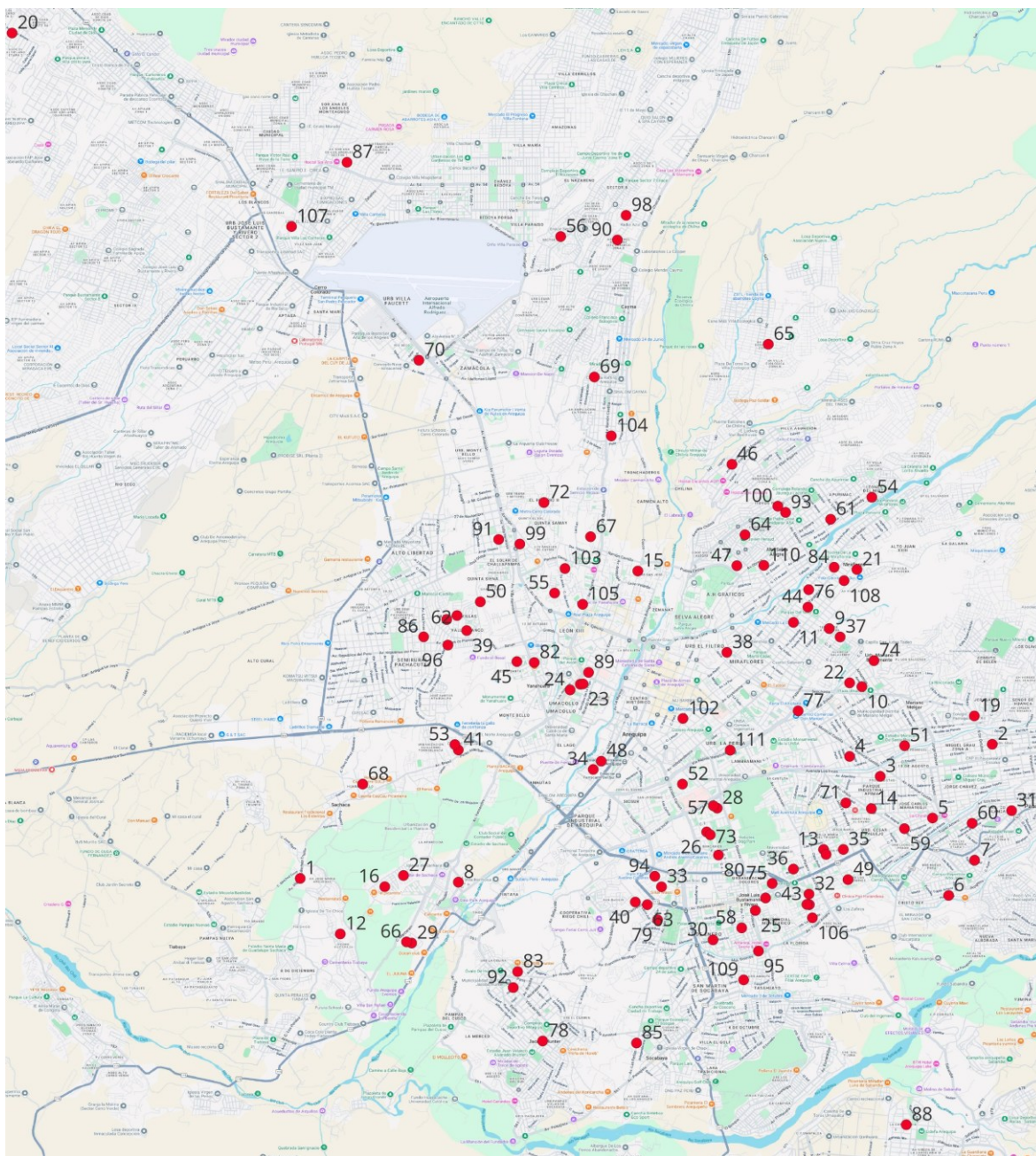


3.7. Demanda de pedidos para el día 5

La cantidad de clientes por atender el día 5 es de 57, sin considerar los 54 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 111 pedidos totales, los cuales se muestran en la figura 23.

Figura 23.

Demanda de pedidos para el día 5



3.7.1. Ruta 9

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 1 fueron de 29 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 9 es de 120.02 km, el recorrido se muestra en la figura 24 y en la tabla 16 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 24.

Recorrido de la Ruta 9 en el software QGIS

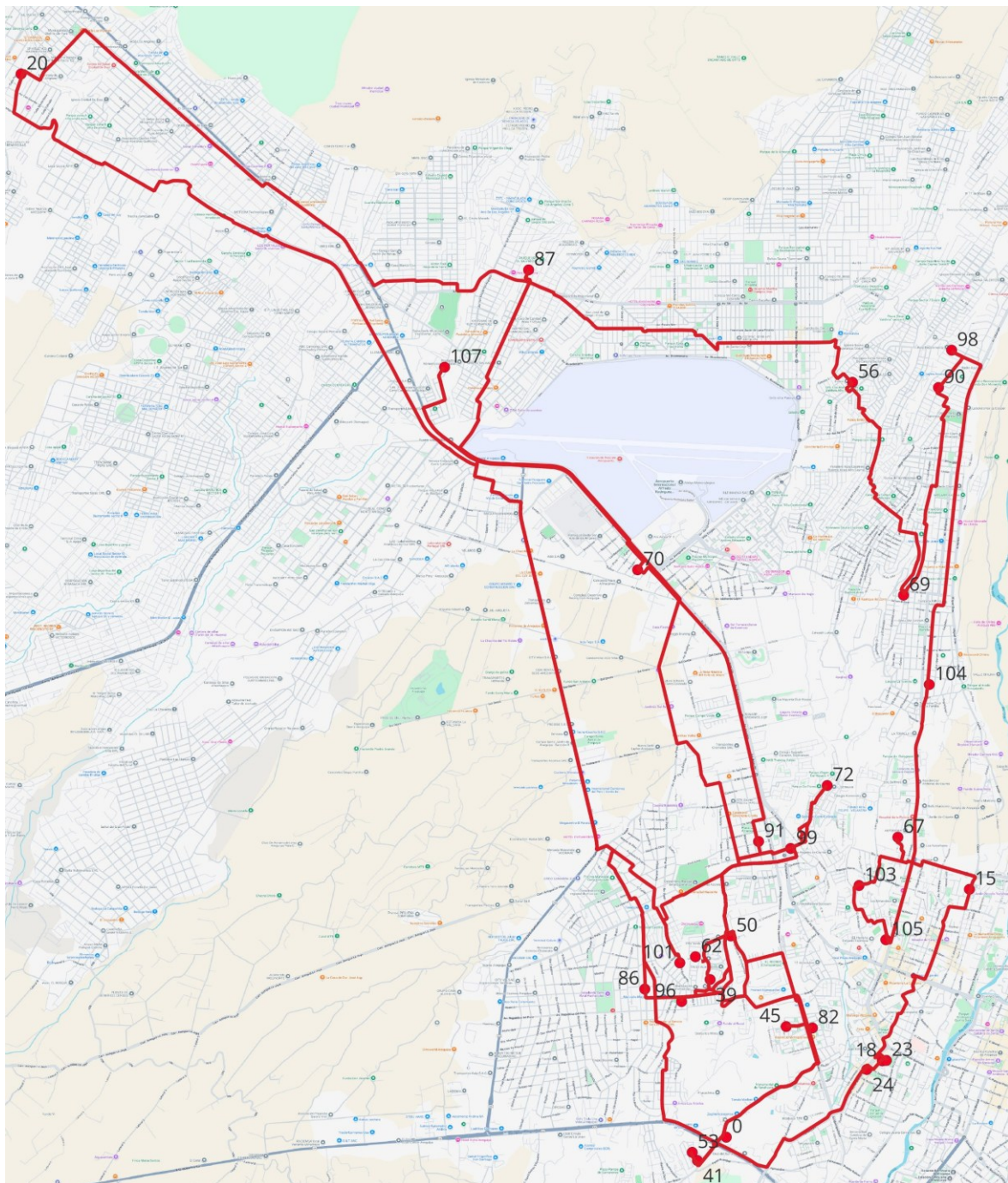


Tabla 16.

Distancias por nodos de la Ruta 9

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	20	18.03398
2	20	56	11.72695
3	56	69	3.88095
4	69	90	3.0354
5	90	98	0.55042
6	98	104	3.93854
7	104	105	2.84642
8	105	103	0.8873
9	103	67	0.99324
10	67	15	1.24852
11	15	18	2.71912
12	18	23	0.08168
13	23	24	0.43481
14	24	41	2.5833
15	41	45	2.52586
16	45	53	2.47903
17	53	82	2.29458
18	82	39	1.55315
19	39	72	3.89032
20	72	62	2.85199
21	62	70	5.68629
22	70	87	5.305
23	87	91	8.85829
24	91	96	2.68303
25	96	99	2.8541
26	99	101	2.76206
27	101	107	9.01519
28	107	86	8.87116
29	86	50	2.04525
30	50	0	3.3829
TOTAL			120.01883

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.7.2. Ruta 10

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 26 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 10 es de 73.29 km, el recorrido se muestra en la figura 25 y en la tabla 17 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 25.

Recorrido de la Ruta 10 en el software QGIS



Tabla 17.

Distancias por nodos de la Ruta 10

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	25	5.75444
2	25	26	1.86407
3	26	33	1.76433
4	33	28	1.99542
5	28	30	2.94297
6	30	36	2.2149
7	36	32	0.86414
8	32	40	3.38975
9	40	42	4.19163
10	42	43	0.05186
11	43	81	5.77444
12	81	88	1.86884
13	88	2	8.44159
14	2	3	2.61101
15	3	14	0.66587
16	14	17	1.42494
17	17	13	0.10239
18	13	7	2.70438
19	7	71	2.41337
20	71	60	2.32245
21	60	5	0.80325
22	5	6	1.97629
23	6	31	2.73315
24	31	35	4.10057
25	35	49	0.71676
26	49	59	1.72523
27	59	0	7.87768
TOTAL			73.29572

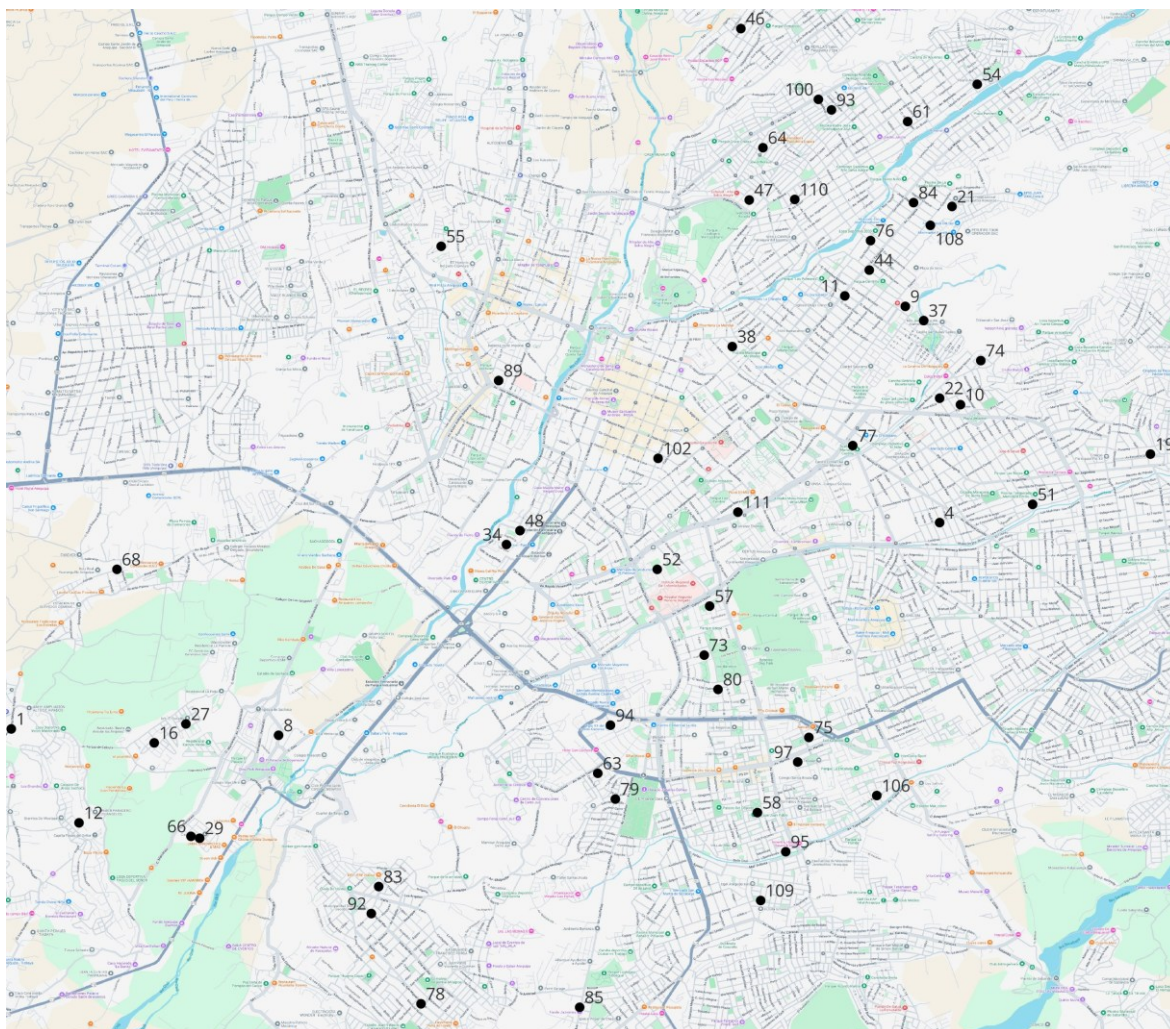
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.7.3. Pedidos No Despachados

En el día 5 no se despacharon 56 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 26.

Figura 26.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados

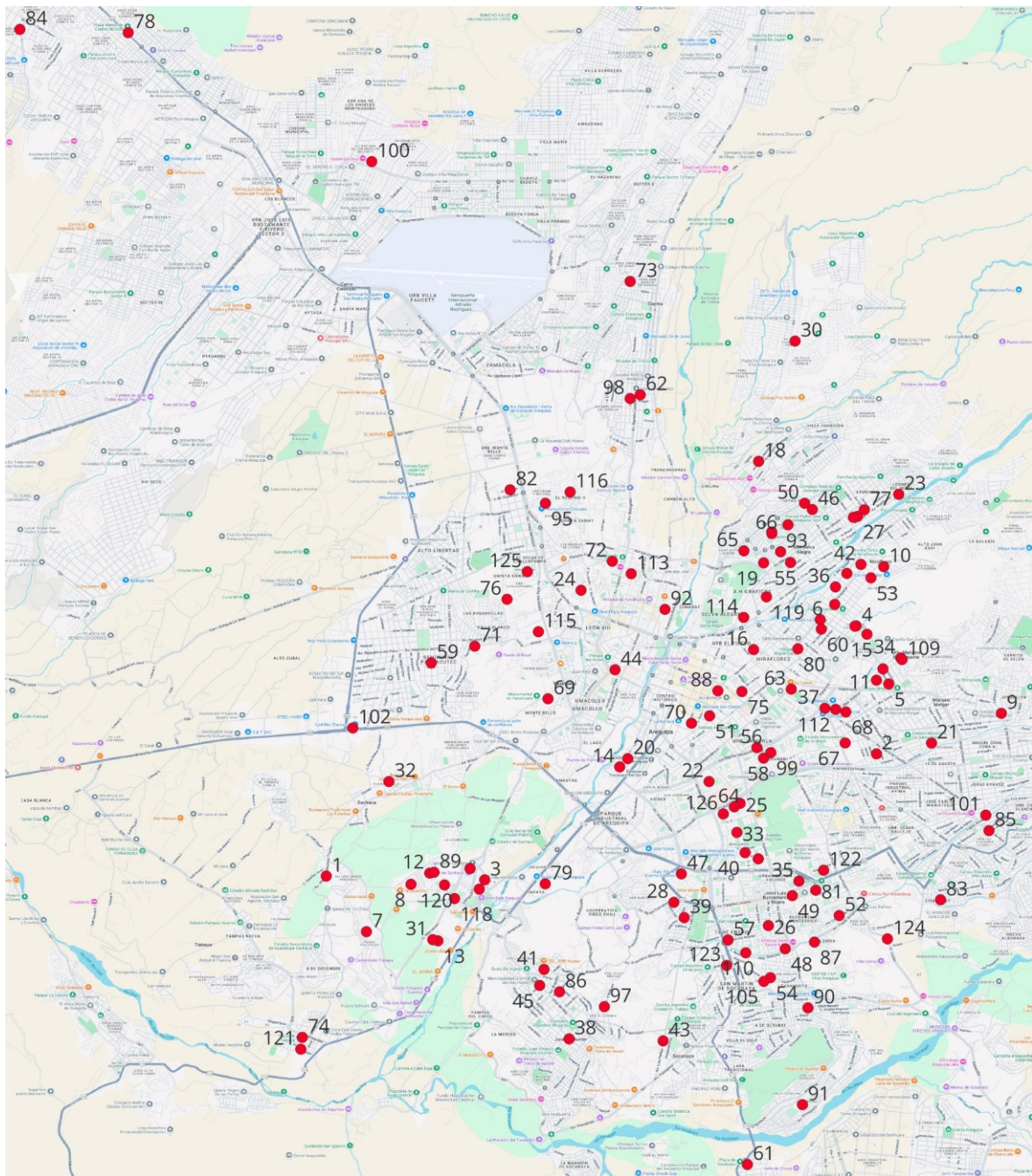


3.8. Demanda de pedidos para el día 6

La cantidad de pedidos por atender el día 6 es de 70, sin considerar los 56 pedidos no despachados del día anterior, sumando un total de 126 pedidos totales, los cuales se muestran en la figura 27.

Figura 27.

Demanda de pedidos para el día 6



3.8.1. Ruta 11

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 1 fueron de 28 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 11 es de 87.13 km, el recorrido se muestra en la figura 28 y en la tabla 18 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 28.

Recorrido de la Ruta 11 en el software QGIS



Tabla 18.

Distancias por nodos de la Ruta 11

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	38	6.93353
2	38	41	1.49767
3	41	45	0.29327
4	45	86	0.49164
5	86	97	1.53167
6	97	39	2.15958
7	39	43	2.06845
8	43	61	3.57469
9	61	80	9.77788
10	80	90	6.92605
11	90	91	2.1465
12	91	105	3.16165
13	105	25	3.8394
14	25	26	2.37292
15	26	28	2.02326
16	28	33	2.03507
17	33	35	1.84545
18	35	40	1.20434
19	40	47	1.89132
20	47	48	2.99847
21	48	49	1.4786
22	49	52	1.26861
23	52	54	1.93801
24	54	57	1.48983
25	57	64	2.94359
26	64	81	2.28069
27	81	87	1.92391
28	87	107	7.59097
29	107	0	7.44448
TOTAL			87.1315

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.8.2. Ruta 12

Los pedidos despachados para la unidad vehicular 2 fueron de 29 pedidos y la cantidad total de kilómetros recorridos en la ruta 12 es de 118.41 km, el recorrido se muestra en la figura 29 y en la tabla 19 las distancias recorridas entre cada nodo, extraído del software QGIS.

Figura 29.

Recorrido de la Ruta 12 en el software QGIS

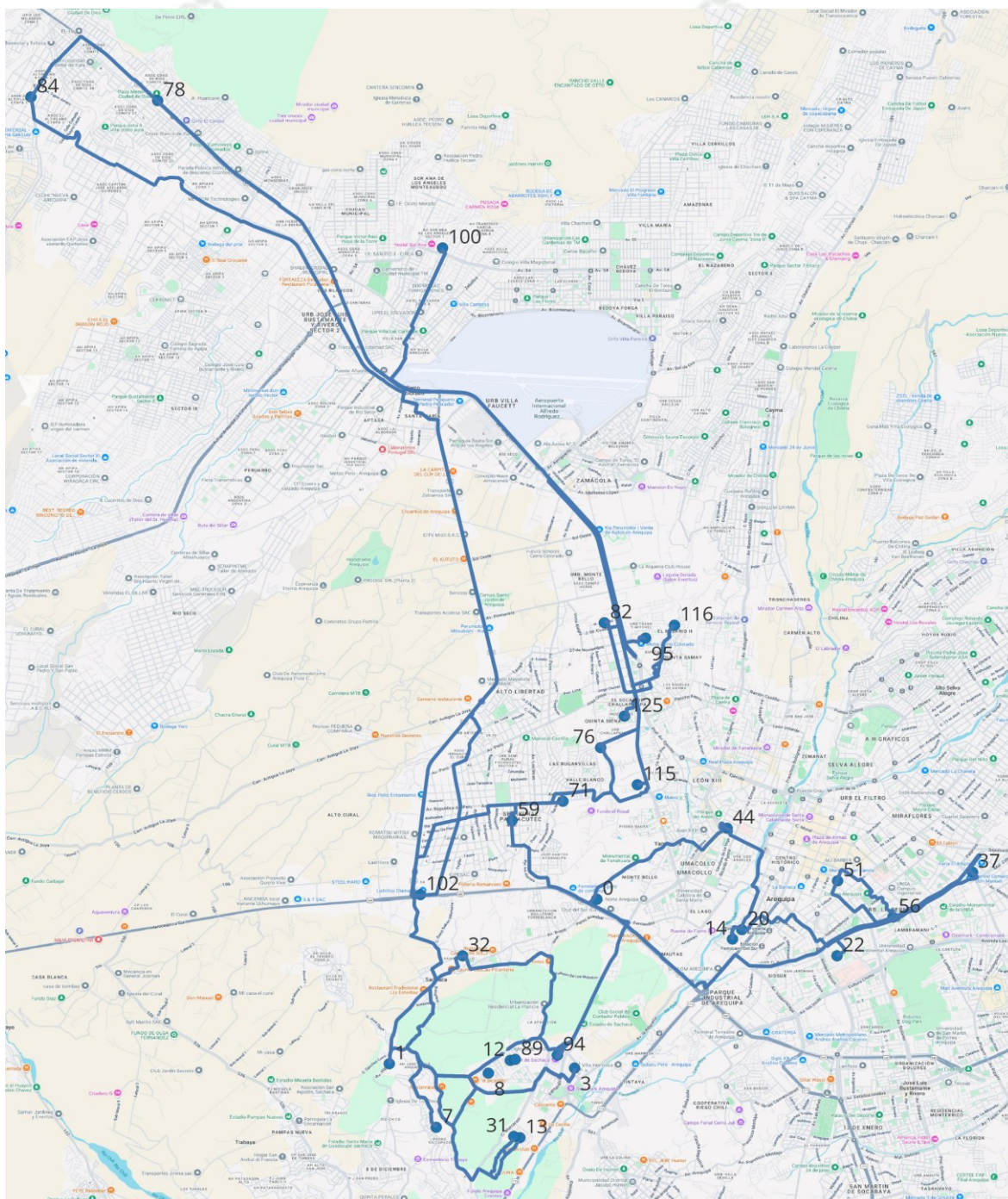


Tabla 19.

Distancias por nodos de la Ruta 12

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	44	2.40933
2	44	14	2.11989
3	14	20	0.32476
4	20	22	2.20497
5	22	37	2.45049
6	37	51	3.17159
7	51	56	1.53718
8	56	59	7.17061
9	59	71	0.91036
10	71	76	1.74258
11	76	82	2.29809
12	82	95	1.34437
13	95	100	8.94058
14	100	102	10.97033
15	102	115	4.88684
16	115	116	2.68743
17	116	125	1.8539
18	125	78	12.13443
19	78	84	2.54467
20	84	1	18.51848
21	1	3	3.65846
22	3	7	4.28186
23	7	8	2.292
24	8	12	0.32667
25	12	13	3.61357
26	13	31	0.51947
27	31	32	5.86746
28	32	89	3.38076
29	89	94	1.21611
30	94	0	3.03723
TOTAL			118.41447

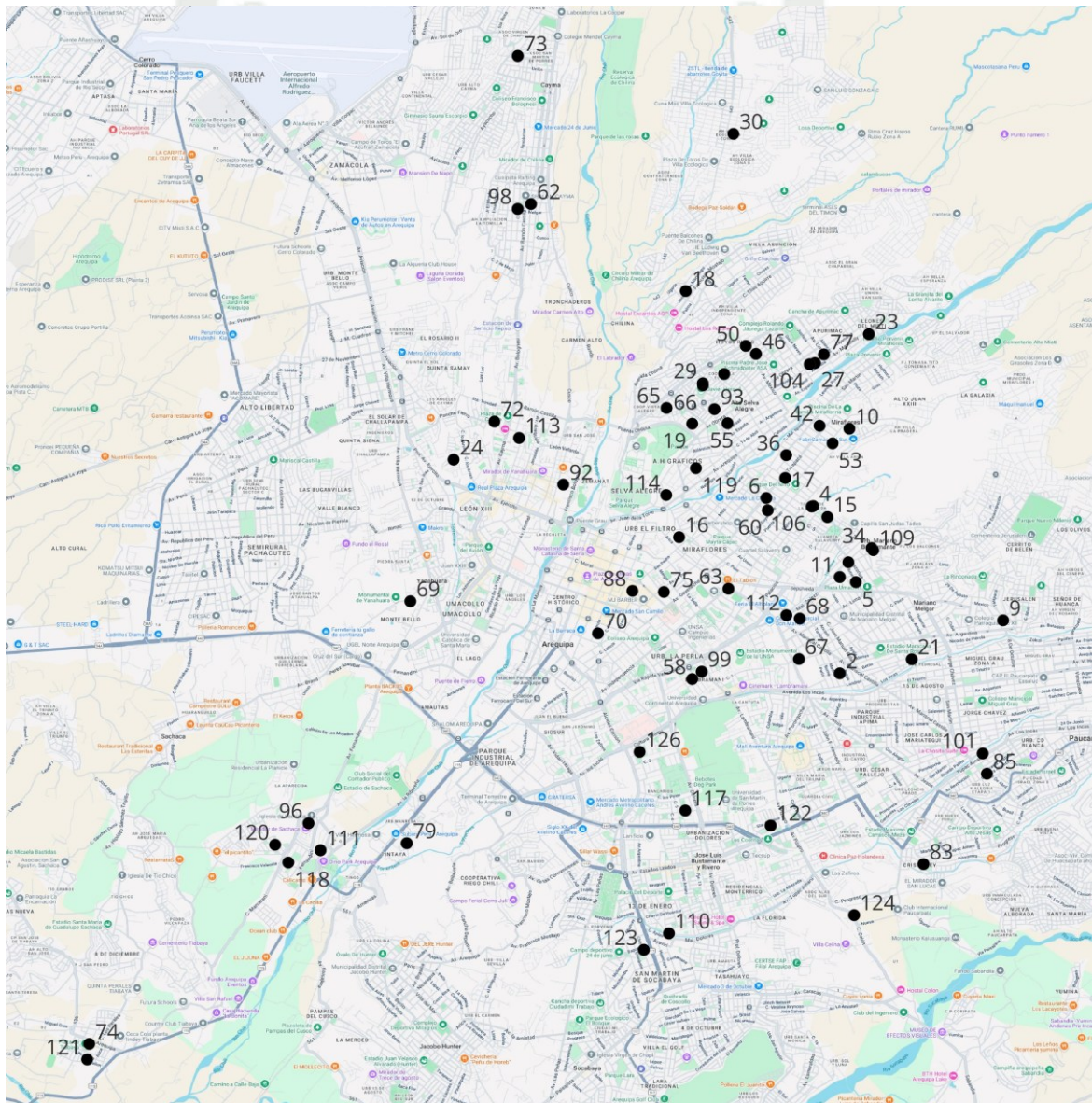
Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

3.8.3. Pedidos No Despachados

En el día 6 no se despacharon 69 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 30.

Figura 30.

Ubicaciones geográficas en el software QGIS de los pedidos No Despachados



3.9. Costos de Transporte

Para estimar los costos de transporte en la cadena de suministro de una empresa de Última Milla, es necesario considerar el consumo del combustible en función de la distancia recorrida por cada vehículo, la cual se representa en la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de transporte (S/)} = \frac{\text{Distancia (km)}}{\text{Rendimiento de vehículo } \left(\frac{\text{km}}{\text{galón}}\right)} \times \text{Precio por galón (S/)}$$

Donde la distancia representa el total de kilómetros recorridos, el rendimiento del vehículo corresponde a su eficiencia en kilómetros por galón, el cual se estableció en 34.8 kilómetros por galón, de acuerdo con una prueba de manejo realizada por el medio especializado en Colombia (Carros y Clásicos, 2024). El precio por galón se refiere al valor actual del combustible en el mercado peruano. Según datos reportados por el portal PrecioCombustible (2025), el precio promedio del gasohol premium es de S/15.99 por galón.

3.9.1. Ruta 1

La distancia recorrida de la ruta 1 fue de 69.84 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/32.09 y se muestra en la tabla 20.

Tabla 20.

Costo del Recorrido de la Ruta 1

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	3.42835	34.8	0.098515805	15.99	1.575267716
2	0.57759	34.8	0.016597414	15.99	0.265392647
3	2.20645	34.8	0.063403736	15.99	1.013825733
4	4.11584	34.8	0.118271264	15.99	1.891157517
5	2.59932	34.8	0.074693103	15.99	1.194342724
6	1.22859	34.8	0.03530431	15.99	0.564515922
7	2.47564	34.8	0.07113908	15.99	1.137513897
8	3.81575	34.8	0.109647989	15.99	1.753271336
9	2.31627	34.8	0.066559483	15.99	1.064286129

10	3.27788	34.8	0.094191954	15.99	1.506129345
11	7.18564	34.8	0.206483908	15.99	3.30167769
12	2.40412	34.8	0.069083908	15.99	1.10465169
13	0.42009	34.8	0.012071552	15.99	0.193024112
14	0.59149	34.8	0.016996839	15.99	0.271779457
15	4.09156	34.8	0.117573563	15.99	1.880001276
16	2.12663	34.8	0.061110057	15.99	0.977149819
17	1.64447	34.8	0.047254885	15.99	0.755605612
18	0.45712	34.8	0.013135632	15.99	0.210038759
19	1.29983	34.8	0.037351437	15.99	0.597249474
20	0.69931	34.8	0.020095115	15.99	0.321320888
21	1.78645	34.8	0.05133477	15.99	0.820842974
22	1.47716	34.8	0.042447126	15.99	0.678729552
23	0.26317	34.8	0.007562356	15.99	0.120922078
24	0.53397	34.8	0.015343966	15.99	0.245350009
25	1.79453	34.8	0.051566954	15.99	0.824555595
26	2.65685	34.8	0.076346264	15.99	1.220776767
27	1.60608	34.8	0.046151724	15.99	0.737966069
28	0.17391	34.8	0.004997414	15.99	0.079908647
29	1.85436	34.8	0.053286207	15.99	0.852046448
30	1.5211	34.8	0.04370977	15.99	0.698919224
31	9.21058	34.8	0.264671839	15.99	4.232102707
TOTAL	69.8401				32.0903218

3.9.2. Ruta 2

La distancia recorrida de la ruta 2 fue de 42.98 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/19.75 y se muestra en la tabla 21.

Tabla 21.

Costo del Recorrido de la Ruta 2

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	0.49049	34.8	0.01409454	15.99	0.225371698
2	0.17148	34.8	0.004927586	15.99	0.078792103
3	1.87096	34.8	0.053763218	15.99	0.859673862
4	3.78823	34.8	0.108857184	15.99	1.740626371

5	2.65822	34.8	0.076385632	15.99	1.221406259
6	2.4524	34.8	0.070471264	15.99	1.126835517
7	3.67498	34.8	0.105602874	15.99	1.688589948
8	1.46425	34.8	0.042076149	15.99	0.672797629
9	1.20348	34.8	0.034582759	15.99	0.55297831
10	1.17143	34.8	0.033661782	15.99	0.538251888
11	1.25977	34.8	0.036200287	15.99	0.578842595
12	0.13743	34.8	0.003949138	15.99	0.063146716
13	0.51079	34.8	0.014677874	15.99	0.234699198
14	0.45751	34.8	0.013146839	15.99	0.210217957
15	1.81127	34.8	0.052047989	15.99	0.832247336
16	0.49254	34.8	0.014153448	15.99	0.226313638
17	0.79776	34.8	0.022924138	15.99	0.366556966
18	0.68431	34.8	0.01966408	15.99	0.314428647
19	2.45837	34.8	0.070642816	15.99	1.129578629
20	2.35262	34.8	0.067604023	15.99	1.080988328
21	2.20883	34.8	0.063472126	15.99	1.014919302
22	0.82411	34.8	0.023681322	15.99	0.378664336
23	1.61534	34.8	0.046417816	15.99	0.742220879
24	0.23164	34.8	0.006656322	15.99	0.106434586
25	0.50819	34.8	0.014603161	15.99	0.233504543
26	1.2179	34.8	0.034997126	15.99	0.559604052
27	3.22313	34.8	0.092618678	15.99	1.480972664
28	3.24566	34.8	0.093266092	15.99	1.49132481
TOTAL	42.98309				19.74998877

3.9.3. Ruta 3

La distancia recorrida de la ruta 3 fue de 59.82 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/27.49 y se muestra en la tabla 22.

Tabla 22.

Costo del Recorrido de la Ruta 3

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	9.3998	34.8	0.270109195	15.99	4.319046034
2	2.7364	34.8	0.078632184	15.99	1.257328621

3	0.9668	34.8	0.027781609	15.99	0.444227931
4	2.2689	34.8	0.065198276	15.99	1.042520431
5	2.4619	34.8	0.070744253	15.99	1.131200603
6	0.9517	34.8	0.027347701	15.99	0.437289741
7	0.9386	34.8	0.026971264	15.99	0.431270517
8	0.9734	34.8	0.027971264	15.99	0.447260517
9	1.1716	34.8	0.033666667	15.99	0.53833
10	0.1741	34.8	0.005002874	15.99	0.079995948
11	1.1593	34.8	0.033313218	15.99	0.532678362
12	0.9517	34.8	0.027347701	15.99	0.437289741
13	0.0094	34.8	0.000270115	15.99	0.004319138
14	0.6654	34.8	0.01912069	15.99	0.305739828
15	4.4032	34.8	0.126528736	15.99	2.023194483
16	1.1745	34.8	0.03375	15.99	0.5396625
17	3.1575	34.8	0.090732759	15.99	1.45081681
18	3.6336	34.8	0.104413793	15.99	1.669576552
19	1.8543	34.8	0.053284483	15.99	0.852018879
20	1.3521	34.8	0.038853448	15.99	0.621266638
21	0.1932	34.8	0.005551724	15.99	0.088772069
22	1.8529	34.8	0.053244253	15.99	0.851375603
23	0.2501	34.8	0.007186782	15.99	0.114916638
24	0.9224	34.8	0.026505747	15.99	0.423826897
25	1.6237	34.8	0.046658046	15.99	0.746062155
26	1.4723	34.8	0.042307471	15.99	0.676496466
27	1.2969	34.8	0.037267241	15.99	0.59590319
28	2.2523	34.8	0.064721264	15.99	1.034893017
29	0.8179	34.8	0.023502874	15.99	0.375810948
30	8.7321	34.8	0.250922414	15.99	4.012249397
TOTAL	59.818				27.48533966

3.9.4. Ruta 4

La distancia recorrida de la ruta 4 fue de 56.23 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/25.84 y se muestra en la tabla 23.

Tabla 23.

Costo del Recorrido de la Ruta 4

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	1.86054	34.8	0.053463793	15.99	0.854886052
2	0.58486	34.8	0.016806322	15.99	0.268733086
3	0.59199	34.8	0.017011207	15.99	0.272009198
4	0.91807	34.8	0.026381322	15.99	0.421837336
5	3.13088	34.8	0.089967816	15.99	1.438585379
6	0.61247	34.8	0.017599713	15.99	0.281419405
7	1.27186	34.8	0.036547701	15.99	0.584397741
8	1.32993	34.8	0.038216379	15.99	0.611079905
9	1.26157	34.8	0.036252011	15.99	0.579669664
10	2.85252	34.8	0.081968966	15.99	1.310683759
11	6.69649	34.8	0.192427874	15.99	3.076921698
12	0.57529	34.8	0.016531322	15.99	0.264335836
13	0.53271	34.8	0.015307759	15.99	0.24477106
14	6.28743	34.8	0.180673276	15.99	2.888965681
15	0.98334	34.8	0.028256897	15.99	0.451827776
16	2.0216	34.8	0.058091954	15.99	0.928890345
17	3.68286	34.8	0.10582931	15.99	1.692210672
18	2.31811	34.8	0.066612356	15.99	1.065131578
19	0.14164	34.8	0.004070115	15.99	0.065081138
20	2.78781	34.8	0.080109483	15.99	1.280950629
21	1.43096	34.8	0.04111954	15.99	0.657501448
22	1.58716	34.8	0.045608046	15.99	0.729272655
23	0.86306	34.8	0.024800575	15.99	0.39656119
24	0.50175	34.8	0.014418103	15.99	0.230545474
25	1.78468	34.8	0.051283908	15.99	0.82002969
26	1.65139	34.8	0.047453736	15.99	0.758785233
27	1.25457	34.8	0.036050862	15.99	0.576453284
28	2.51736	34.8	0.072337931	15.99	1.156683517
29	4.19726	34.8	0.12061092	15.99	1.928568603

TOTAL	56.23016	25.83678903
--------------	-----------------	--------------------

3.9.5. Ruta 5

La distancia recorrida de la ruta 5 fue de 69.63 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/31.99 y se muestra en la tabla 24.

Tabla 24.

Costo del Recorrido de la Ruta 5

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	2.44599	34.8	0.070287069	15.99	1.123890233
2	1.97361	34.8	0.056712931	15.99	0.906839767
3	5.82499	34.8	0.16738477	15.99	2.676482474
4	1.42748	34.8	0.04101954	15.99	0.655902448
5	1.3872	34.8	0.039862069	15.99	0.637394483
6	2.28554	34.8	0.065676437	15.99	1.050166224
7	1.82387	34.8	0.052410057	15.99	0.838036819
8	1.36206	34.8	0.039139655	15.99	0.625843086
9	0.53061	34.8	0.015247414	15.99	0.243806147
10	1.04449	34.8	0.03001408	15.99	0.479925147
11	0.55794	34.8	0.016032759	15.99	0.25636381
12	2.12975	34.8	0.061199713	15.99	0.978583405
13	3.56098	34.8	0.102327011	15.99	1.636208914
14	6.56545	34.8	0.188662356	15.99	3.016711078
15	6.99352	34.8	0.200963218	15.99	3.213401862
16	0.64397	34.8	0.018504885	15.99	0.295893112
17	0.23187	34.8	0.006662931	15.99	0.106540267
18	0.50868	34.8	0.014617241	15.99	0.23372969
19	0.93336	34.8	0.02682069	15.99	0.428862828
20	0.88309	34.8	0.025376149	15.99	0.405764629
21	1.00883	34.8	0.028989368	15.99	0.463539991
22	3.10992	34.8	0.089365517	15.99	1.428954621
23	1.74934	34.8	0.050268391	15.99	0.803791569
24	3.00364	34.8	0.086311494	15.99	1.380120793
25	6.64954	34.8	0.191078736	15.99	3.055348983
26	3.57012	34.8	0.102589655	15.99	1.640408586

27	7.42206	34.8	0.213277586	15.99	3.410308603
TOTAL	69.6279				31.99281957

3.9.6. Ruta 6

La distancia recorrida de la ruta 6 fue de 100.02 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/45.96 y se muestra en la tabla 25.

Tabla 25.

Costo del Recorrido de la Ruta 6

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	13.07199	34.8	0.375631897	15.99	6.006354026
2	1.01301	34.8	0.029109483	15.99	0.465460629
3	20.30596	34.8	0.583504598	15.99	9.330238517
4	7.84137	34.8	0.225326724	15.99	3.602974319
5	0.97685	34.8	0.028070402	15.99	0.448845733
6	4.6731	34.8	0.134284483	15.99	2.147208879
7	1.42812	34.8	0.041037931	15.99	0.656196517
8	1.43364	34.8	0.041196552	15.99	0.658732862
9	0.15991	34.8	0.004595115	15.99	0.073475888
10	1.06168	34.8	0.030508046	15.99	0.487823655
11	1.37366	34.8	0.039472989	15.99	0.631173086
12	0.19413	34.8	0.005578448	15.99	0.089199388
13	2.41077	34.8	0.069275	15.99	1.10770725
14	5.53613	34.8	0.159084195	15.99	2.543756284
15	8.86191	34.8	0.254652586	15.99	4.071894853
16	0.80495	34.8	0.023130747	15.99	0.369860647
17	3.75093	34.8	0.107785345	15.99	1.723487664
18	4.94172	34.8	0.142003448	15.99	2.270635138
19	0.48034	34.8	0.013802874	15.99	0.220707948
20	6.80849	34.8	0.195646264	15.99	3.128383767
21	1.2477	34.8	0.035853448	15.99	0.573296638
22	1.68028	34.8	0.048283908	15.99	0.77205969
23	2.24335	34.8	0.06446408	15.99	1.030780647
24	1.3508	34.8	0.038816092	15.99	0.62066931
25	0.48413	34.8	0.013911782	15.99	0.222449388

26	1.78444	34.8	0.051277011	15.99	0.819919414
27	1.29021	34.8	0.037075	15.99	0.59282925
28	1.89732	34.8	0.05452069	15.99	0.871785828
29	0.91282	34.8	0.02623046	15.99	0.419425052
TOTAL	100.01971				45.95733227

3.9.7. Ruta 7

La distancia recorrida de la ruta 7 fue de 118.20 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/54.31 y se muestra en la tabla 26.

Tabla 26.

Costo del Recorrido de la Ruta 7

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	7.67292	34.8	0.220486207	15.99	3.525574448
2	7.23842	34.8	0.208000575	15.99	3.32592919
3	10.47464	34.8	0.300995402	15.99	4.812916483
4	0.59371	34.8	0.017060632	15.99	0.272799509
5	1.02514	34.8	0.029458046	15.99	0.471034155
6	7.58722	34.8	0.218023563	15.99	3.486196776
7	7.80295	34.8	0.224222701	15.99	3.585320991
8	3.72756	34.8	0.107113793	15.99	1.712749552
9	5.55836	34.8	0.159722989	15.99	2.553970586
10	8.08426	34.8	0.232306322	15.99	3.714578086
11	3.07972	34.8	0.088497701	15.99	1.415078241
12	1.88163	34.8	0.054069828	15.99	0.864576543
13	0.14064	34.8	0.004041379	15.99	0.064621655
14	3.67791	34.8	0.105687069	15.99	1.689936233
15	3.35835	34.8	0.09650431	15.99	1.543103922
16	2.17396	34.8	0.062470115	15.99	0.998897138
17	4.54958	34.8	0.130735057	15.99	2.090453569
18	4.78737	34.8	0.137568103	15.99	2.199713974
19	3.60346	34.8	0.103547701	15.99	1.655727741
20	2.06551	34.8	0.059353736	15.99	0.949066233
21	2.39427	34.8	0.068800862	15.99	1.100125784
22	0.84507	34.8	0.024283621	15.99	0.388295095

23	1.78572	34.8	0.051313793	15.99	0.820507552
24	4.72475	34.8	0.135768678	15.99	2.170941164
25	3.32893	34.8	0.095658908	15.99	1.52958594
26	3.10644	34.8	0.089265517	15.99	1.427355621
27	3.85776	34.8	0.110855172	15.99	1.772574207
28	3.96034	34.8	0.113802874	15.99	1.819707948
29	5.11604	34.8	0.147012644	15.99	2.350732172
TOTAL	118.20263				54.31207051

3.9.8. Ruta 8

La distancia recorrida de la ruta 8 fue de 112.79 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/51.82 y se muestra en la tabla 27.

Tabla 27.

Costo del Recorrido de la Ruta 8

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	5.91163	34.8	0.169874425	15.99	2.71629206
2	0.98579	34.8	0.028327299	15.99	0.452953509
3	0.80201	34.8	0.023046264	15.99	0.368509767
4	3.94714	34.8	0.113423563	15.99	1.813642776
5	1.98529	34.8	0.057048563	15.99	0.912206526
6	6.29529	34.8	0.180899138	15.99	2.892577216
7	1.84788	34.8	0.0531	15.99	0.849069
8	4.37019	34.8	0.125580172	15.99	2.008026957
9	11.89823	34.8	0.341903161	15.99	5.467031543
10	5.61618	34.8	0.161384483	15.99	2.580537879
11	6.85605	34.8	0.197012931	15.99	3.150236767
12	3.54254	34.8	0.101797126	15.99	1.627736052
13	0.96013	34.8	0.027589943	15.99	0.441163181
14	3.62314	34.8	0.104113218	15.99	1.664770362
15	2.8646	34.8	0.082316092	15.99	1.31623431
16	1.21366	34.8	0.034875287	15.99	0.557655845
17	4.71852	34.8	0.135589655	15.99	2.168078586
18	0.14886	34.8	0.004277586	15.99	0.068398603
19	1.12918	34.8	0.032447701	15.99	0.518838741

20	0.69083	34.8	0.019851437	15.99	0.317424474
21	2.50936	34.8	0.072108046	15.99	1.153007655
22	9.02727	34.8	0.25940431	15.99	4.147874922
23	10.41965	34.8	0.29941523	15.99	4.787649526
24	5.62822	34.8	0.16173046	15.99	2.586070052
25	3.92325	34.8	0.112737069	15.99	1.802665733
26	2.30439	34.8	0.066218103	15.99	1.058827474
27	4.35824	34.8	0.125236782	15.99	2.002536138
28	5.20906	34.8	0.149685632	15.99	2.393473259
TOTAL	112.78658				51.82348891

3.9.9. Ruta 9

La distancia recorrida de la ruta 9 fue de 120.02 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/55.15 y se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.

Costo del Recorrido de la Ruta 9

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	18.03398	34.8	0.518217816	15.99	8,286302879
2	11.72695	34.8	0.336981322	15.99	5,388331336
3	3.88095	34.8	0.111521552	15.99	1,783229612
4	3.0354	34.8	0.087224138	15.99	1,394713966
5	0.55042	34.8	0.015816667	15.99	0,2529085
6	3.93854	34.8	0.113176437	15.99	1,809691224
7	2.84642	34.8	0.081793678	15.99	1,307880914
8	0.8873	34.8	0.025497126	15.99	0,407699052
9	0.99324	34.8	0.028541379	15.99	0,456376655
10	1.24852	34.8	0.035877011	15.99	0,573673414
11	2.71912	34.8	0.078135632	15.99	1,249388759
12	0.08168	34.8	0.002347126	15.99	0,037530552
13	0.43481	34.8	0.01249454	15.99	0,199787698
14	2.5833	34.8	0.074232759	15.99	1,18698181
15	2.52586	34.8	0.072582184	15.99	1,160589121
16	2.47903	34.8	0.071236494	15.99	1,139071543
17	2.29458	34.8	0.065936207	15.99	1,054319948

18	1.55315	34.8	0.044630747	15.99	0,713645647
19	3.89032	34.8	0.111790805	15.99	1,787534966
20	2.85199	34.8	0.081953736	15.99	1,310440233
21	5.68629	34.8	0.163399138	15.99	2,612752216
22	5.305	34.8	0.152442529	15.99	2,437556034
23	8.85829	34.8	0.254548563	15.99	4,070231526
24	2.68303	34.8	0.077098563	15.99	1,232806026
25	2.8541	34.8	0.082014368	15.99	1,311409741
26	2.76206	34.8	0.07936954	15.99	1,269118948
27	9.01519	34.8	0.259057184	15.99	4,142324371
28	8.87116	34.8	0.254918391	15.99	4,076145069
29	2.04525	34.8	0.058771552	15.99	0,939757112
30	3.3829	34.8	0.09720977	15.99	1,554384224
TOTAL	120.01883				55,14658309

3.9.10. Ruta 10

La distancia recorrida de la ruta 10 fue de 73.29 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/33.68 y se muestra en la tabla 29.

Tabla 29.

Costo del Recorrido de la Ruta 10

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	5.75444	34.8	0.165357471	15.99	2.644065966
2	1.86407	34.8	0.05356523	15.99	0.856508026
3	1.76433	34.8	0.050699138	15.99	0.810679216
4	1.99542	34.8	0.057339655	15.99	0.916861086
5	2.94297	34.8	0.084568103	15.99	1.352243974
6	2.2149	34.8	0.063646552	15.99	1.017708362
7	0.86414	34.8	0.024831609	15.99	0.397057431
8	3.38975	34.8	0.097406609	15.99	1.557531681
9	4.19163	34.8	0.120449138	15.99	1.925981716
10	0.05186	34.8	0.00149023	15.99	0.023828776
11	5.77444	34.8	0.165932184	15.99	2.653255621
12	1.86884	34.8	0.053702299	15.99	0.858699759
13	8.44159	34.8	0.242574425	15.99	3.87876506

14	2.61101	34.8	0.075029023	15.99	1.199714078
15	0.66587	34.8	0.019134195	15.99	0.305955784
16	1.42494	34.8	0.040946552	15.99	0.654735362
17	0.10239	34.8	0.002942241	15.99	0.04704644
18	2.70438	34.8	0.077712069	15.99	1.242615983
19	2.41337	34.8	0.069349713	15.99	1.108901905
20	2.32245	34.8	0.066737069	15.99	1.067125733
21	0.80325	34.8	0.023081897	15.99	0.369079526
22	1.97629	34.8	0.056789943	15.99	0.908071181
23	2.73315	34.8	0.078538793	15.99	1.255835302
24	4.10057	34.8	0.117832471	15.99	1.884141216
25	0.71676	34.8	0.020596552	15.99	0.329338862
26	1.72523	34.8	0.049575575	15.99	0.79271344
27	7.87768	34.8	0.226370115	15.99	3.619658138
TOTAL	73.29572				33.67811962

3.9.11. Ruta 11

La distancia recorrida de la ruta 11 fue de 87.13 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/40.03 y se muestra en la tabla 30.

Tabla 30.

Costo del Recorrido de la Ruta 11

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	6.93353	34.8	0.199239368	15.99	3.185837491
2	1.49767	34.8	0.043036494	15.99	0.688153543
3	0.29327	34.8	0.008427299	15.99	0.134752509
4	0.49164	34.8	0.014127586	15.99	0.225900103
5	1.53167	34.8	0.044013506	15.99	0.703775957
6	2.15958	34.8	0.062056897	15.99	0.992289776
7	2.06845	34.8	0.059438218	15.99	0.950417112
8	3.57469	34.8	0.102720977	15.99	1.642508422
9	9.77788	34.8	0.280973563	15.99	4.492767276
10	6.92605	34.8	0.199024425	15.99	3.18240056
11	2.1465	34.8	0.061681034	15.99	0.986279741
12	3.16165	34.8	0.090852011	15.99	1.452723664

13	3.8394	34.8	0.110327586	15.99	1.764138103
14	2.37292	34.8	0.068187356	15.99	1.090315828
15	2.02326	34.8	0.058139655	15.99	0.929653086
16	2.03507	34.8	0.058479023	15.99	0.935079578
17	1.84545	34.8	0.053030172	15.99	0.847952457
18	1.20434	34.8	0.034607471	15.99	0.553373466
19	1.89132	34.8	0.054348276	15.99	0.869028931
20	2.99847	34.8	0.086162931	15.99	1.377745267
21	1.4786	34.8	0.042488506	15.99	0.679391207
22	1.26861	34.8	0.03645431	15.99	0.582904422
23	1.93801	34.8	0.055689943	15.99	0.890482181
24	1.48983	34.8	0.042811207	15.99	0.684551198
25	2.94359	34.8	0.08458592	15.99	1.352528853
26	2.28069	34.8	0.065537069	15.99	1.047937733
27	1.92391	34.8	0.05528477	15.99	0.884003474
28	7.59097	34.8	0.218131322	15.99	3.487919836
29	7.44448	34.8	0.213921839	15.99	3.420610207
TOTAL	87.1315				40.03542198

3.9.12. Ruta 12

La distancia recorrida de la ruta 12 fue de 118.41 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/54.41 y se muestra en la tabla 31.

Tabla 31.

Costo del Recorrido de la Ruta 12

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo (km/gal)	Gal/Distancia Recorrida (gal/km)	Precio Gasolina Premium (S/.)	Costo Por Recorrido (S/.)
1	2.40933	34.8	0.069233621	15.99	1.107045595
2	2.11989	34.8	0.060916379	15.99	0.974052905
3	0.32476	34.8	0.009332184	15.99	0.149221621
4	2.20497	34.8	0.063361207	15.99	1.013145698
5	2.45049	34.8	0.070416379	15.99	1.125957905
6	3.17159	34.8	0.091137644	15.99	1.457290922
7	1.53718	34.8	0.044171839	15.99	0.706307707
8	7.17061	34.8	0.206052011	15.99	3.294771664
9	0.91036	34.8	0.02615977	15.99	0.418294724

10	1.74258	34.8	0.050074138	15.99	0.800685466
11	2.29809	34.8	0.066037069	15.99	1.055932733
12	1.34437	34.8	0.038631322	15.99	0.617714836
13	8.94058	34.8	0.256913218	15.99	4.108042362
14	10.97033	34.8	0.315239368	15.99	5.040677491
15	4.88684	34.8	0.140426437	15.99	2.245418724
16	2.68743	34.8	0.077225	15.99	1.23482775
17	1.8539	34.8	0.053272989	15.99	0.851835086
18	12.13443	34.8	0.348690517	15.99	5.575561371
19	2.54467	34.8	0.073122701	15.99	1.169231991
20	18.51848	34.8	0.53214023	15.99	8.508922276
21	3.65846	34.8	0.105128161	15.99	1.680999293
22	4.28186	34.8	0.123041954	15.99	1.967440845
23	2.292	34.8	0.065862069	15.99	1.053134483
24	0.32667	34.8	0.009387069	15.99	0.150099233
25	3.61357	34.8	0.103838218	15.99	1.660373112
26	0.51947	34.8	0.014927299	15.99	0.238687509
27	5.86746	34.8	0.168605172	15.99	2.695996707
28	3.38076	34.8	0.097148276	15.99	1.553400931
29	1.21611	34.8	0.03494569	15.99	0.558781578
30	3.03723	34.8	0.087276724	15.99	1.395554819
TOTAL	118,41447				54,40940734

3.9.13. Resumen de Distancias Recorridas y Costos de Transporte

La situación actual de las operaciones logísticas de la empresa se detalla en la tabla 32, mostrando las distancias recorridas y el costo total de transporte actual representado por cada ruta mostrada en los puntos anteriores y las rutas pendientes, es decir de las rutas correspondientes desde el día 7 al día 31, llegando a una cantidad de 3058 pedidos que no fueron despachados en la fecha programada y distancias recorridas excesivas.

Tabla 32.

Distancias Recorridas y Costos de Transporte

Día	Demanda de Pedidos	Pedidos No Despachados en la fecha programada	Ruta	Pedidos Despachados	Distancia Recorrida Total (Km)	Costo De Transporte (S/.)
1	61	9	1	30	69.84	S/ 32.09
			2	27	42.98	S/ 19.75
2	81	33	3	29	59.82	S/ 27.49
			4	28	56.23	S/ 25.84
			5	26	69.63	S/ 31.99
3	65	44	6	28	100.02	S/ 45.96
			7	28	118.20	S/ 54.31
4	65	54	8	27	112.79	S/ 51.82
			9	29	120.02	S/ 55.15
5	57	56	10	26	73.30	S/ 33.68
			11	28	87.13	S/ 40.04
6	70	69	12	29	118.41	S/ 54.41
			13	26	77.45	S/ 35.59
7	58	78	14	23	111.53	S/ 51.25
			15	20	88.70	S/ 40.76
8	52	84	16	26	97.16	S/ 44.64
			17	28	95.63	S/ 43.94
9	60	85	18	31	133.75	S/ 61.45
			19	27	123.61	S/ 56.80
10	55	85	20	28	130.78	S/ 60.09
			21	28	104.56	S/ 48.04
11	55	87	22	25	84.18	S/ 38.68
			23	28	96.02	S/ 44.12
12	54	86	24	27	106.69	S/ 49.02
			25	27	135.89	S/ 62.44
13	53	83	26	29	53.31	S/ 24.49

14	61	95	27	25	176.27	S/ 80.99
			28	24	102.35	S/ 47.03
15	56	96	29	26	94.25	S/ 43.30
			30	29	114.64	S/ 52.68
16	53	96	31	26	99.10	S/ 45.54
			32	27	96.49	S/ 44.34
17	57	100	33	27	200.20	S/ 91.99
			34	26	75.14	S/ 34.53
18	57	106	35	26	100.73	S/ 46.28
			36	25	157.04	S/ 72.16
19	64	119	37	26	123.60	S/ 56.79
			38	25	110.55	S/ 50.80
20	45	113	39	25	92.41	S/ 42.46
			40	26	113.77	S/ 52.28
21	58	117	41	28	73.16	S/ 33.61
			42	26	138.03	S/ 63.42
22	52	114	43	29	131.90	S/ 60.60
			44	26	156.13	S/ 71.74
23	60	119	45	27	127.07	S/ 58.38
			46	28	121.83	S/ 55.98
24	54	120	47	26	110.13	S/ 50.60
			48	27	89.42	S/ 41.09
25	59	126	49	26	101.77	S/ 46.76
			50	27	86.69	S/ 39.83
26	56	127	51	29	149.36	S/ 68.63
			52	26	94.54	S/ 43.44
27	55	128	53	28	70.69	S/ 32.48
			54	26	106.64	S/ 49.00
28	62	136	55	26	77.39	S/ 35.56
			56	28	116.13	S/ 53.36
29	74	155	57	28	91.49	S/ 42.04
			58	27	115.73	S/ 53.18
30	63	166	59	28	192.99	S/ 88.67

			60	25	93.95	S/ 43.17
31	62	172	61	27	71.36	S/ 32.79
			62	28	81.59	S/ 37.49
TOTAL	1834	3058	-	1667	6522.17	S/ 2,996.82

3.10. Diagrama de Pareto

Para determinar cuáles son las causas que generan la mayor incidencia en la ineficiencia del proceso de distribución de pedidos, se elaboró en la figura 31 un diagrama de Pareto a partir de las principales causas identificadas durante el diagnóstico situacional que se muestra en la tabla 33. Este análisis permitió evidenciar qué causas concentran el mayor porcentaje de incidencias y, por lo tanto, requieren prioridad de intervención. Este enfoque resulta fundamental para la toma de decisiones, ya que orienta los esfuerzos de mejora hacia los factores que explican la mayor proporción del problema identificado en la distribución de pedidos.

Tabla 33.

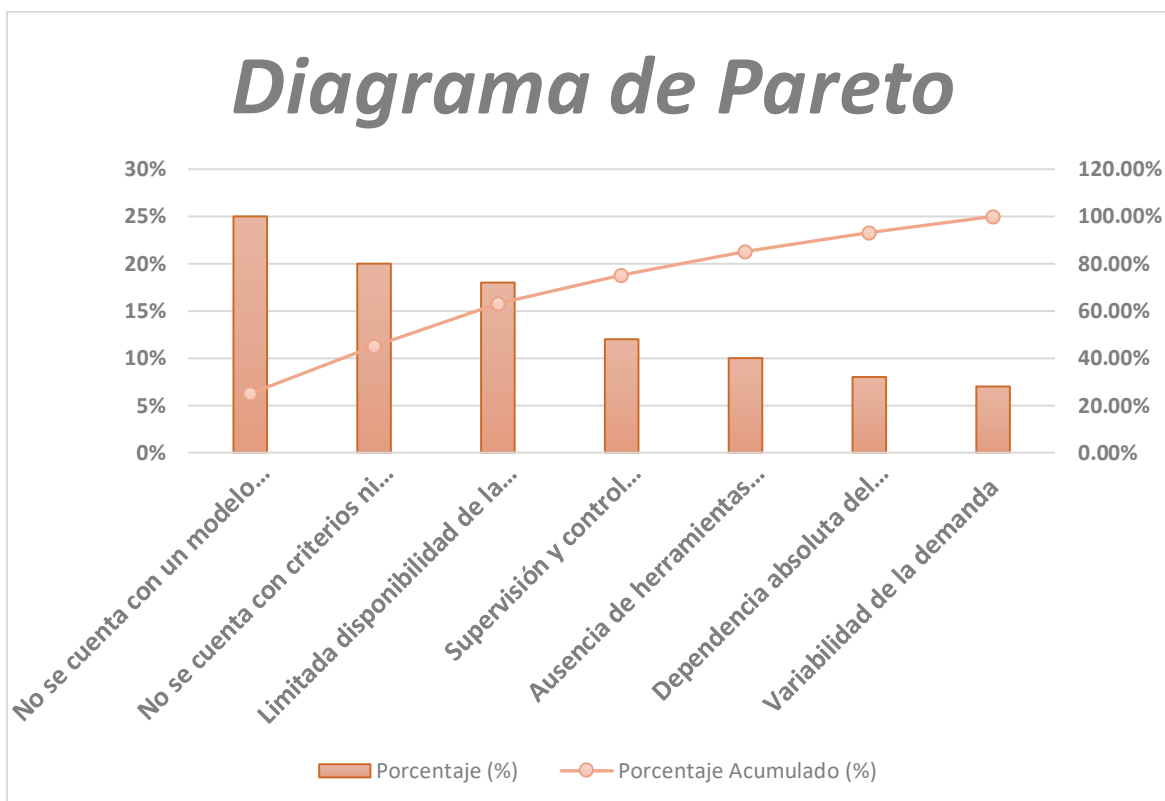
Causas identificadas

Nº	Principales causas identificadas	Porcentaje (%)	Porcentaje Acumulado (%)
1	No se cuenta con un modelo de optimización de rutas	25	25
2	No se cuenta con criterios ni estandarizaciones para despachar los pedidos	20	45
3	Limitada disponibilidad de la flota vehicular propia	18	63
4	Supervisión y control operativo a los pedidos despachados limitado	12	75
5	Ausencia de herramientas tecnológicas de soporte para los conductores	10	85
6	Dependencia absoluta del criterio individual de los operarios	8	93

7	Variabilidad de la demanda	7	100
Total		100%	

Figura 31.

Diagrama de Pareto

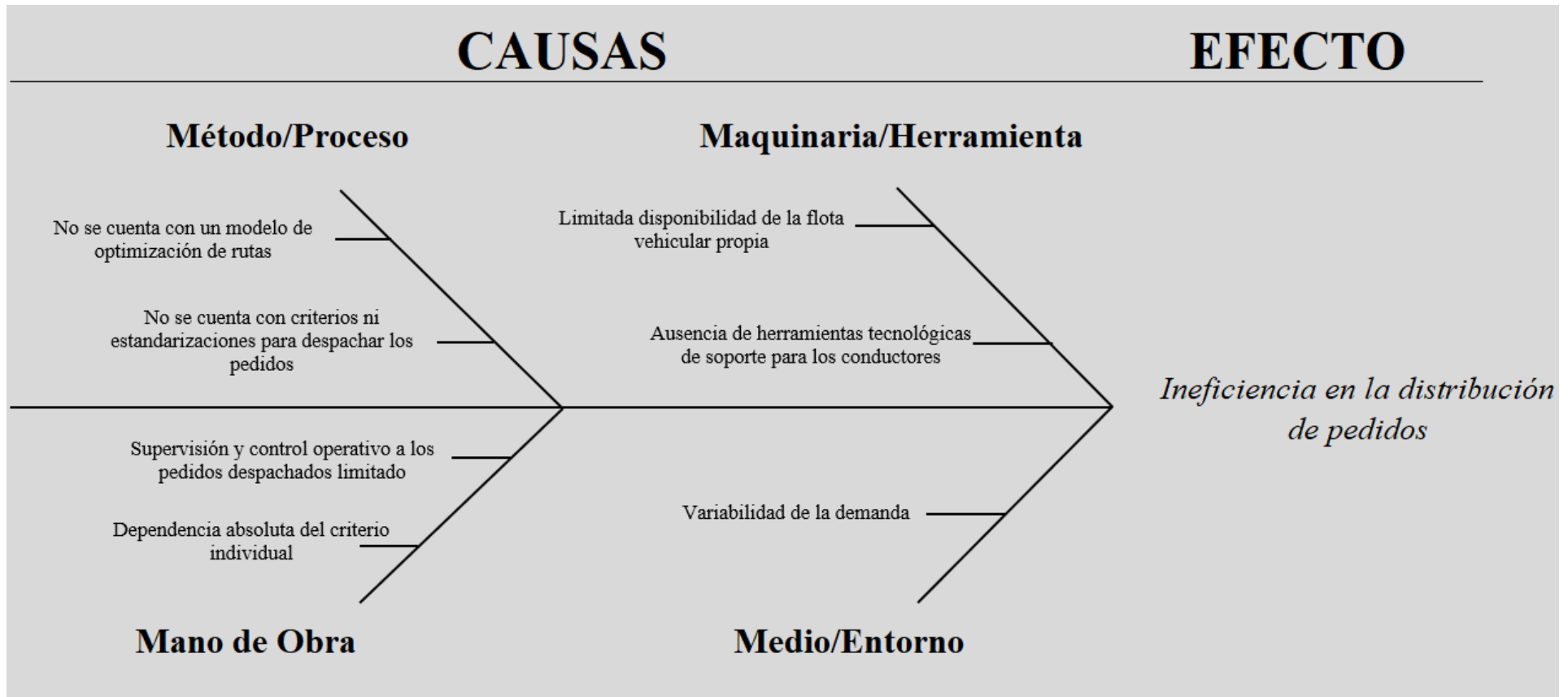


3.11. Diagrama de Ishikawa

Con el objetivo de identificar de manera estructurada las causas que generan la ineficiencia en la distribución de pedidos, se elaboró un Diagrama de Ishikawa en la figura 32, que permite analizar el problema desde una perspectiva integral. Esta herramienta facilita la visualización de los factores que influyen directamente en el desempeño operativo, clasificándolos en cuatro categorías clave: Método/Proceso, Maquinaria/Herramienta, Mano de Obra y Medio/Entorno. El análisis del diagrama permite concluir que la ineficiencia en la distribución de pedidos es el resultado de un conjunto de causas interrelacionadas que afectan al proceso desde distintos frentes. Las deficiencias metodológicas y la ausencia de procedimientos estandarizados constituyen el núcleo del problema, al impedir una planificación adecuada de las rutas y dificultar la toma de decisiones.

Figura 32.

Diagrama de Ishikawa





4. MODELO DE OPTIMIZACIÓN

4.1. Selección del Algoritmo de Optimización

Como Ingeniero Industrial, la elección de implementar directamente un método heurístico sobre métodos exactos, o metaheurísticas, para resolver un VRP, se justifica en la viabilidad económica, la eficiencia operativa en tiempo real, la facilidad de implementación para un entorno de baja madurez tecnológica, y la obtención de mejoras significativas y cuantificables sobre la búsqueda de una solución matemáticamente óptima que resultaría impráctica y costosa para el contexto del problema y los objetivos de la empresa en cuestión.

A continuación, se muestra en la tabla 34, una comparación analizando la variabilidad operacional, económica y tiempos de implementación para la evaluar la mejor solución implementable y sostenible, indicadores directamente relacionados, por ejemplo los métodos exactos garantizan encontrar la solución óptima global para un problema de optimización, si existe una, basándose en principios matemáticos rigurosos y muy simples de aplicar, en donde el tiempo de ejecución crece exponencialmente con el número de variables y restricciones, llegando a instancias inaplicables, por su rigidez en la formulación de manera muy específica. El costo de desarrollo y de hardware es alto si se requiere desarrollar un algoritmo desde cero en CPUs de alto rendimiento.

Tabla 34.

Algoritmos de Optimización para resolver un VRP

Característica	Métodos Exactos	Métodos Heurísticos	Métodos Metaheurísticos
Definición	Garantizan encontrar la solución óptima global.	Buscan soluciones "suficientemente buenas" rápidamente.	Estrategias de alto nivel para guiar la búsqueda de soluciones aproximadas.
Garantía de Optimalidad	Sí (si existe una solución)	Cercana	Cercana
Calidad de la Solución	Óptima (la mejor posible)	Variable (puede ser subóptima)	Alta (cercana a la óptima, evita óptimos locales)

Tiempo de Ejecución	Exponencial o polinomial (depende del problema y tamaño)	Muy rápido (generalmente polinomial, a veces constante)	Moderado a lento (depende del problema, tamaño y parámetros)
Escalabilidad	Baja (inviabiles para problemas grandes NP-hard)	Alta (adecuados para problemas de gran escala)	Alta (adecuados para problemas de gran escala)
Complejidad de Implementación	Alta (conocimiento matemático avanzado, solvers)	Baja (reglas simples, fácil de codificar)	Moderada a alta (ajuste de parámetros crítico)
Requerimientos Computacionales	Muy altos (CPU, memoria)	Bajos	Moderados
Flexibilidad/Adaptabilidad	Baja (requiere formulación precisa)	Alta (se adaptan fácilmente a cambios)	Alta (esquemas generales aplicables a varios problemas)
Determinismo	Sí	Sí	Generalmente no (muchos son estocásticos), a menos que se fijen semillas.
Ventajas Principales	- Solución óptima garantizada- Precisión matemática	- Rapidez- Simplicidad- Bajos costos computacionales	- Buen balance calidad/velocidad- Robustez- Exploración efectiva del espacio
Desventajas Principales	- Inviabiles para problemas grandes- Altos requerimientos de hardware	- No garantizan optimalidad- Calidad de solución variable- Sin límites de error	- No garantizan optimalidad- Ajuste complejo de parámetros- Naturaleza estocástica
Costo de Desarrollo	Alto, Moderado	Bajo	Alto
Costo de Hardware	Alto	Bajo	Alto
Beneficios Económicos	Máximos si se obtiene la solución a tiempo, ahorros significativos.	Rápidos y ágiles, valiosos para decisiones en tiempo real.	Equilibrio costo-beneficio, alta calidad sin excesivos tiempos de computación.
Mantenimiento	Bajo	Bajo a moderado	Moderado
Aplicaciones Típicas	- Demanda a largo plazo (pequeña escala)- Ingeniería de precisión- Problemas con	- Decisiones en tiempo real- Heurísticas de despacho- Priorización simple	- Ruteo de vehículos- Scheduling complejo- Optimización de redes- Diseño de sistemas

pocas variables y
alta criticidad.

Nota. Elaborado a partir de información académica general sobre técnicas de optimización combinatoria y métodos de resolución de problemas NP-hard (2025).

Los métodos metaheurísticos son estrategias de alto nivel que guían un proceso de búsqueda para encontrar soluciones aproximadas a problemas de optimización, especialmente cuando los métodos exactos son computacionalmente inviables. A diferencia de las heurísticas simples, las metaheurísticas suelen incorporar mecanismos para escapar de óptimos locales y explorar el espacio de soluciones de manera más exhaustiva, muchos son estocásticos, lo que significa que pueden producir soluciones ligeramente diferentes en ejecuciones repetidas con los mismos datos de entrada, aunque sus costos de mantenimiento son moderados pueden requerir recalibración de parámetros si las características del problema cambian significativamente. Por último los métodos heurísticos buscan soluciones lo suficientemente buenas en un tiempo razonable, sin garantía de optimalidad, basándose en la experiencia, intuición y reglas empíricas para explorar el espacio de soluciones, siendo relativamente fáciles de entender e implementar, adaptándose a diferentes tipos de restricciones, contando con costos de desarrollo, de hardware y de mantenimiento considerablemente bajos, generando beneficios económicos que se derivan de la agilidad y la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos.

Un Ingeniero Industrial justifica la elección de una heurística no solo por su capacidad de generar soluciones de buena calidad, sino porque representan la solución más práctica, eficiente y rentable para la empresa, alineada con los principios de mejora continua y optimización de recursos como el tiempo computacional en un entorno operativo real y con las limitaciones existentes. A su vez, los métodos heurísticos se subdividen en constructivos inherentemente más simples en su lógica, generando una solución completa en un solo paso y facilitando la comprensión, codificación y depuración, integrando una lógica de agrupación y secuenciación desde el inicio del problema, permitiendo una consideración global de las interdependencias desde el principio, considerando la velocidad de la solución como una ventaja significativa para la aplicación práctica. Por el contrario, las heurísticas de dos fases dividen el problema VRP en dos subproblemas secuenciales, primero, el agrupamiento de clientes en rutas; y segundo, la secuenciación óptima de las paradas dentro de cada ruta. Esta división introduce una mayor complejidad en la implementación, ya que

requiere el desarrollo y la integración de dos algoritmos separados, así como la gestión de la transferencia de datos entre fases de dos fases. Para una tesis con recursos y tiempo limitados, y para una empresa con baja madurez tecnológica, la simplicidad de una heurística constructiva reduce la complejidad del proyecto y el tiempo de puesta en marcha.

Dentro de los principales métodos heurísticos constructivos para resolver el VRP, se consideran al algoritmo de ahorros Clarke and Wright diseñado explícitamente para maximizar la eliminación de viajes de retorno innecesarios al depósito y la consolidación de entregas que están cerca. Este enfoque directo en el ahorro de distancia se traduce directamente en reducción de combustible y desgaste vehicular, elementos críticos para el costo de transporte en la última milla, por otro lado, el algoritmo de inserción si bien eficientes, no tienen intrínsecamente esa meta de "ahorro de distancia" global tan marcada en su lógica de construcción como el algoritmo de ahorros. Tienden a optimizar la inserción local sin necesariamente buscar la fusión de rutas que maximice los ahorros a nivel de toda la operación. En base a la comparación realizada en la tabla 34, y la recopilación de los principales algoritmos que se utilizan para resolver un VRP, se muestra en la tabla 35 la herramienta de selección de factores ponderados que se utilizará para determinar el algoritmo que se ejecutará como propuesta en la presente investigación, evaluando los principales métodos exactos, métodos heurísticos y metaheurísticos que se mencionaron a lo largo del capítulo.

Tabla 35.

Selección del algoritmo con el método de factores ponderados

Característica	Peso (W)	Ahorros Clarke and Wright	Heurísticas de Inserción	Método por Fragmentación de Rutas	Generación de Columnas	GRASP / Búsqueda Tabú
Computabilidad (Velocidad)	0.25	10	8	5	5	5
Calidad de la Solución	0.25	9	6	9	10	10
Costo de Desarrollo	0.2	10	10	5	4	4
Mantenimiento	0.1	9	9	6	5	5
Determinismo	0.1	10	10	10	10	4
Flexibilidad	0.1	8	8	6	6	7
Puntuación Final	1	9.25	8.2	6.65	6.5	6.55

A diferencia de lo que se viene realizando en la empresa, como se mencionó, se tomó la decisión de aplicar diferentes estrategias de innovación como el algoritmo de ahorros Clarke and Wright, y estrategias de inversión como la subcontratación de vehículos cuando las rutas propuestas por este algoritmo excedan la flota vehicular actual de la empresa. Esta combinación de estrategias se elige por su capacidad para generar una optimización sustancial en la logística, minimizando los kilómetros recorridos y, consecuentemente, los costos operativos. La subcontratación, en particular, proporciona flexibilidad estratégica para adaptarse a fluctuaciones inesperadas en la demanda, picos estacionales o nuevas rutas que sugiera el algoritmo implementado, mejorando no solamente los objetivos principales del presente estudio, que se centran en la reducción de costos, sino también la gestión operativa general de la empresa al asegurar una respuesta ágil a las necesidades del mercado.

De esta manera, se facilita una toma de decisión informada y rápida para realizar una subcontratación del servicio exclusivamente para las rutas excedentes, optimizando así los recursos internos y garantizando la entrega efectiva de todos los pedidos. Respecto a las restricciones del algoritmo, se considera como restricción fundamental que la carga total de cada ruta no pueda exceder la capacidad del vehículo asignado, lo que asegura la viabilidad física de cada trayecto propuesto y es el criterio principal para determinar si una ruta puede ser cubierta por la flota existente o si requiere un recurso externo.

Para la implementación del algoritmo de ahorros, la base de datos histórica de la empresa fue utilizada como fuente principal de información. De esta se extrajeron datos cruciales como las coordenadas geográficas de cada punto de entrega, las capacidades de los vehículos, los volúmenes de carga de los pedidos y las distancias de viaje estimados entre cada punto. Estos datos son fundamentales para que el algoritmo pueda calcular los ahorros de distancia y armar las rutas de manera óptima, garantizando que las decisiones de enrutamiento se basen en un historial de datos confiable y representativo de las operaciones logísticas. La aplicación del algoritmo para un resolver un VRP se ha estructurado en un script de Python, donde el proceso consta de cinco pasos fundamentales y se describen a continuación:

4.2. Aplicación del algoritmo de ahorros Clarke and Wright con el lenguaje de programación de Python.

Para la propuesta del presente trabajo de investigación, se ha optado por utilizar el entorno de desarrollo de Google Colab, por su eficiencia y accesibilidad. Al ser un servicio en la nube, Google Colab permite ejecutar el código del algoritmo sin necesidad de instalar un entorno de Python localmente, siendo especialmente útil para la fase de desarrollo, en donde las iteraciones y pruebas son constantes, además el entorno se integra con servicios de Google, lo que permite una gestión fluida de los archivos de entrada y de los archivos de salida generados.

Así mismo para el desarrollo del algoritmo es necesario que se instalen tres bibliotecas de Python que son esenciales para el proyecto, los cuales se muestran en la figura 33, y se detallan a continuación:

- Pandas: Permite manejar datos e importar la información de los clientes (coordenadas y demandas) desde un archivo de Excel y organizar esta información de manera eficiente en una estructura de datos llamada “Data_Frame”
- Requests: Esta herramienta permite comunicarse por internet., utilizada para enviar la información de las ubicaciones a una API de ruteo (OSRM) y, a cambio, recibir la matriz de distancias reales que hay en las calles.
- Openpyxl: Permite que Pandas pueda leer y escribir datos en formato Excel, lo cual es clave para el proceso de importación y exportación de resultados en el entorno de Colab.

Figura 33.

Script de la preparación del entorno y bibliotecas en Google Colab

```
# =====  
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas  
# =====  
# Instalar bibliotecas necesarias  
!pip install pandas requests openpyxl  
  
import pandas as pd  
import requests
```

4.2.1. Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas

Este paso se enfoca en la recopilación y organización de la información base necesaria para la aplicación del algoritmo, definiendo conjuntos de datos como las longitudes y latitudes, correspondientes a las coordenadas de cada cliente por atender, resaltando que el primer valor de cada lista corresponde a las coordenadas del depósito o centro de distribución y se muestra en la figura 34. Por otro lado, el conjunto de datos llamado demanda, contiene la demanda específica de cada cliente que se utilizara como una restricción para la capacidad de los vehículos.

Figura 34.

Script de la preparación de los datos de entrada, coordenadas y demandas

```
# =====  
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas  
# =====  
  
# Coordenadas proporcionadas  
longitudes = [  
    -71.5623949,  
    ]  
  
latitudes = [  
    -16.4057668,  
    ]  
  
# Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito, con demanda 0)  
demandas = [  
    0.0,  
    ]  
  
# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito  
data = {  
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1, len(latitudes))],  
    'lat': latitudes,  
    'lon': longitudes,  
    'demanda': demandas  
}  
  
clientes = pd.DataFrame(data)
```

Esta información se consolida en una DataFrame, representando una estructura de datos ideal para manejar la información de manera ordenada y eficiente, asociando cada cliente identificado con un id único, a su respectiva latitud, longitud y demanda, facilitando el acceso y la manipulación de los datos en los pasos posteriores del desarrollo del algoritmo.

4.2.2. Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales

El siguiente paso de la elaboración del algoritmo se encarga de reemplazar las distancias en línea recta por las distancias reales que la flota vehicular recorrería en la red de calles, asegurando que la optimización de rutas sea realista y aplicable en la práctica. Para ello se necesita crear una función que se muestra en la Figura 35, llamada “get_distance_matrix”, que toma todas las coordenadas de los clientes y el centro de acopio, enviadas a la API de ruteo de código abierto OSRM, en una cadena de texto específica, a partir de un conjunto de puntos, y calculando la matriz de distancias de calles reales.

Figura 35.

Script de la matriz de distancias reales en kilómetros

```
# =====  
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)  
# =====  
  
def get_distance_matrix(locations):  
    """  
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles usando OSRM.  
    La API ahora solicita la distancia en metros.  
    """  
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])  
    url = f"http://router.project-osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"  
  
    try:  
        response = requests.get(url)  
        response.raise_for_status()  
        result = response.json()  
        distance_matrix_meters = result['distances']  
        return distance_matrix_meters  
    except requests.exceptions.RequestException as e:  
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")  
        return None  
  
all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()  
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)  
  
if distance_matrix:  
    dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'], columns=clientes['id'])  
    dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros  
    print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n", dist_df.head())  
else:  
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha terminado.")  
    exit()
```

El código está diseñado para recibir esta respuesta, y verificar que no haya errores de conexión para luego convertir los datos a un formato de DataFrame de pandas. Esto permite organizar las distancias de manera clara, con los identificadores de los clientes como filas y columnas. Finalmente, el código verifica que la matriz de distancias se haya obtenido con éxito. Si la conexión con la API falla, el programa detiene su ejecución y muestra un mensaje de error, evitando así que los pasos posteriores del algoritmo intenten procesar datos faltantes.

4.2.3. Paso 3: Calcular y Ordenar la Matriz de Ahorros

El objetivo del siguiente paso del desarrollo del algoritmo es calcular que pares de clientes al ser atendidos en una misma ruta, generan el mayor ahorro de distancia total para la flota, en donde se itera cada par de nodos aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro} = \text{Distancia}(\text{Centro de Acopio}, i) + \text{Distancia}(\text{Centro de Acopio}, j) - \text{Distancia}(i, j)$$

Esta fórmula compara la distancia que se recorrería en dos rutas separadas (una para i y otra para j) con la distancia de una ruta combinada. El ahorro resultante indica la reducción de la distancia total del viaje si los clientes i y j son visitados consecutivamente. El resultado de cada iteración se almacena en una lista junto con los pares de clientes involucrados, y se ordena de forma descendente, se muestra en la figura 36.

Figura 36.

Script del cálculo de la Matriz de Ahorros

```
# =====  
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright  
# =====  
  
ahorros = []  
n = len(clientes)  
for i in range(1, n):  
    for j in range(i + 1, n):  
        id_i = clientes.iloc[i]['id']  
        id_j = clientes.iloc[j]['id']  
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] + dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]  
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro': ahorro})  
  
ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)  
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)  
  
# Exportar el DataFrame de ahorros a un archivo de Excel  
nombre_archivo_ahorros = 'ahorros_ordenados.xlsx'  
ahorros_df.to_excel(nombre_archivo_ahorros, index=False)  
print(f"\n¡La matriz de ahorros se ha exportado con éxito a '{nombre_archivo_ahorros}'!")
```

4.2.4. Paso 4: Aplicar las iteraciones para generar las rutas con las restricciones de capacidad del vehículo

El siguiente paso toma los ahorros calculados previamente y los utiliza para construir las rutas finales de los vehículos, en donde se aplican las restricciones del problema para generar una solución. La construcción iterativa de rutas inicia con cada cliente en una ruta

individual, de forma que cada vehículo va desde el centro de acopio, atiende a un único cliente y regresa al centro de acopio. Luego, el código recorre la matriz de ahorros ordenada de forma descendente y en cada iteración intenta fusionar dos rutas. El código comienza estableciendo las condiciones iniciales definiendo la carga máxima que puede transportar cada vehículo, el número de vehículos propios que tiene la empresa, y el número de pedidos mínimos para subcontratar en caso se generen rutas excedentes al número de vehículos propios de la empresa.

Para ello se crean tres diccionarios que actúan como memoria del algoritmo y se muestran en la figura 37, en donde se almacena la secuencia de clientes de cada ruta, se asocia cada cliente con el identificador de su ruta actual, y se registra la demanda total de cada ruta en tiempo real. Se crea un registro llamado “log_iteraciones” que almacena los detalles de cada intento de fusión de rutas.

Figura 37.

Script del cálculo de la Matriz de Ahorros

```
# =====  
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones  
# =====  
  
# Capacidad del vehículo proporcionada  
capacidad_vehiculo = 13.72  
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este valor)  
num_unidades_propias = 2  
# Mínimo de pedidos para subcontratar  
min_pedidos_subcontratar = 12  
  
# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta  
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos  
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}  
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}  
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}': clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in clientes['id'][1:]}  
  
# Lista para almacenar los detalles de cada iteración  
log_iteraciones = []  
contador_iteracion = 0
```

El código recorre la lista de ahorros en un bucle que recorre cada fila del DataFrame de la matriz de ahorros, que ya está ordenada de mayor a menor. Se extraen los identificadores de los dos clientes del par actual que se está evaluando y se extrae el valor del ahorro asociado a ese par de clientes, el script se muestra en la figura 38.

Figura 38.

Script del Bucle de Fusión de Rutas

```
# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
# Bucle de Fusión
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']
```

Para que una fusión sea válida y se considere en la solución, se deben cumplir tres condiciones fundamentalmente que se muestran en la figura 39 y se describen a continuación:

- **Diferencia de Rutas:** Se verifica que los dos clientes candidatos para la fusión no pertenezcan ya a la misma ruta. Si ya están en la misma ruta, la fusión no genera ahorros adicionales y se descarta.
- **Extremos de las Rutas:** Los clientes a fusionar deben ser los puntos finales de sus respectivas rutas. Esto garantiza la coherencia y continuidad de la nueva ruta, evitando la inserción de clientes en una secuencia ya establecida.
- **Restricción de Capacidad:** Se suma la demanda total de las dos rutas. Si la demanda combinada no excede la capacidad máxima del vehículo, la fusión es aceptada. De lo contrario, se considera inviable.

Figura 39.

Script de la verificación de condiciones

```
#Verificacion de condiciones
ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
verificacion = ""

# Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
if ruta_i_id != ruta_j_id:

    # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
    es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
    es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])
    if es_extremo_i and es_extremo_j:

        # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser excedida
        demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) + demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
        if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
```

Si las tres condiciones se cumplen, el algoritmo procede a la fusión de las rutas. El código une las listas de clientes de ambas rutas de forma ordenada, asegurando que la secuencia de visitas sea lógica. A continuación, se actualizan las estructuras de datos que gestionan el estado de las rutas. La demanda de la nueva ruta se recalcula y la ruta original del segundo cliente es eliminada, reduciendo así el número total de rutas.

El bloque del código que se muestra en la figura 40, que se ejecuta tras pasar las condiciones mencionadas, se encarga de unir dos rutas para formar una nueva, asegurando que la lógica de la secuencia de visitas. La fusión se realiza en cuatro escenarios posibles, dependiendo de si los clientes a unir están al inicio o al final de sus respectivas rutas.

Figura 40.

Script de la fusión de rutas en cuatro escenarios posibles

```
# Fusión de las rutas
verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]

# Definir cómo fusionar las rutas para mantener la continuidad
if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j == ruta_j_list[0]:
    rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j == ruta_j_list[-1]:
    rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j == ruta_j_list[-1]:
    rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j == ruta_j_list[0]:
    rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + rutas_dict[ruta_i_id]
```

El script de la figura 41 actualiza los diccionarios del algoritmo para reflejar el cambio, asegurando que el estado del sistema sea consistente para las próximas iteraciones, centrándose en la gestión y consolidación de las estructuras de datos, una vez validado y ejecutado la fusión de rutas, ejecutando de manera secuencial el siguiente procedimiento:

- Actualización de la Demanda: La demanda total de la ruta fusionada se recalcula y se asigna al identificador de la ruta principal. Esto consolida la información de carga de dos rutas en una sola entrada.
- Demanda de Clientes: Se itera sobre cada cliente de la ruta absorbida y se actualiza su registro individual para que apunte al nuevo identificador de ruta principal. Esto asegura que todos los clientes de la ruta fusionada se asocien correctamente a la nueva entidad.
- Limpieza de Datos: Finalmente, se eliminan las entradas correspondientes a la ruta absorbida de los diccionarios de rutas y demandas. Esta acción es crítica para evitar la redundancia y garantizar que la ruta fusionada no sea considerada como una entidad independiente en futuras iteraciones.

Figura 41.

Script de la actualización de los diccionarios del algoritmo

```
demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
    clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)
```

En caso las condiciones del problema no se cumplan, en la figura 42, se aplica el bloque “else”, indicando el incumplimiento de la verificación de restricciones como la de capacidad, de extremo de nodos en rutas y de diferencia de los nodos en rutas.

Figura 42.

Script del incumplimiento de la verificación de condiciones

```
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los extremos de sus rutas"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma ruta"
```

Para registrar y visualizar el proceso de decisión del algoritmo de ruteo en cuestión, se guarda como un texto el estado final de las rutas, se añade una lista “log_iteraciones” como un registro completo de las iteraciones, clientes analizados, ahorro potencial, el estado de las rutas antes y después, el resultado de la verificación, y se muestra en la figura 43.

Figura 43.

Script de las iteraciones

```
log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})

df_iteraciones = pd.DataFrame(log_iteraciones)
print("\nLog de Iteraciones del Algoritmo:\n")
print(df_iteraciones)
```

La figura 44 muestra que el script imprime en la consola los resultados finales del algoritmo de forma organizada en tres secciones principales:

- Rutas Propias: Muestra los detalles de las rutas asignadas a los vehículos de la empresa, incluyendo su identificador, los clientes que visitan, la distancia total y el número de pedidos. Si no hay rutas propias, se indica con un mensaje.
- Rutas Subcontratadas: Presenta los detalles de las rutas que se clasificaron para ser externalizadas, siguiendo el mismo formato de presentación. Un mensaje se muestra si esta categoría está vacía.
- Pedidos No Despachados: Enumera las rutas que no cumplen los criterios de subcontratación y que, por lo tanto, se reprogramarán. Si no existen estas rutas, también se indica con un mensaje.

Figura 44.

Script de la impresión de los resultados clasificados en consola

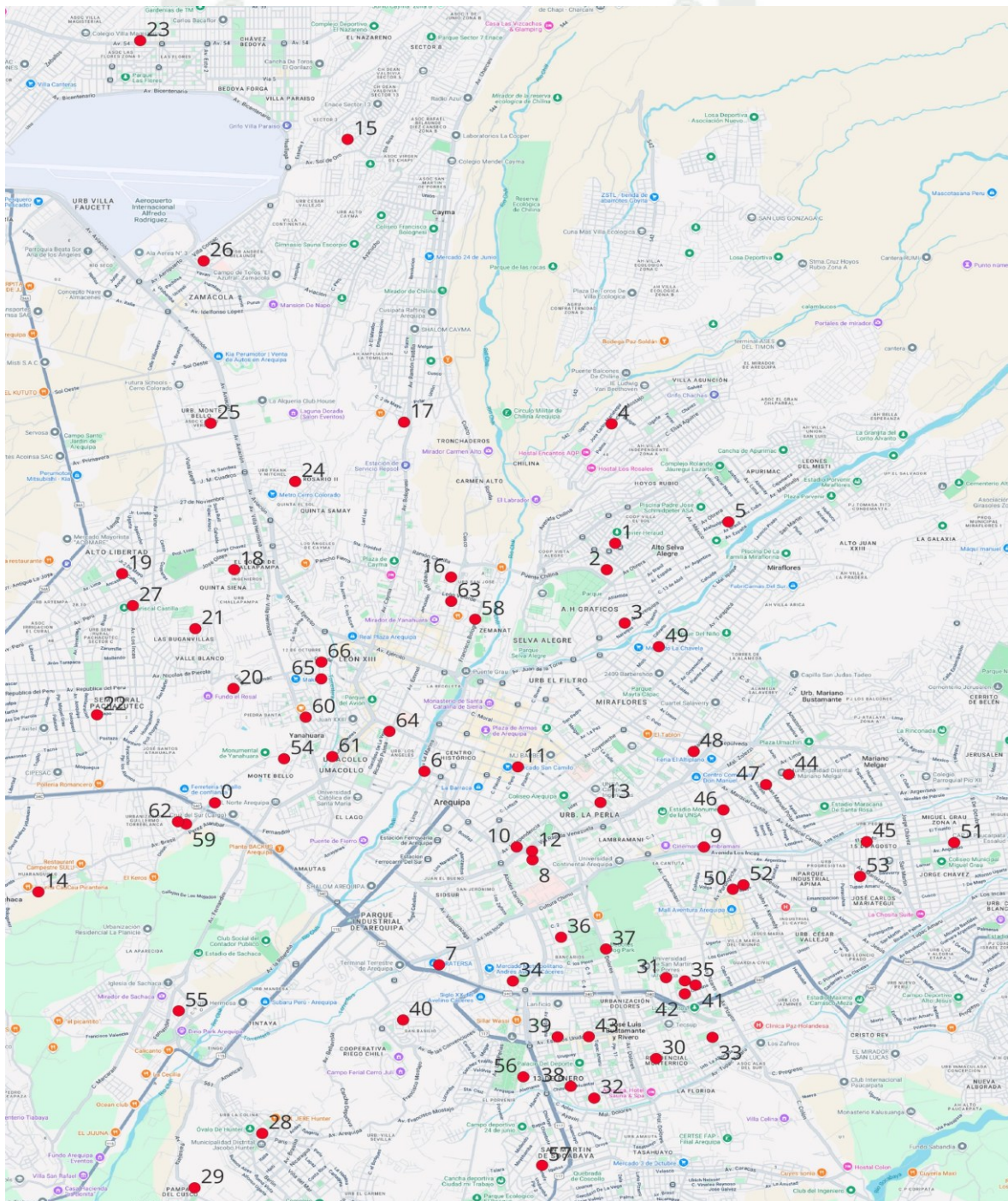
```
# -----  
# Imprimir los resultados clasificados en consola  
# -----  
print("\n=====")  
print("Clasificación de Rutas Finales:")  
print("=====")  
  
print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias ({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")  
if not unidades_propias:  
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")  
for ruta in unidades_propias:  
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")  
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")  
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")  
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")  
    print("-" * 30)  
  
print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")  
if not subcontratadas:  
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")  
for ruta in subcontratadas:  
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")  
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")  
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")  
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")  
    print("-" * 30)  
  
print("\n--- Pedidos No Asignados (Pasan al siguiente día, < 12 pedidos) ---")  
if not no_asignadas:  
    print(" No hay rutas con menos de 12 pedidos.")  
else:  
    for ruta in no_asignadas:  
        print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")  
        print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")  
        print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")  
        print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")  
        print("-" * 30)
```

4.3. Demanda de Pedidos Propuesta Día 1

La demanda de pedidos para el día 1 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 66, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 45 y se generaron en total 2 rutas.

Figura 45.

Demanda de Pedidos Propuesta para el Día 1



4.3.1. Ruta 1 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 46 y en la tabla 36 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 32 pedidos a la unidad vehicular 1 y recorriendo un total de 64.97 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 46.

Recorrido de la Ruta 1 Propuesta

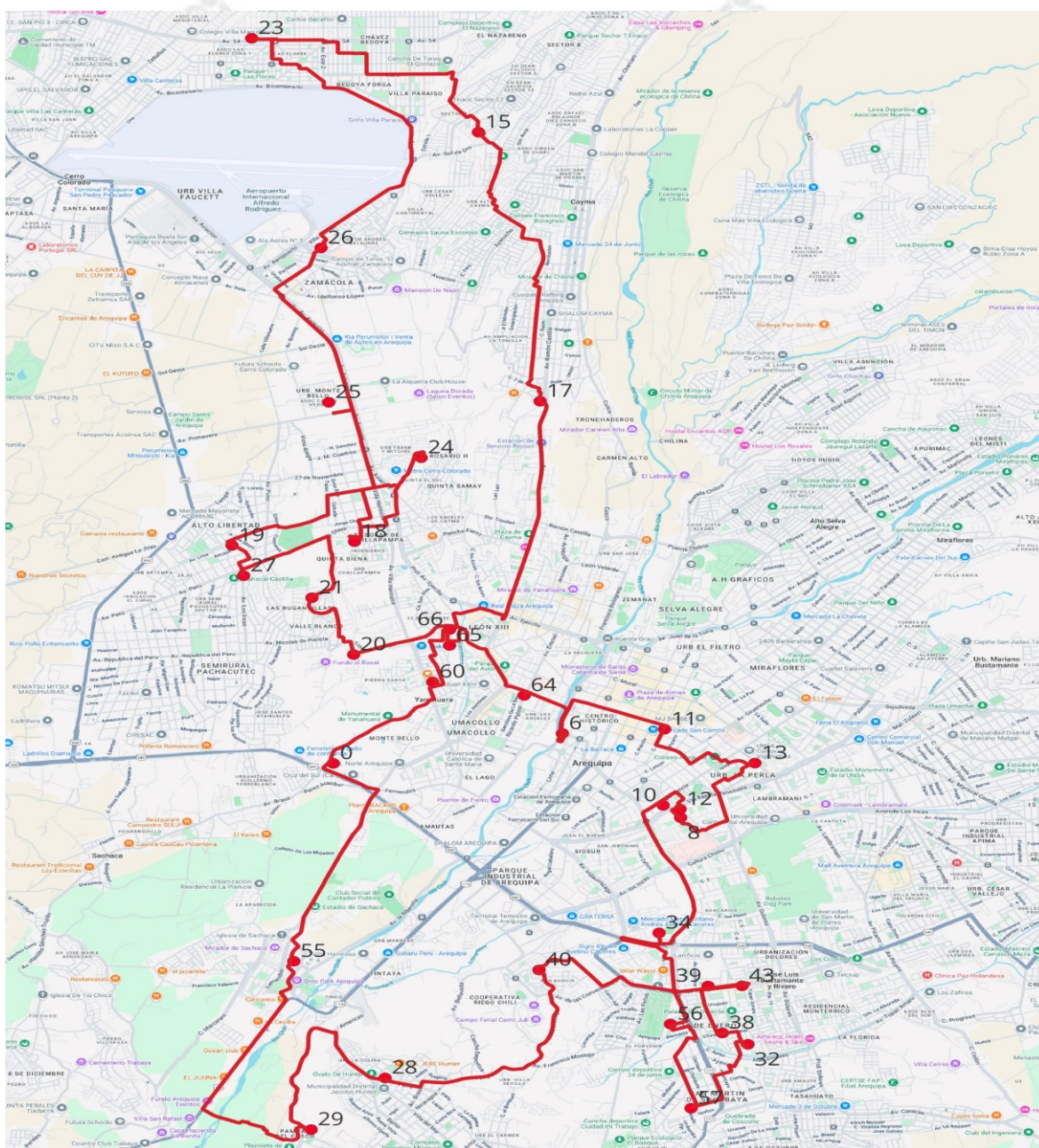


Tabla 36.

Propuesta para la ruta 1

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	60	1.62512
2	60	66	1.25267
3	66	65	0.17405
4	65	17	3.74954
5	17	15	4.72812
6	15	23	3.27788
7	23	26	4.13885
8	26	25	2.57081
9	25	18	2.59932
10	18	24	1.48864
11	24	19	3.07682
12	19	27	0.58424
13	27	21	1.96861
14	21	20	1.15168
15	20	64	2.21488
16	64	6	1.12477
17	6	11	1.37239
18	11	13	1.52351
19	13	8	1.71416
20	8	12	0.23164
21	12	10	0.50816
22	10	34	2.1863
23	34	56	2.5307
24	56	57	1.48267
25	57	32	1.46425
26	32	38	0.39102
27	38	39	1.15379
28	39	43	0.35899
29	43	40	2.3789
30	40	28	2.88447
31	28	29	2.44866
32	29	55	3.46742
33	55	0	3.15032
TOTAL			64.97335

4.3.2. Ruta 2 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 47 y en la tabla 37 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 27 pedidos a la unidad vehicular 2 y recorriendo un total de 39.98 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 47.

Recorrido de la Ruta 2 Propuesta



Tabla 37.

Propuesta para la ruta 2

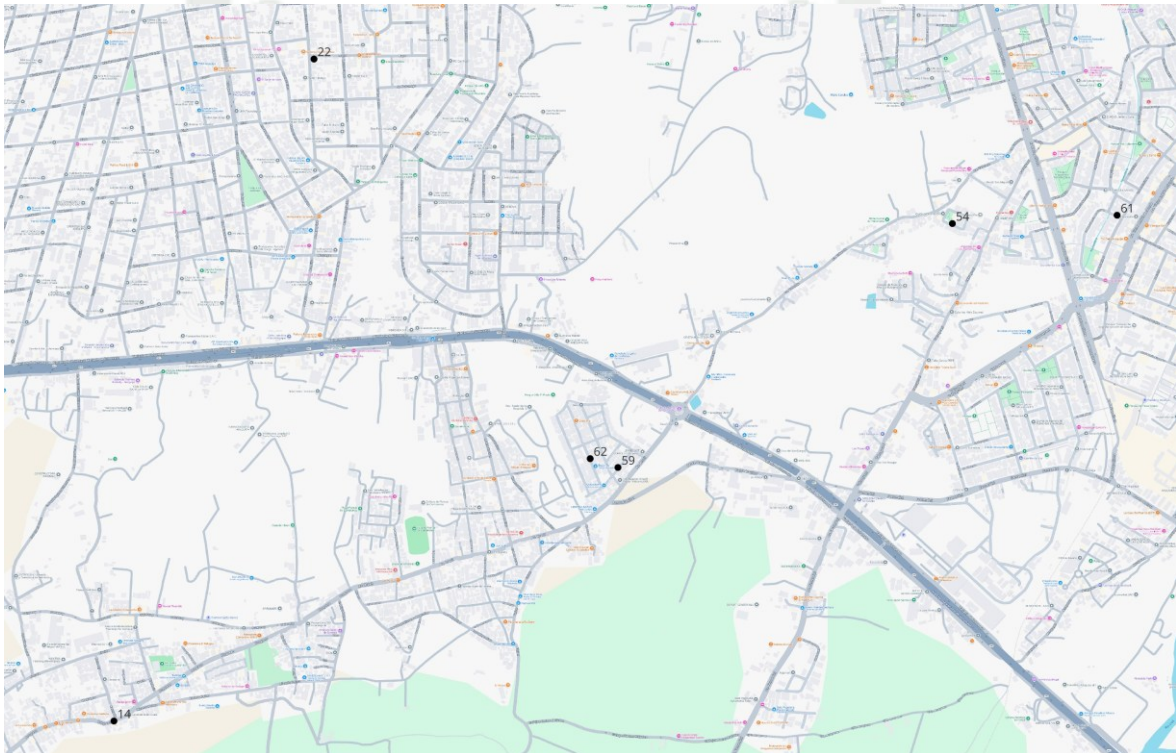
Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	58	4.2264
2	58	63	0.64024
3	63	16	0.26697
4	16	4	3.3892
5	4	5	2.12469
6	5	1	1.6432
7	1	2	0.45712
8	2	49	1.56541
9	49	3	1.12293
10	3	48	2.28287
11	48	9	1.701
12	9	46	0.86537
13	46	47	0.78916
14	47	44	0.26317
15	44	45	1.77126
16	45	51	0.97814
17	51	53	1.53302
18	53	52	1.39828
19	52	50	0.17391
20	50	33	2.29886
21	33	30	1.17143
22	30	42	1.20772
23	42	41	0.13743
24	41	35	0.51079
25	35	31	0.45751
26	31	37	1.31661
27	37	36	0.671
28	36	7	1.76871
29	7	0	3.24566
TOTAL			39.97806

4.3.3. Pedidos No Despachados

En el día 1 no se despacharon 6 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 48.

Figura 48.

Pedidos No Despachados Día 1

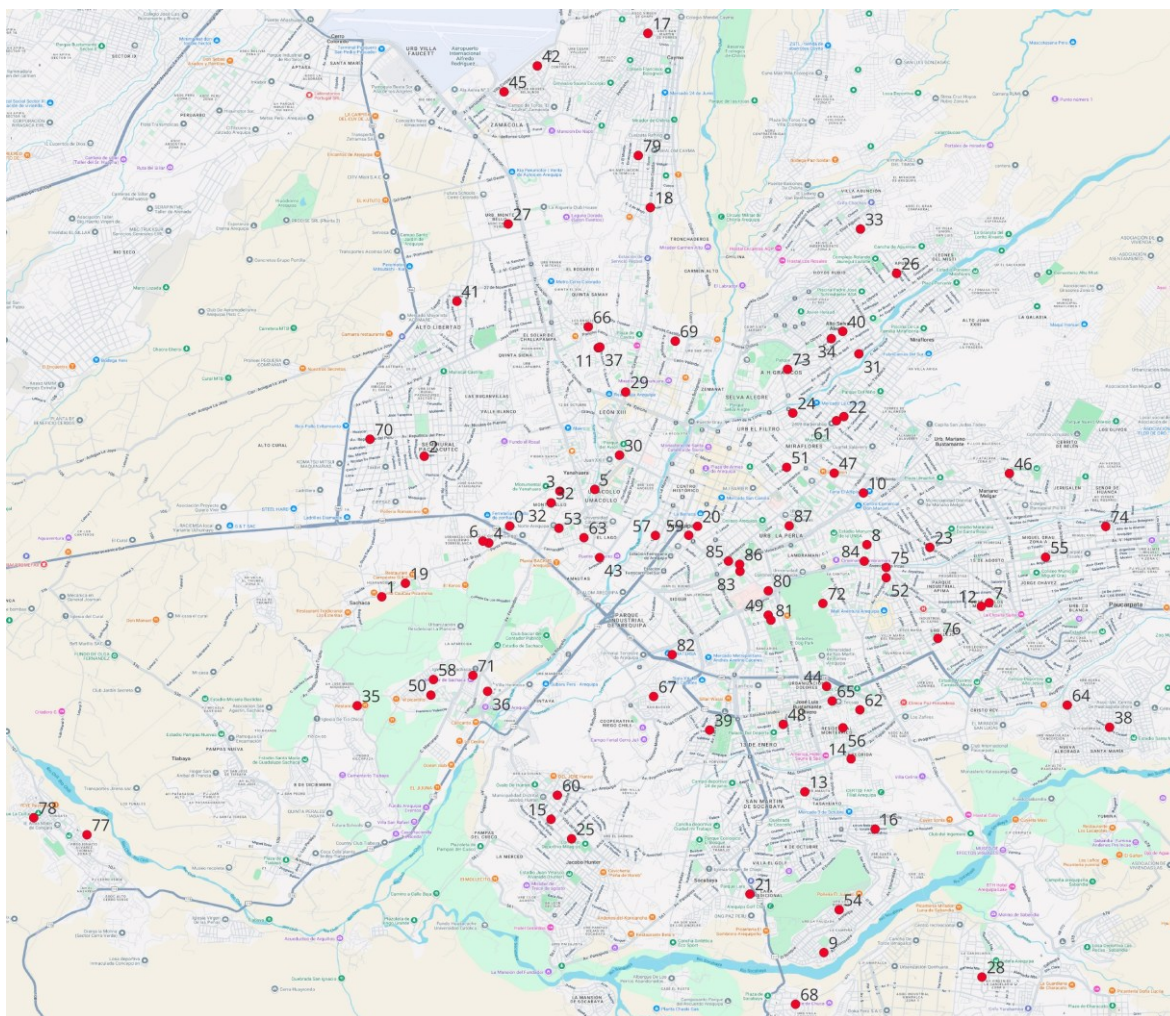


4.4. Demanda de Pedidos Propuesta Día 2

La demanda de pedidos para el día 2 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 81, sin considerar los 6 pedidos que no se despacharon el día anterior, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 49 y se generaron en total 3 rutas, como la flota propia solo puede cubrir 2 rutas, una de ellas se deberá subcontratar.

Figura 49.

Demanda de Pedidos Propuesta para el Día 2



4.4.1. Ruta 3 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 50 y en la tabla 38 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 27 pedidos a la unidad vehicular 1 y recorriendo un total de 58.23 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 50.

Recorrido de la Ruta 3 Propuesta

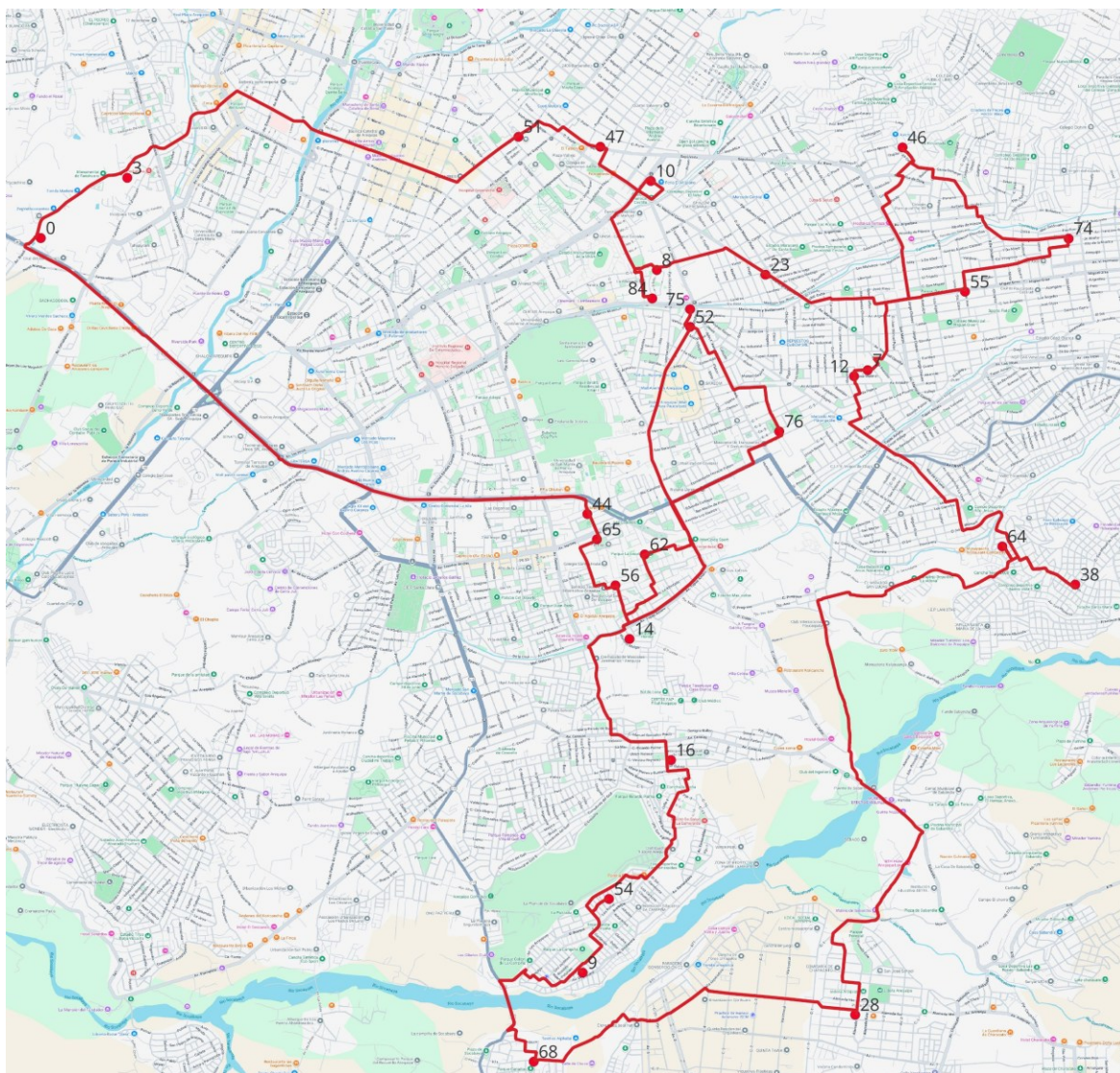


Tabla 38.

Propuesta para la ruta 3

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	44	6.6985
2	44	65	1.43096
3	65	56	0.70133
4	56	14	0.50175
5	14	62	0.89581
6	62	76	2.04857
7	76	75	1.5596

8	75	52	0.23394
9	52	16	4.84685
10	16	54	2.40056
11	54	9	0.98334
12	9	68	1.93192
13	68	28	3.1726
14	28	64	7.15976
15	64	38	0.97648
16	38	12	3.61669
17	12	7	0.15549
18	7	46	2.59749
19	46	74	2.16133
20	74	55	1.4299
21	55	23	2.2091
22	23	8	1.32283
23	8	84	0.55852
24	84	10	1.29814
25	10	47	1.16399
26	47	51	0.86004
27	51	3	4.40138
28	3	0	0.91157
TOTAL			58.22844

4.4.2. Ruta 4 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 51 y en la tabla 39 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 26 pedidos a la unidad vehicular 2 y recorriendo un total de 52.92 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 51.

Recorrido de la Ruta 4 Propuesta

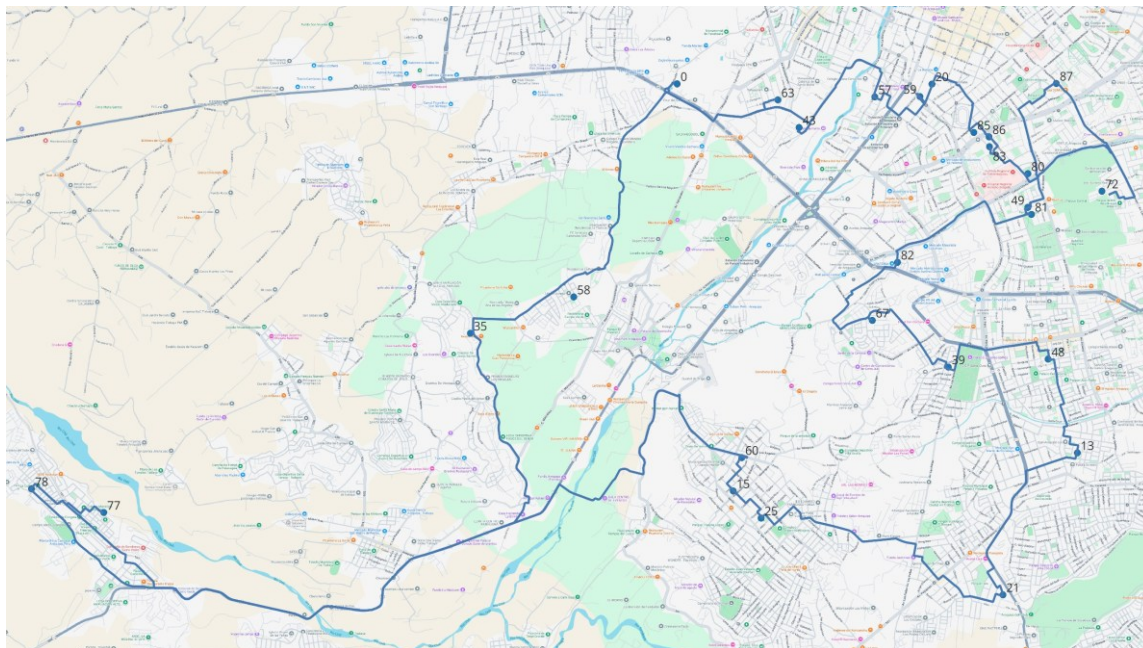


Tabla 39.

Propuesta para la ruta 4

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	63	1.53293
2	63	43	0.91807
3	43	57	1.63128
4	57	59	0.99451
5	59	20	0.39417
6	20	85	0.92895
7	85	86	0.33338
8	86	83	0.33618
9	83	80	0.64385
10	80	72	1.97717
11	72	87	1.81253
12	87	49	2.02437
13	49	81	0.14164
14	81	82	1.82593
15	82	67	1.54124

16	67	39	1.64434
17	39	48	1.56171
18	48	13	1.25457
19	13	21	2.50407
20	21	25	3.79423
21	25	15	0.57529
22	15	60	0.53321
23	60	78	10.59996
24	78	77	1.01169
25	77	35	8.42222
26	35	58	1.21881
27	58	0	2.75954
TOTAL			52.91584

4.4.3. Ruta Subcontratada 1

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 52 y en la tabla 40 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 27 pedidos a la unidad subcontratada y recorriendo un total de 45.94 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 52.

Recorrido de la Ruta Subcontratada 1

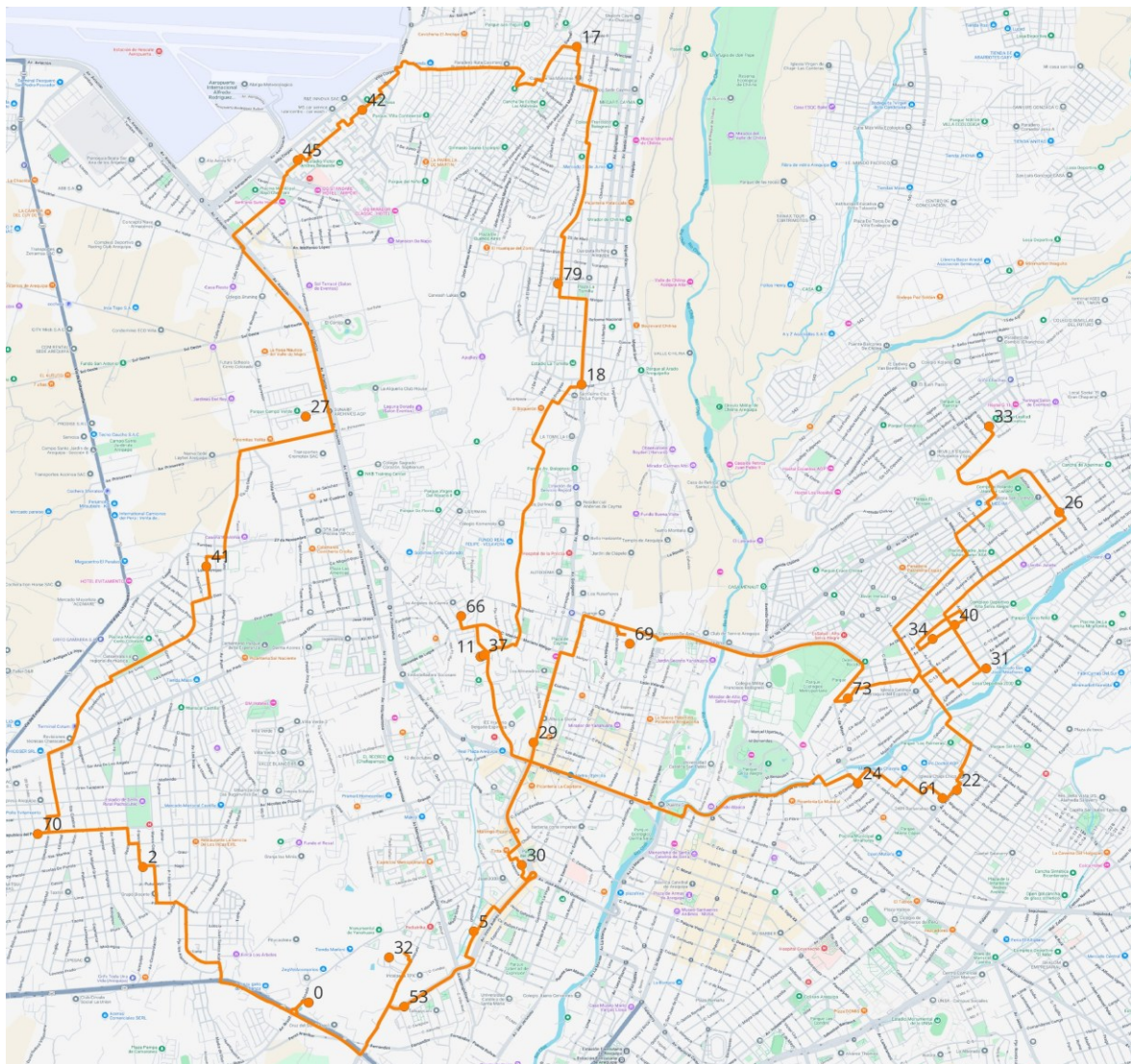


Tabla 40.

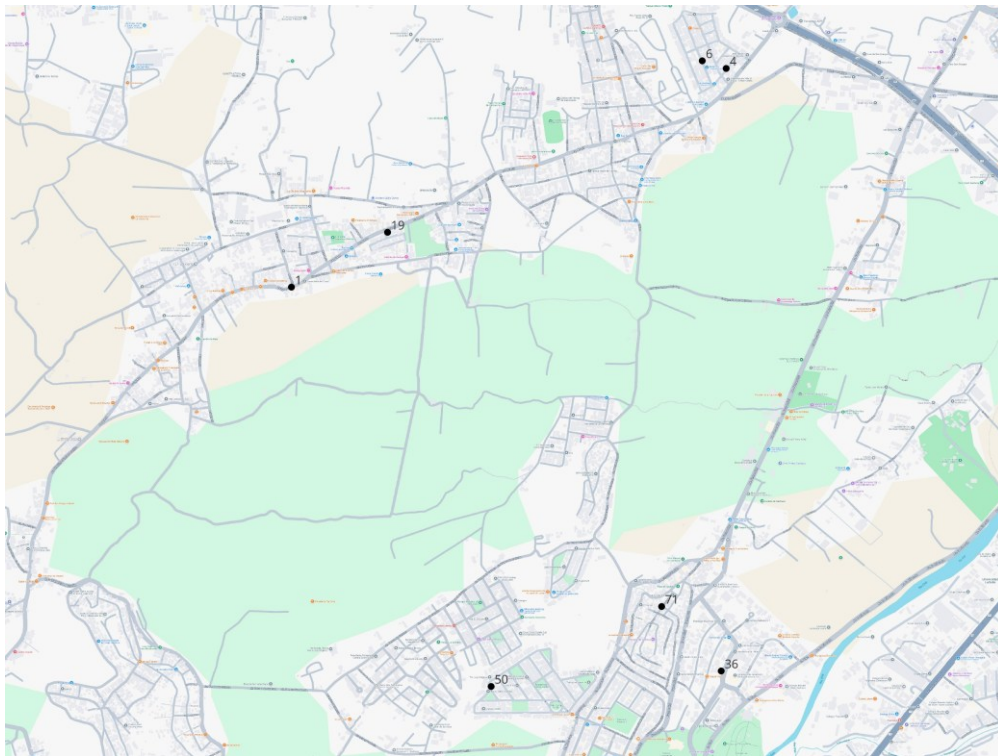
Propuesta para ruta subcontratada 1

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	32	1.86054
2	32	53	0.58486
3	53	5	0.89471
4	5	30	0.93874
5	30	29	1.18835
6	29	69	1.48399
7	69	73	2.45643

8	73	31	1.30457
9	31	34	0.58874
10	34	40	0.75937
11	40	26	1.32367
12	26	33	1.80991
13	33	22	4.6202
14	22	61	0.25013
15	61	24	0.92237
16	24	66	4.47897
17	66	11	0.48269
18	11	37	0.00948
19	37	18	2.53802
20	18	79	0.96681
21	79	17	2.40516
22	17	42	2.51855
23	42	45	0.8276
24	45	27	2.62275
25	27	41	1.53072
26	41	70	3.29385
27	70	2	1.02002
28	2	0	2.25585
TOTAL			45.93705

4.4.4. Pedidos No Despachados

En el día 2 no se despacharon 7 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 53.

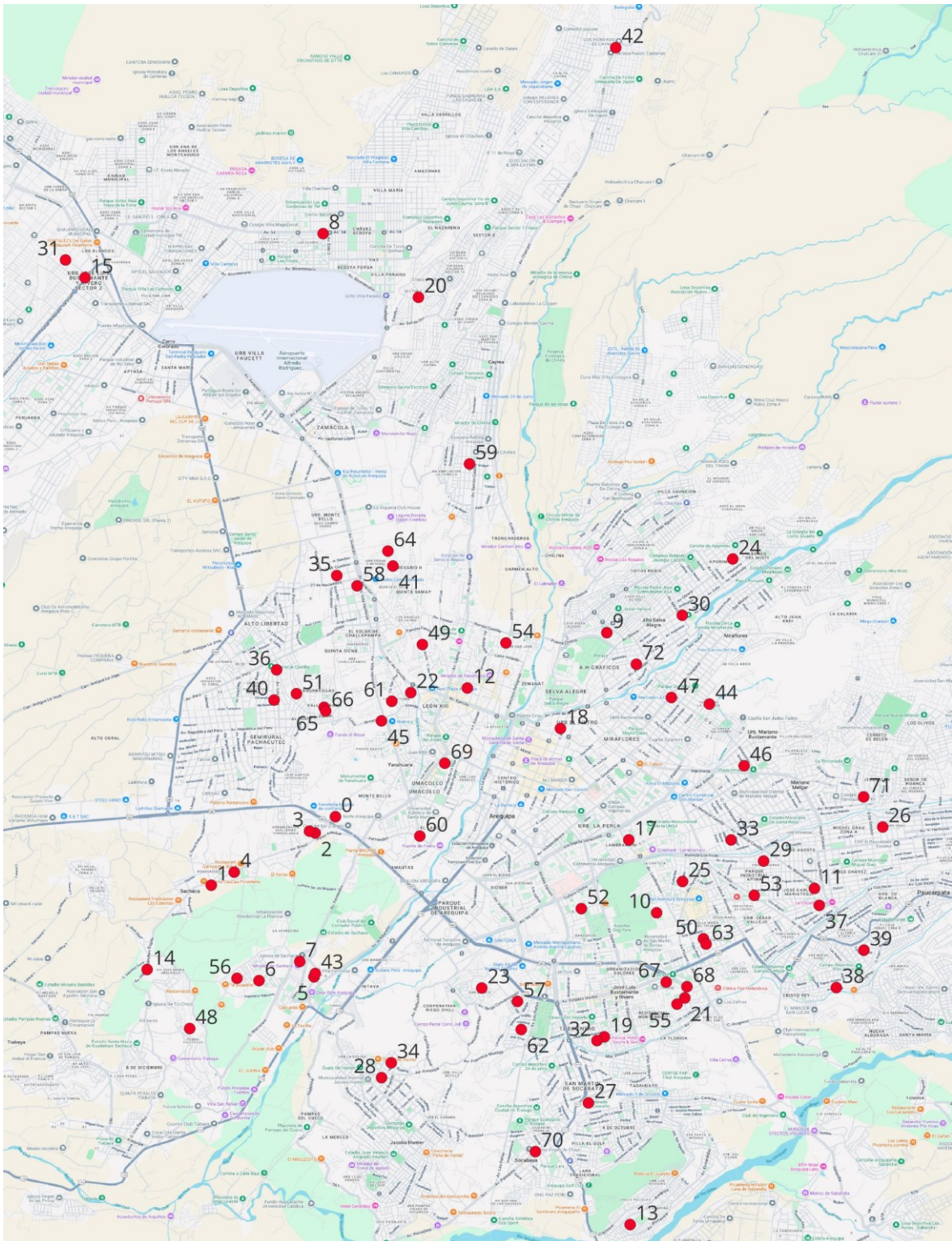
Figura 53.*Pedidos No Despachados Día 2*

4.5. Demanda de Pedidos Propuesta Día 3

La demanda de pedidos para el día 3 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 65, sin considerar los 7 pedidos que no se despacharon el día anterior, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 54 y se generaron 3 rutas, una de ellas se deberá subcontratar.

Figura 54.

Demanda de Pedidos para el día 3



4.5.1. Ruta 5 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 55 y en la tabla 41 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 29 pedidos a la unidad vehicular 1 y recorriendo un total de 70.80 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 55.

Recorrido de la ruta 5 Propuesta

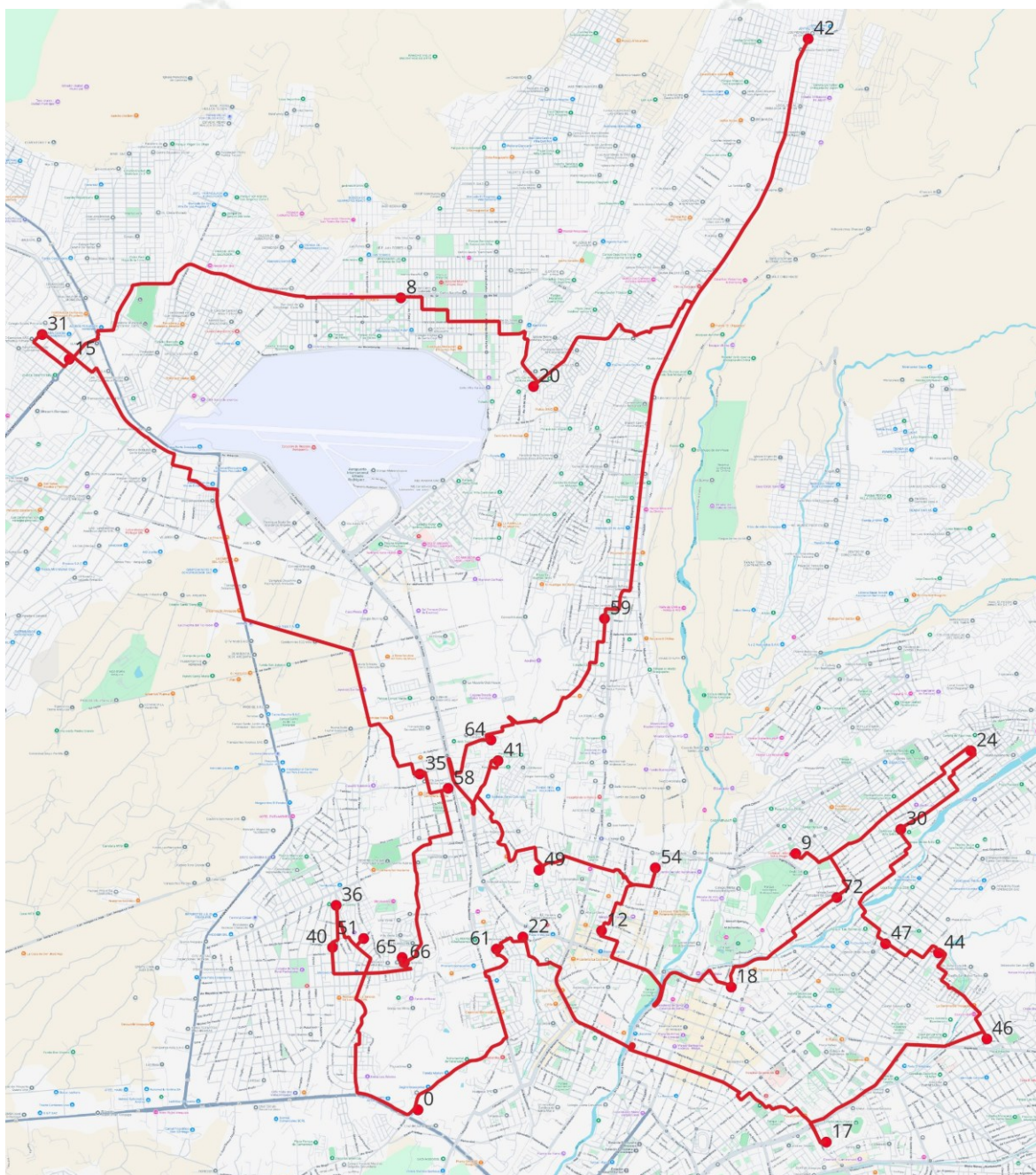


Tabla 41.

Propuesta para la ruta 5

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	51	3.21547
2	51	36	0.69195
3	36	40	0.48875
4	40	65	1.34644
5	65	66	0.14886
6	66	58	3.36552
7	58	35	0.4807
8	35	15	7.05211
9	15	31	0.68012
10	31	8	4.85473
11	8	20	2.46421
12	20	42	5.61618
13	42	59	6.85605
14	59	64	2.55688
15	64	41	2.18727
16	41	49	2.33607
17	49	54	1.78004
18	54	12	1.08424
19	12	18	2.45739
20	18	72	1.65199
21	72	9	1.01891
22	9	24	2.43397
23	24	30	1.4277
24	30	47	2.1131
25	47	44	0.76076
26	44	46	1.32549
27	46	17	2.60652
28	17	22	4.82123
29	22	61	0.49155
30	61	0	2.4875
TOTAL			70.8017

4.5.2. Ruta 6 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 56 y en la tabla 42 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 21 pedidos a la unidad vehicular 2 y recorriendo un total de 47.30 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 56.

Recorrido de la ruta 6 Propuesta

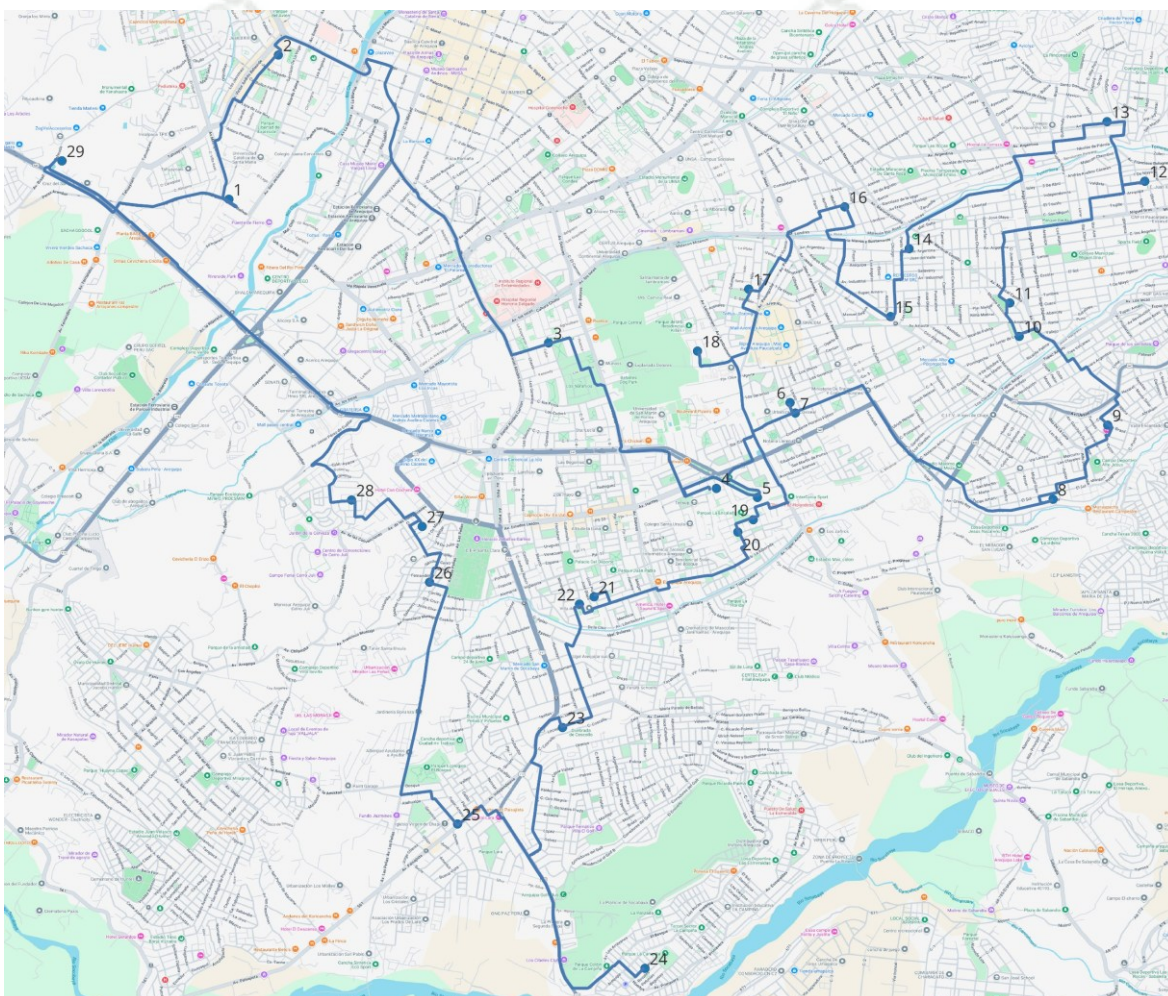


Tabla 42.

Propuesta para la ruta 6

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	60	1.77964
2	60	69	1.41419

3	69	52	4.15333
4	52	67	2.13686
5	67	68	0.84507
6	68	50	1.31919
7	50	63	0.10239
8	63	38	2.4819
9	38	39	1.13799
10	39	37	1.56705
11	37	11	0.32221
12	11	26	2.03277
13	26	71	1.0118
14	71	29	2.1725
15	29	53	0.66587
16	53	33	1.36126
17	33	25	1.21927
18	25	10	1.06367
19	10	21	1.96267
20	21	55	0.20933
21	55	19	1.96298
22	19	32	0.48041
TOTAL			47.30259

4.5.3. Ruta Subcontratada 2

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 57 y en la tabla 43 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 15 pedidos a la unidad subcontratada y recorriendo un total de 40.93 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 57.

Recorrido de la Ruta Subcontratada 2



Tabla 43.

Propuesta para la Ruta Subcontratada 2

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	2	0.49049
2	2	3	0.17148
3	3	4	1.48647
4	4	1	0.38481
5	1	56	3.00746

6	56	14	1.66859
7	14	48	2.33204
8	48	16	8.75307
9	16	34	10.67443
10	34	28	0.50298
11	28	5	2.8179
12	5	43	0.05222
13	43	7	0.56029
14	7	6	0.9082
15	6	45	5.08542
16	45	0	2.02961
TOTAL			40.92546

4.5.4. Pedidos No Despachados

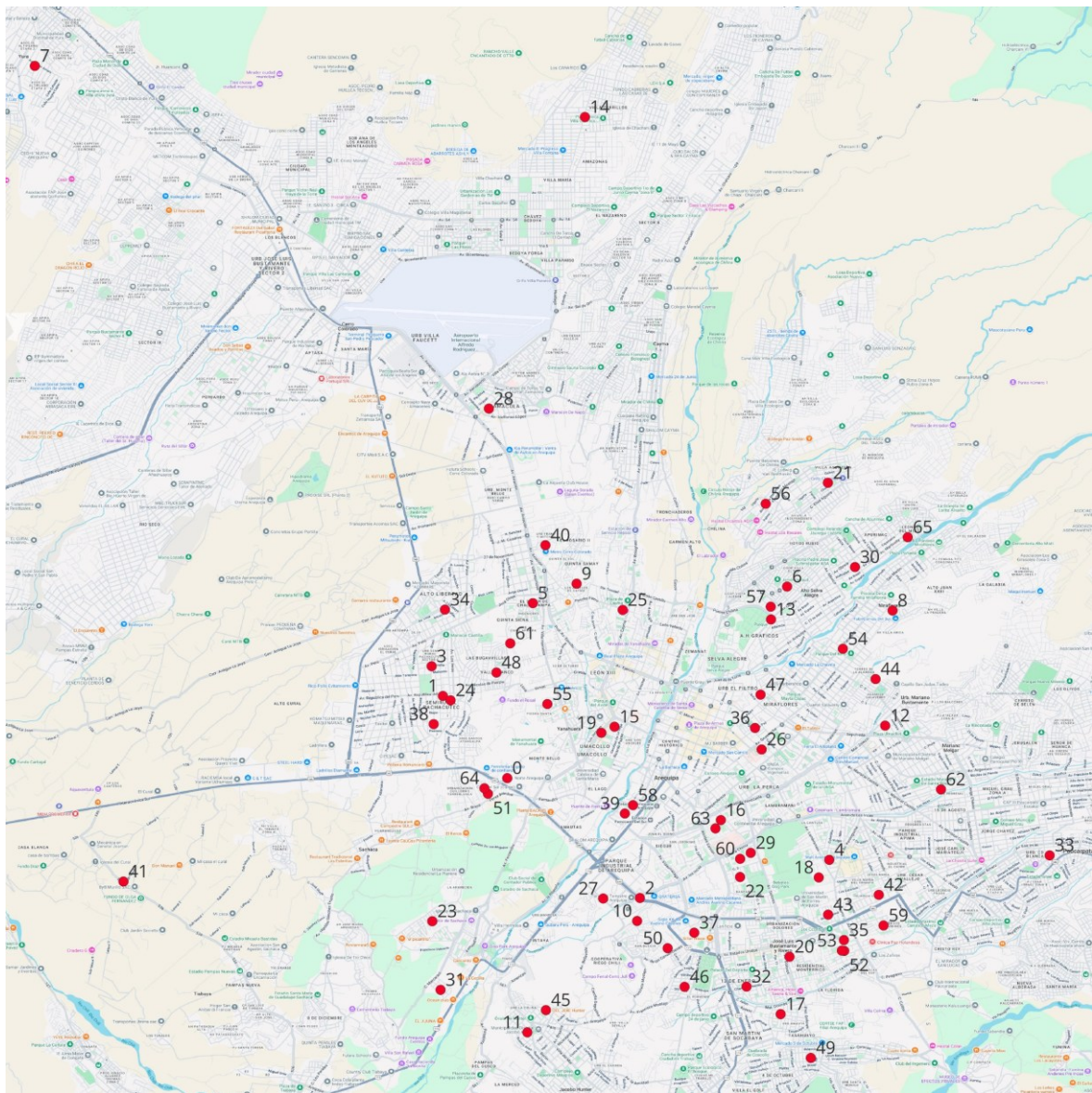
En el día 3 se despacharon todos los pedidos a la flota vehicular de la empresa y a la flota subcontratada.

4.6. Demanda de Pedidos Propuesta Día 4

La demanda de pedidos para el día 4 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 65, el día anterior se despacharon todos los pendientes por lo que no queda ningún pedido pendiente, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 58.

Figura 58.

Demanda de pedidos para el día 4



4.6.1. Ruta 7 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 59 y en la tabla 44 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 27 pedidos a la unidad vehicular 1 y recorriendo un total de 79.10 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 59.

Recorrido de la ruta 7 Propuesta

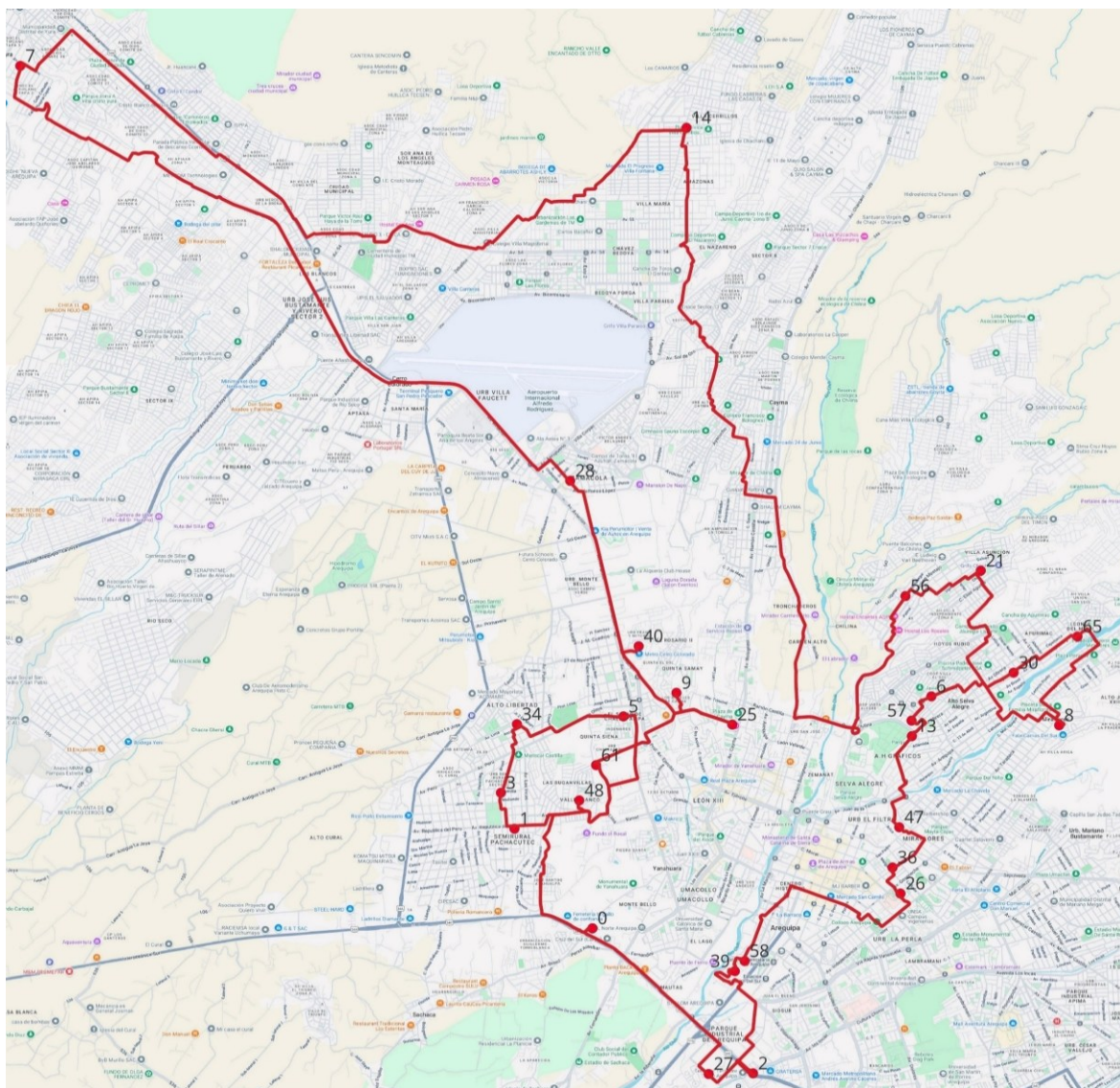


Tabla 44.

Propuesta para la ruta 7

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	48	3.17547
2	48	61	1.42611
3	61	5	1.10939
4	5	34	1.65718
5	34	3	1.08177
6	3	1	0.61714

7	1	25	4.22851
8	25	9	0.96013
9	9	40	1.66351
10	40	28	2.80226
11	28	7	10.65707
12	7	14	12.32818
13	14	56	12.99813
14	56	21	1.61981
15	21	8	3.86227
16	8	65	2.04413
17	65	30	1.03006
18	30	6	1.34785
19	6	57	0.62818
20	57	13	0.53014
21	13	47	1.5102
22	47	36	0.94754
23	36	26	0.47001
24	26	58	3.51168
25	58	39	0.32476
26	39	2	2.84909
27	2	27	0.80261
28	27	0	2.92466
TOTAL			79.10784

4.6.2. Ruta 8 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 60 y en la tabla 45 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 27 pedidos a la unidad vehicular 2 y recorriendo un total de 56.33 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 60.

Recorrido de la ruta 8 Propuesta

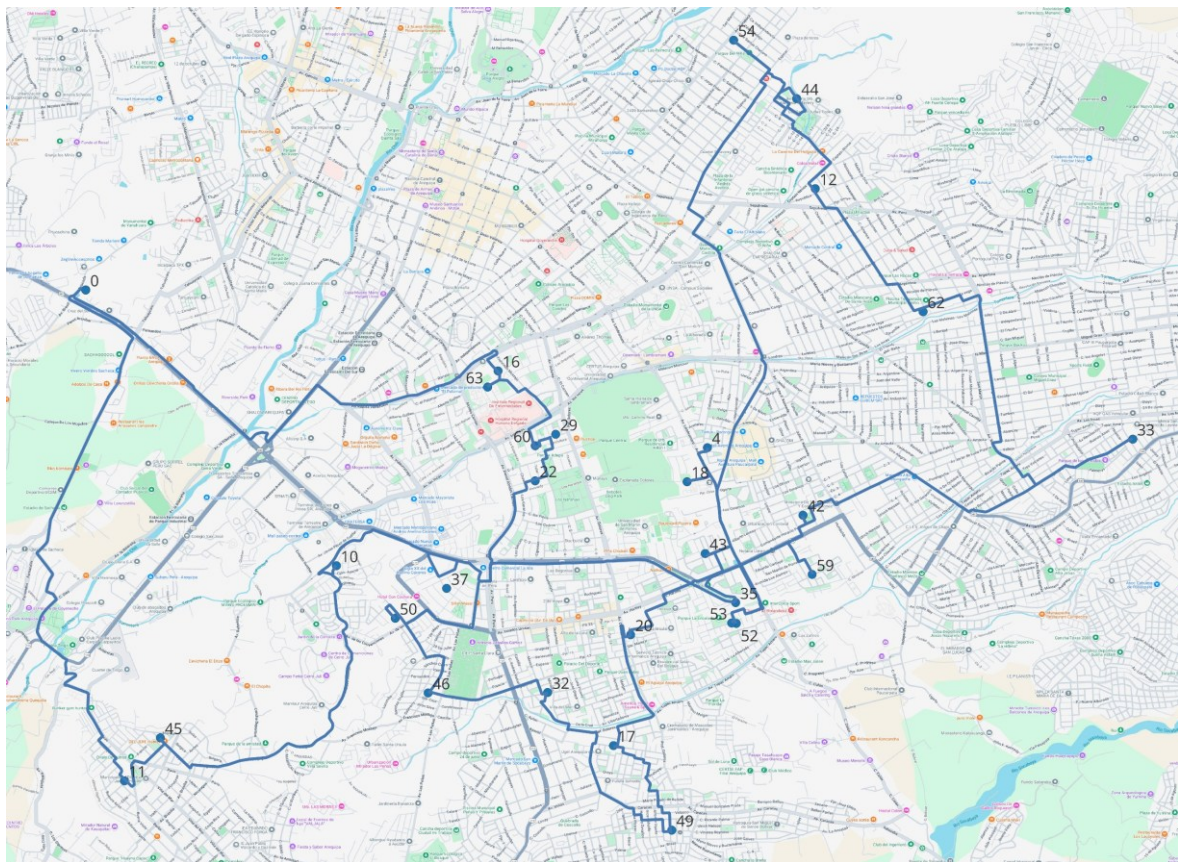


Tabla 45.

Propuesta para la ruta 8

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	11	5.76738
2	11	45	0.87674
3	45	10	3.37597
4	10	37	1.68448
5	37	35	2.95902
6	35	59	1.48552
7	59	42	0.7174
8	42	33	3.33039
9	33	62	3.71062
10	62	12	1.41821
11	12	44	1.32084
12	44	54	1.36769

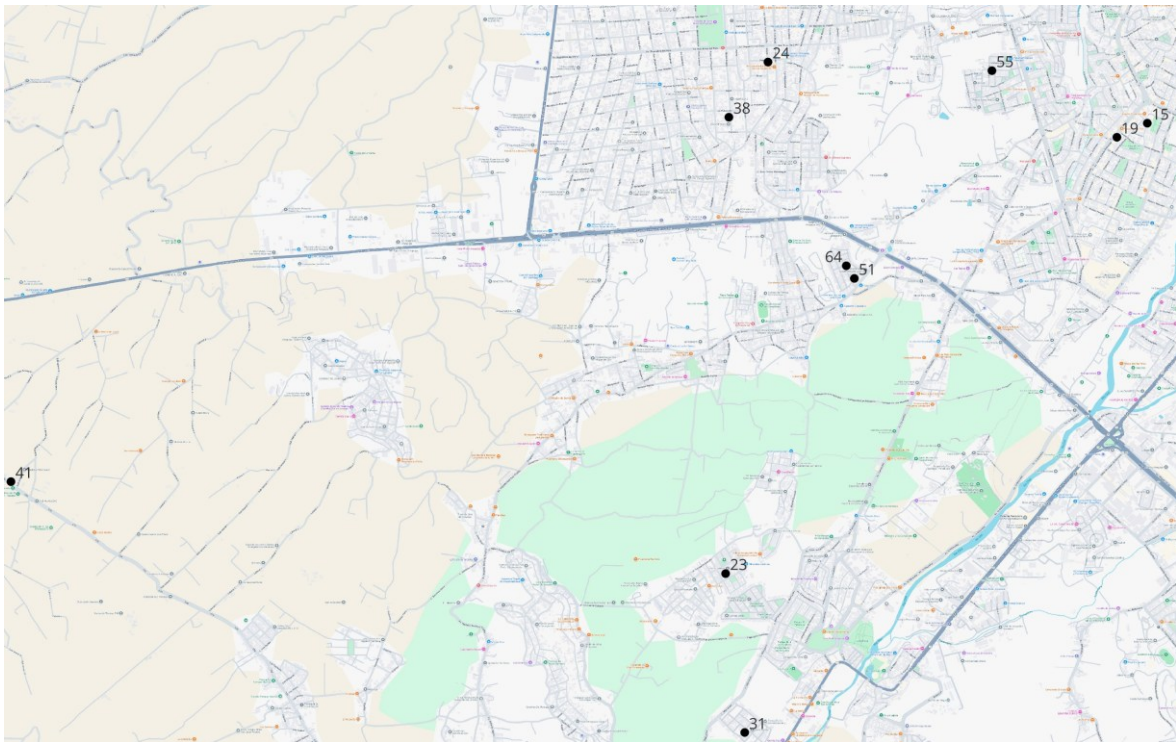
13	54	52	6.29123
14	52	53	0.05186
15	53	43	1.16821
16	43	4	1.10659
17	4	18	0.48919
18	18	20	2.25331
19	20	17	1.43497
20	17	49	1.13007
21	49	32	2.52129
22	32	46	1.04718
23	46	50	1.55387
24	50	22	2.70899
25	22	29	0.50453
26	29	60	0.20622
27	60	63	1.08058
28	63	16	0.18176
29	16	0	4.59109
TOTAL			56.3352

4.6.3. Pedidos No Despachados

En el día 4 no se despacharon 10 pedidos a la flota vehicular de la empresa, y pasan automáticamente a la carga de demanda de pedidos del siguiente día, las ubicaciones geográficas se muestran en la figura 61.

Figura 61.

Pedidos No Despachados Día 4

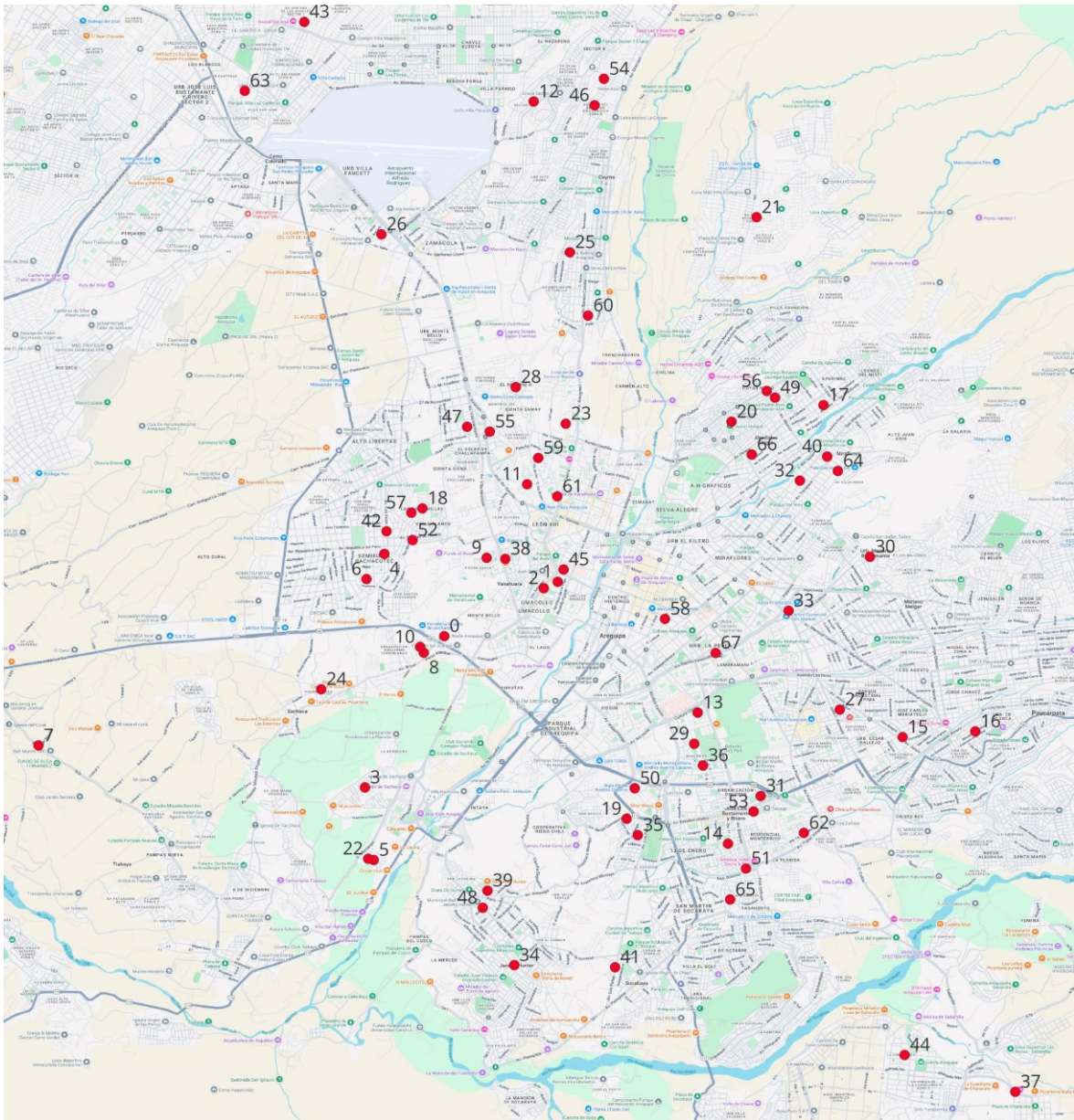


4.7. Demanda de Pedidos Propuesta Día 5

La demanda de pedidos para el día 5 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 57, sin considerar los 10 pedidos que no se despacharon el día anterior, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 62.

Figura 62.

Demanda de pedidos para el día 5



4.7.1. Ruta 9 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 63 y en la tabla 46 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 29 pedidos a la unidad vehicular 1 recorriendo un total de 58.97 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 63.

Recorrido de la ruta 9 Propuesta

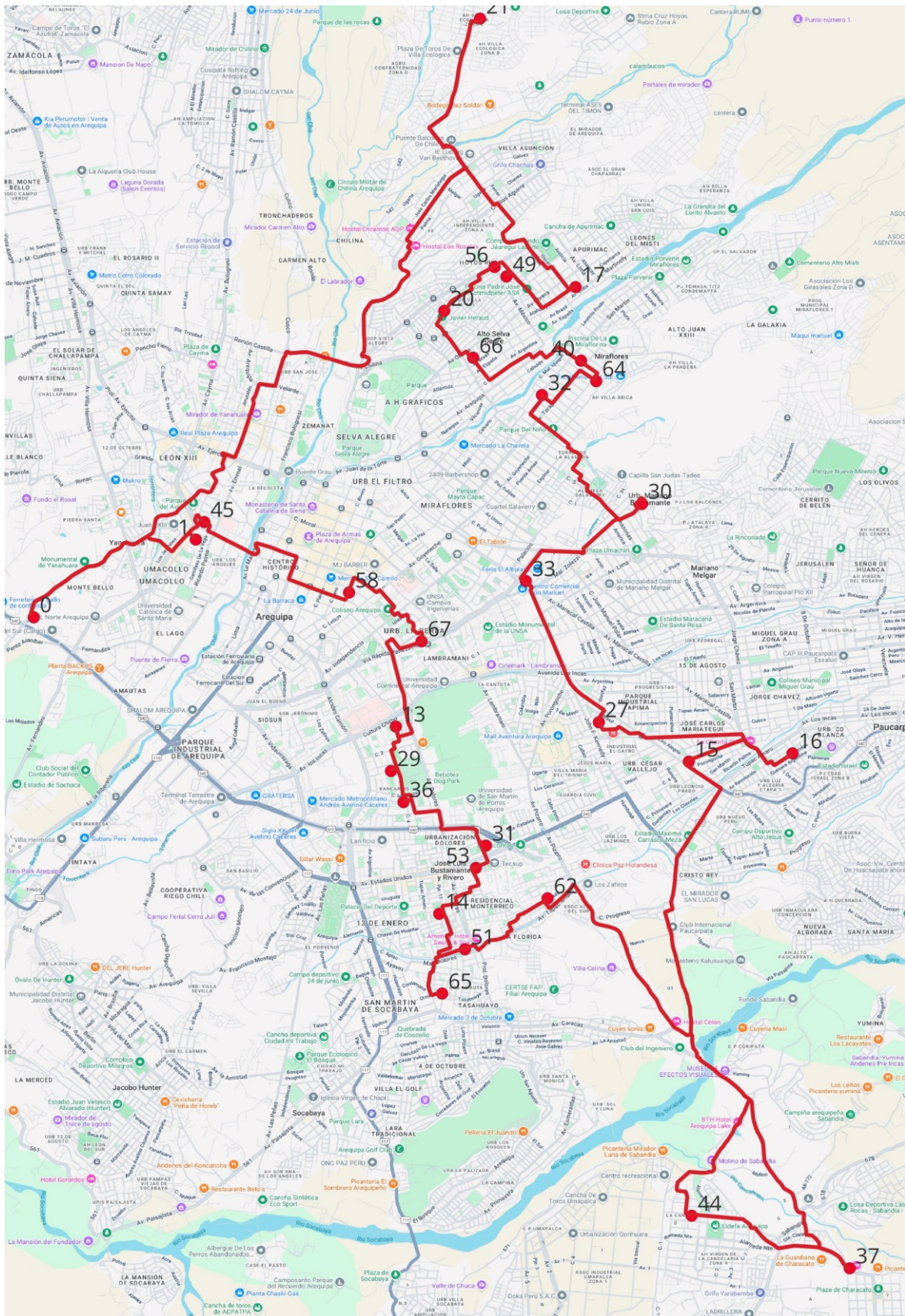


Tabla 46.

Propuesta para la ruta 9

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	1	2.15769
2	1	45	0.45199
3	45	58	2.16834
4	58	67	1.53718
5	67	13	1.6522
6	13	29	0.65825
7	29	36	0.56191
8	36	31	1.32132
9	31	53	0.4342
10	53	14	0.87954
11	14	65	1.20766
12	65	51	0.85796
13	51	62	1.18668
14	62	37	5.66346
15	37	44	1.86884
16	44	15	6.10371
17	15	16	1.42155
18	16	27	2.32245
19	27	33	1.74846
20	33	30	2.17077
21	30	32	2.36971
22	32	64	0.94661
23	64	40	0.32909
24	40	66	1.47568
25	66	20	1.01941
26	20	56	0.77332
27	56	49	0.28295
28	49	17	1.15993
29	17	21	4.04644
30	21	0	10.19402
TOTAL			58.97132

4.7.2. Ruta 10 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 64 y en la tabla 47 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 24 pedidos a la unidad vehicular 2 recorriendo un total de 41.38 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 64.

Recorrido de la ruta 10 Propuesta

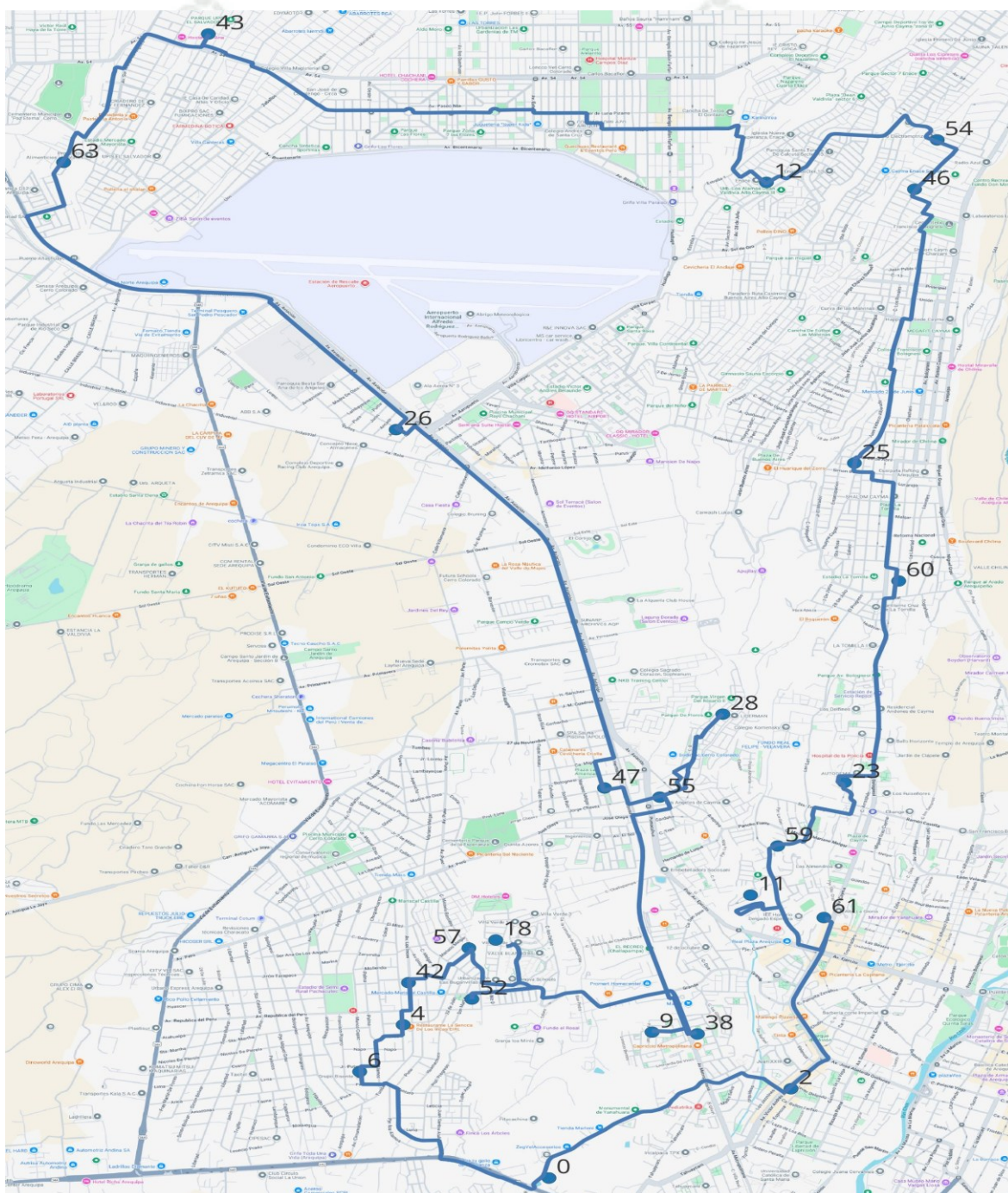


Tabla 47.

Propuesta para la ruta 10

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	2	1.84847
2	2	61	1.54824
3	61	11	0.94461
4	11	59	0.9608
5	59	23	0.99324
6	23	60	1.89412
7	60	25	1.19557
8	25	46	3.0354
9	46	54	0.55042
10	54	12	1.45107
11	12	43	4.42329
12	43	63	1.75352
13	63	26	4.16491
14	26	47	3.92779
15	47	55	0.46338
16	55	28	0.84984
17	28	9	3.40697
18	9	38	0.29806
19	38	52	1.7682
20	52	18	0.84149
21	18	57	1.00812
22	57	42	0.70395
23	42	4	0.38702
24	4	6	0.83669
25	6	0	2.13192
TOTAL			41.38709

4.7.3. Ruta Subcontratada 3

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 65 y en la tabla 48 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 14 pedidos a la unidad subcontratada recorriendo un total de 38.37 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 65.

Recorrido de la ruta subcontratada 3

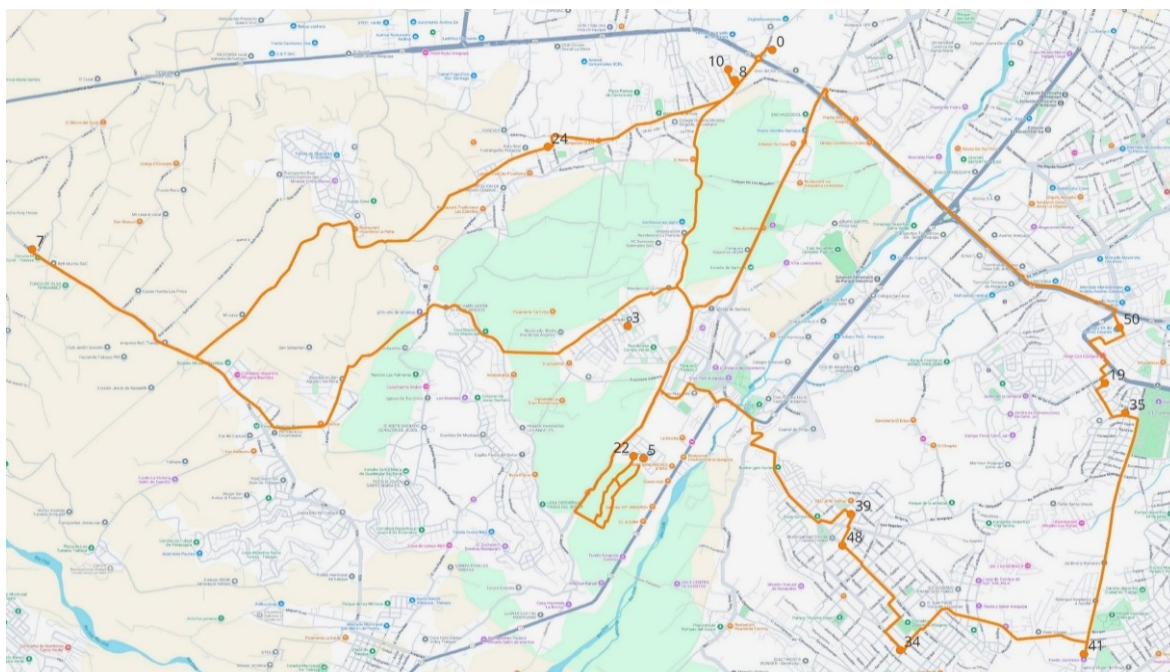


Tabla 48.

Propuesta para la ruta Subcontratada 3

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	5	5.29804
2	5	22	0.51947
3	22	39	5.17531
4	39	48	0.29327
5	48	34	1.17185
6	34	41	1.89129
7	41	35	2.06845
8	35	19	0.55739
9	19	50	0.87337
10	50	3	6.07683
11	3	7	5.96527
12	7	24	5.98421
13	24	8	1.74401
14	8	10	0.15852
15	10	0	0.59159
TOTAL			38.36887

4.7.4. Pedidos No Despachados

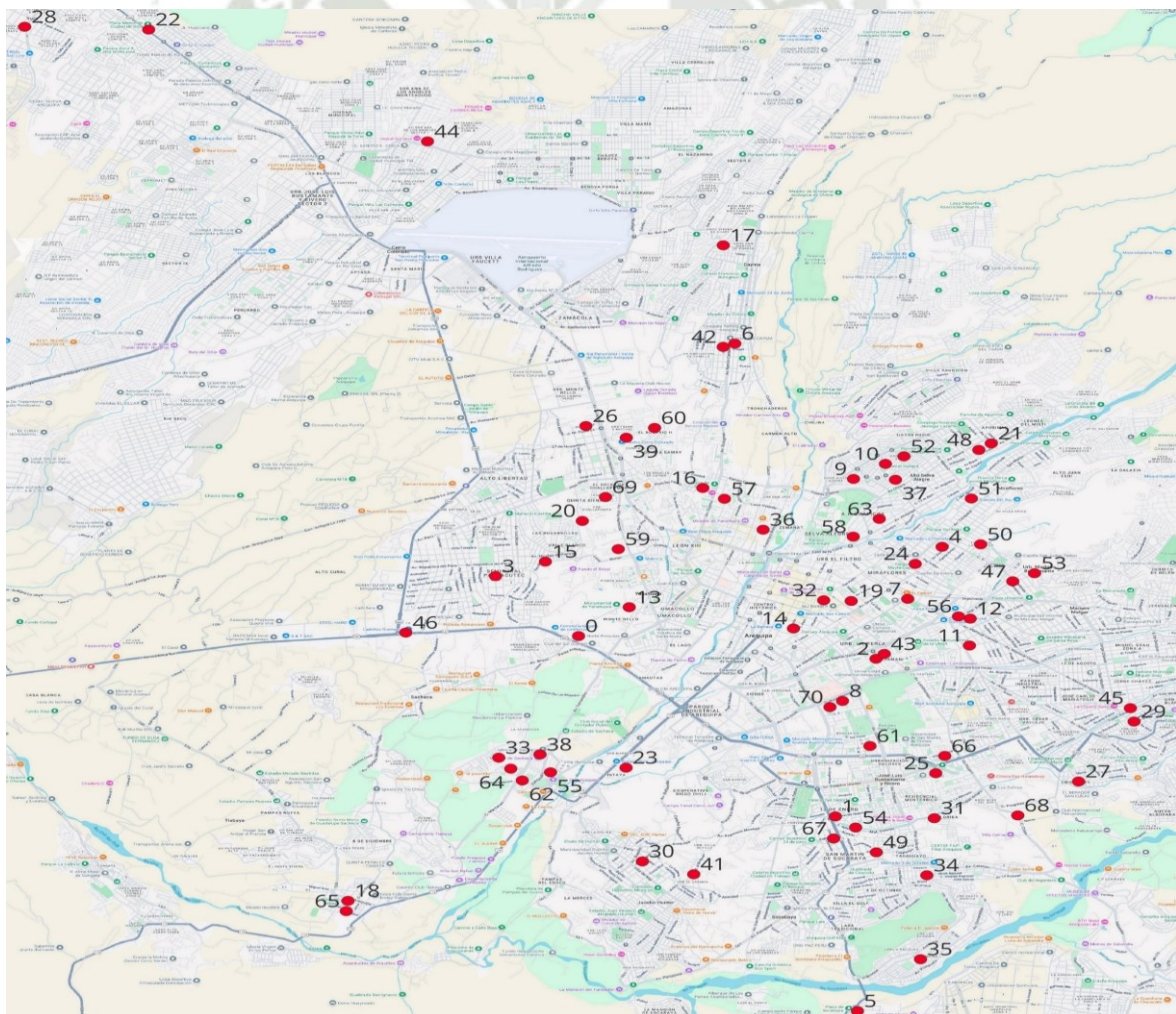
En el día 5 se despacharon todos los pedidos a la flota vehicular de la empresa y a la flota subcontratada.

4.8. Demanda de Pedidos Propuesta Día 6

La demanda de pedidos para el día 6 generados por el script en Python y respetando las restricciones operativas de la empresa es de 70, el día anterior se despacharon todos los pendientes por lo que no queda ningún pedido pendiente, sus ubicaciones geográficas se detallan en la figura 66.

Figura 66.

Demanda de pedidos para el día 6



4.8.1. Ruta 11 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 67 y en la tabla 49 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 28 pedidos a la unidad vehicular 1 y recorriendo un total de 67.09 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 67.

Recorrido de la ruta 11 Propuesta

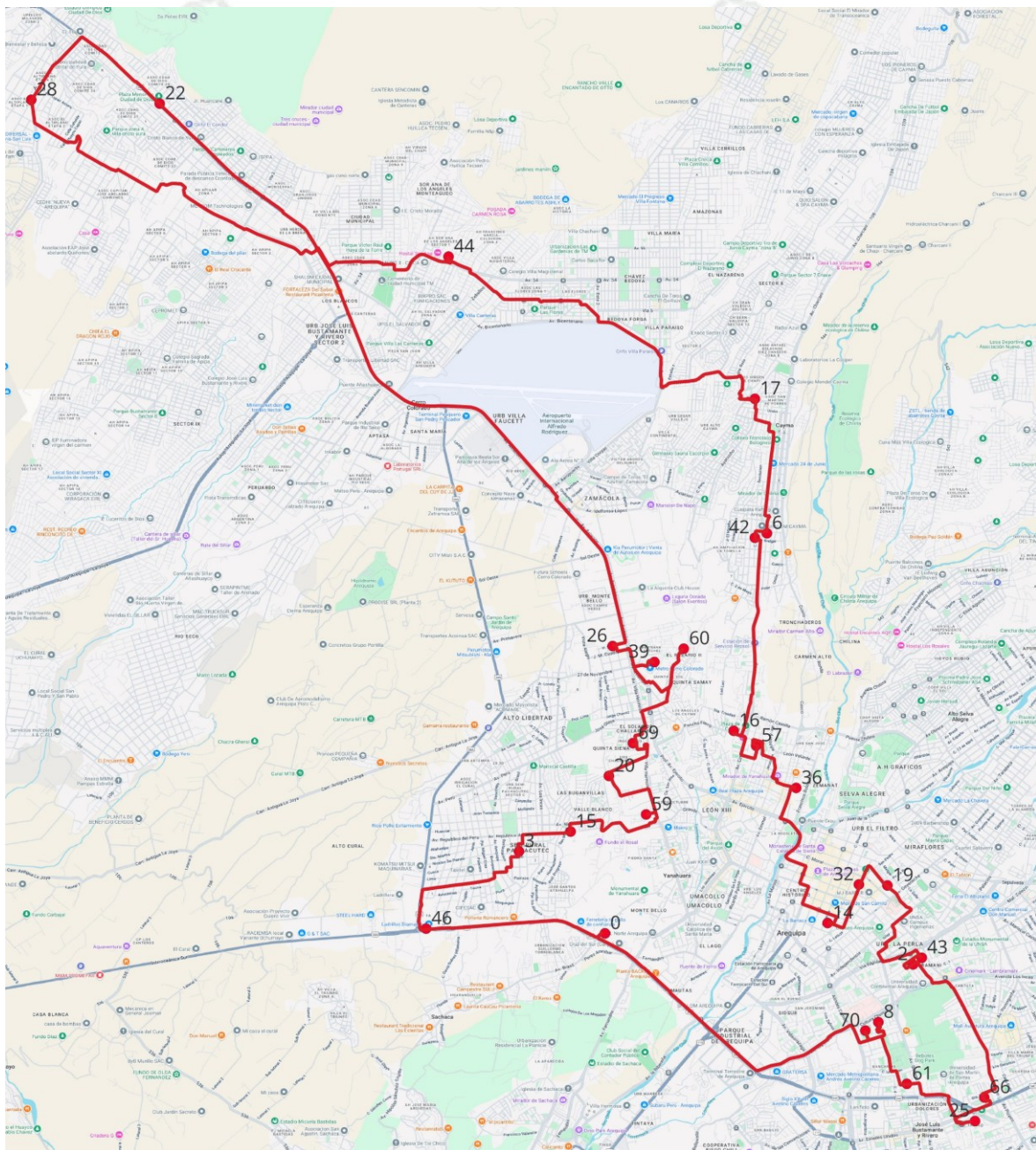


Tabla 49.

Propuesta para la ruta 11

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	46	2.34028
2	46	3	2.65475
3	3	15	0.91036
4	15	59	1.79299
5	59	20	1.24933
6	20	69	1.07786
7	69	60	1.76718
8	60	39	1.60138
9	39	26	0.86703
10	26	22	10.54434
11	22	28	2.54467
12	28	44	7.63906
13	44	17	5.68631
14	17	6	2.43864
15	6	42	0.25217
16	42	16	3.04351
17	16	57	0.80011
18	57	36	1.43946
19	36	14	2.86703
20	14	32	0.90708
21	32	19	0.64184
22	19	43	2.02697
23	43	2	0.50944
24	2	66	2.42816
25	66	25	0.95903
26	25	61	1.26078
27	61	8	1.43318
28	8	70	0.65514
29	70	0	4.7529
TOTAL			67.09098

4.8.2. Ruta 12 Propuesta

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 68 y en la tabla 50 las distancias recorridas entre cada

nodo, despachando 31 pedidos a la unidad vehicular 2 y recorriendo un total de 48.30 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 68.

Recorrido de la ruta 12 Propuesta



Tabla 50.

Propuesta para la ruta 12

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia
1	0	1	5.51056
2	1	54	0.3685
3	54	67	0.77236
4	67	5	3.78044
5	5	35	1.93286
6	35	34	2.1465
7	34	49	1.17848
8	49	31	1.23874
9	31	68	1.57764
10	68	27	1.68044
11	27	29	1.85682
12	29	45	0.46247
13	45	11	2.73045
14	11	12	0.74269
15	12	56	0.19711
16	56	47	2.07414
17	47	53	0.32472
18	53	50	1.50973
19	50	51	1.16807
20	51	21	2.0506
21	21	48	0.22203
22	48	52	1.55867
23	52	10	0.37681
24	10	37	0.48073
25	37	9	0.72928
26	9	58	1.67486
27	58	63	0.87126
28	63	4	1.21745
29	4	24	0.61544
30	24	7	0.96572
31	7	0	6.28841
32	67	5	5.51056
TOTAL			48.30398

4.8.3. Ruta Subcontratada 4

El script generado en Python del algoritmo de ahorros, proporcionó la siguiente ruta optimizada que se muestra en la figura 69 y en la tabla 51 las distancias recorridas entre cada nodo, despachando 12 pedidos a la unidad vehicular subcontratada recorriendo un total de 28.87 kilómetros, extraído del software QGIS.

Figura 69.

Propuesta para la Ruta Subcontratada 4

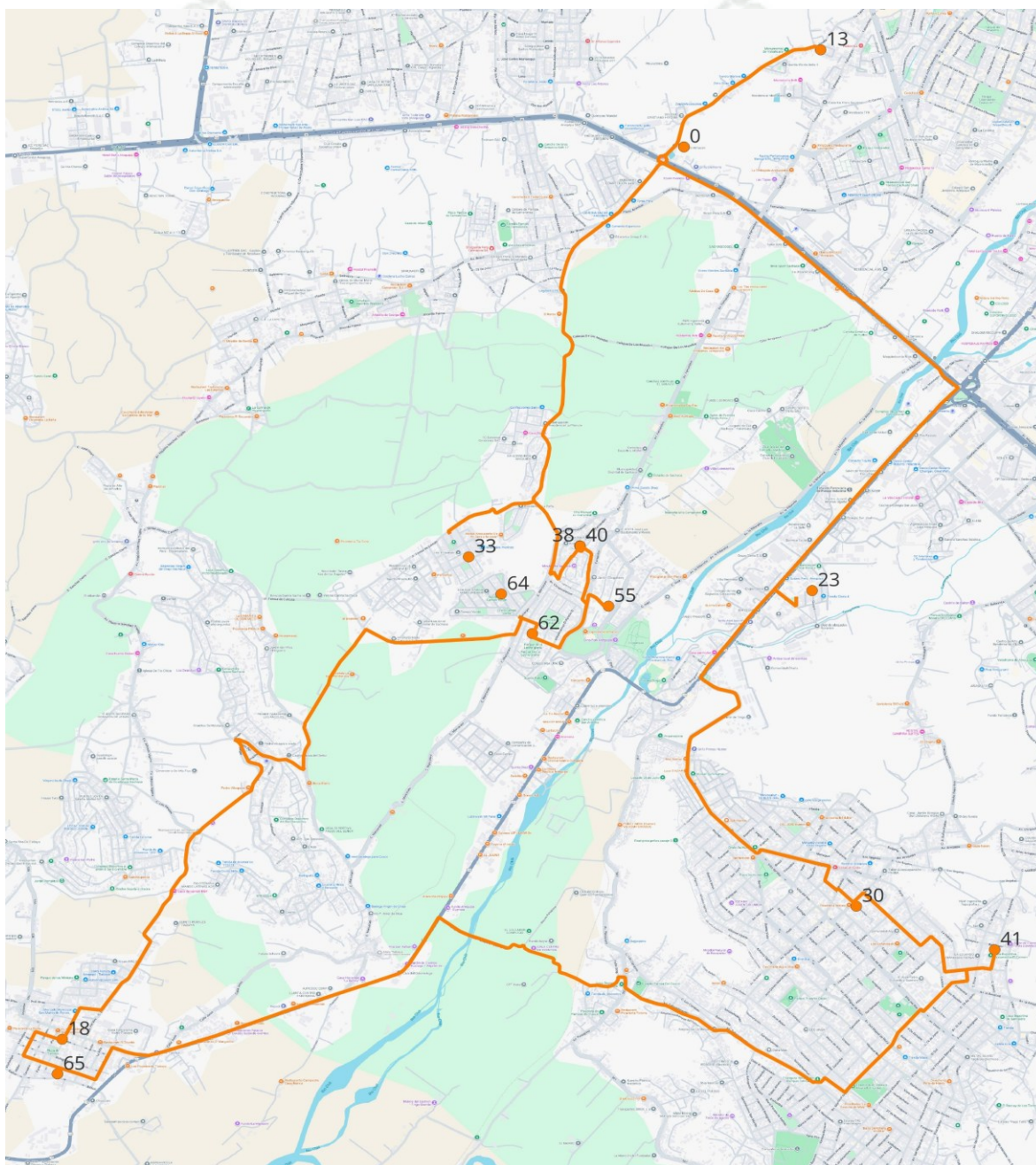


Tabla 51.

Propuesta para la ruta subcontratada 4

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	3.67951
1	0	23	2.81032
2	23	30	1.53167
3	30	41	6.4789
4	41	65	0.50261
5	65	18	4.25739
6	18	64	0.15843
7	64	62	1.76572
8	62	55	1.73518
9	55	38	0.09355
10	38	40	1.27186
11	40	33	3.67109
12	33	13	0.91157
13	13	0	3.67951
TOTAL			28.8678

4.8.4. Pedidos No Despachados

En el día 6 se despacharon todos los pedidos a la flota vehicular de la empresa y a la flota subcontratada.

4.9. Costos de Transporte

El rendimiento de las unidades vehiculares mantiene el valor de 34.8 kilómetros por galón, de la misma manera que el precio promedio del gasohol premium siendo de S/15.99 por galón.

4.9.1. Ruta 1 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 1 propuesta fue de 64.97 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/29.99 y se muestra en la tabla 52.

Tabla 52.

Costo del Recorrido de la Ruta 1 propuesta

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	1.62512	34.8	0.046698851	15.99	0.746714621
2	1.25267	34.8	0.035996264	15.99	0.575580267
3	0.17405	34.8	0.005001437	15.99	0.079972974
4	3.74954	34.8	0.107745402	15.99	1.722848983
5	4.72812	34.8	0.135865517	15.99	2.172489621
6	3.27788	34.8	0.094191954	15.99	1.506129345
7	4.13885	34.8	0.118932471	15.99	1.901730216
8	2.57081	34.8	0.073873851	15.99	1.181242871
9	2.59932	34.8	0.074693103	15.99	1.194342724
10	1.48864	34.8	0.042777011	15.99	0.684004414
11	3.07682	34.8	0.088414368	15.99	1.413745741
12	0.58424	34.8	0.016788506	15.99	0.268448207
13	1.96861	34.8	0.056569253	15.99	0.904542353
14	1.15168	34.8	0.033094253	15.99	0.529177103
15	2.21488	34.8	0.063645977	15.99	1.017699172
16	1.12477	34.8	0.032320977	15.99	0.516812422
17	1.37239	34.8	0.039436494	15.99	0.630589543
18	1.52351	34.8	0.043779023	15.99	0.700026578
19	1.71416	34.8	0.049257471	15.99	0.787626966
20	0.23164	34.8	0.006656322	15.99	0.106434586
21	0.50816	34.8	0.014602299	15.99	0.233490759
22	2.1863	34.8	0.062824713	15.99	1.004567155
23	2.5307	34.8	0.072721264	15.99	1.162813017
24	1.48267	34.8	0.04260546	15.99	0.681261302
25	1.46425	34.8	0.042076149	15.99	0.672797629
26	0.39102	34.8	0.011236207	15.99	0.179666948
27	1.15379	34.8	0.033154885	15.99	0.530146612
28	0.35899	34.8	0.010315805	15.99	0.164949716
29	2.3789	34.8	0.068359195	15.99	1.093063534
30	2.88447	34.8	0.082887069	15.99	1.325364233
31	2.44866	34.8	0.070363793	15.99	1.125117052
32	3.46742	35.8	0.096855307	16.99	1.64557167
33	3.15032	36.8	0.085606522	17.99	1.540061326

TOTAL	64.97335	29.99902966
--------------	-----------------	--------------------

4.9.2. Ruta 2 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 2 propuesta fue de 39.98 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/18.46 y se muestra en la tabla 53.

Tabla 53.

Costo del Recorrido de la Ruta 2

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	4.2264	34.8	0.121448276	15.99	1.941957931
2	0.64024	34.8	0.018397701	15.99	0.294179241
3	0.26697	34.8	0.007671552	15.99	0.122668112
4	3.3892	34.8	0.097390805	15.99	1.557278966
5	2.12469	34.8	0.06105431	15.99	0.976258422
6	1.6432	34.8	0.047218391	15.99	0.755022069
7	0.45712	34.8	0.013135632	15.99	0.210038759
8	1.56541	34.8	0.044983046	15.99	0.719278905
9	1.12293	34.8	0.032268103	15.99	0.515966974
10	2.28287	34.8	0.065599713	15.99	1.048939405
11	1.701	34.8	0.04887931	15.99	0.781580172
12	0.86537	34.8	0.024866954	15.99	0.397622595
13	0.78916	34.8	0.022677011	15.99	0.362605414
14	0.26317	34.8	0.007562356	15.99	0.120922078
15	1.77126	34.8	0.050898276	15.99	0.813863431
16	0.97814	34.8	0.028107471	15.99	0.449438466
17	1.53302	34.8	0.044052299	15.99	0.704396259
18	1.39828	34.8	0.04018046	15.99	0.642485552
19	0.17391	34.8	0.004997414	15.99	0.079908647
20	2.29886	34.8	0.066059195	15.99	1.056286534
21	1.17143	34.8	0.033661782	15.99	0.538251888
22	1.20772	34.8	0.034704598	15.99	0.554926517
23	0.13743	34.8	0.003949138	15.99	0.063146716
24	0.51079	34.8	0.014677874	15.99	0.234699198
25	0.45751	34.8	0.013146839	15.99	0.210217957
26	1.31661	34.8	0.037833621	15.99	0.604959595
27	0.671	34.8	0.019281609	15.99	0.308312931

28	1.76871	34.8	0.050825	15.99	0.81269175
29	3.24566	34.8	0.093266092	16.99	1.584590902
TOTAL	39.97806				18.46249539

4.9.3. Ruta 3 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 3 propuesta fue de 58.23 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/26.75 y se muestra en la tabla 54.

Tabla 54.

Costo del Recorrido de la Ruta

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	6.6985	34.8	0.192485632	15.99	3.077845259
2	1.43096	34.8	0.04111954	15.99	0.657501448
3	0.70133	34.8	0.020153161	15.99	0.322249043
4	0.50175	34.8	0.014418103	15.99	0.230545474
5	0.89581	34.8	0.025741667	15.99	0.41160925
6	2.04857	34.8	0.058866954	15.99	0.941282595
7	1.5596	34.8	0.044816092	15.99	0.71660931
8	0.23394	34.8	0.006722414	15.99	0.107491397
9	4.84685	34.8	0.139277299	15.99	2.227044009
10	2.40056	34.8	0.068981609	15.99	1.103015931
11	0.98334	34.8	0.028256897	15.99	0.451827776
12	1.93192	34.8	0.055514943	15.99	0.887683931
13	3.1726	34.8	0.091166667	15.99	1.457755
14	7.15976	34.8	0.20574023	15.99	3.289786276
15	0.97648	34.8	0.02805977	15.99	0.448675724
16	3.61669	34.8	0.103927874	15.99	1.661806698
17	0.15549	34.8	0.004468103	15.99	0.071444974
18	2.59749	34.8	0.074640517	15.99	1.193501871
19	2.16133	34.8	0.062107184	15.99	0.993093871
20	1.4299	34.8	0.04108908	15.99	0.657014397
21	2.2091	34.8	0.063479885	15.99	1.015043362
22	1.32283	34.8	0.038012356	15.99	0.607817578
23	0.55852	34.8	0.016049425	15.99	0.25663031
24	1.29814	34.8	0.037302874	15.99	0.596472948

25	1.16399	34.8	0.033447989	15.99	0.534833336
26	0.86004	34.8	0.024713793	15.99	0.395173552
27	4.40138	34.8	0.126476437	15.99	2.022358224
28	0.91157	34.8	0.02619454	15.99	0.418850698
TOTAL	58.22844				26.75496424

4.9.4. Ruta 4 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 4 propuesta fue de 52.92 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/24.31 y se muestra en la tabla 55.

Tabla 55.

Costo del Recorrido de la Ruta 4

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	1.53293	34.8	0.044049713	15.99	0.704354905
2	0.91807	34.8	0.026381322	15.99	0.421837336
3	1.63128	34.8	0.046875862	15.99	0.749545034
4	0.99451	34.8	0.028577874	15.99	0.456960198
5	0.39417	34.8	0.011326724	15.99	0.181114319
6	0.92895	34.8	0.026693966	15.99	0.426836509
7	0.33338	34.8	0.009579885	15.99	0.153182362
8	0.33618	34.8	0.009660345	15.99	0.154468914
9	0.64385	34.8	0.018501437	15.99	0.295837974
10	1.97717	34.8	0.05681523	15.99	0.908475526
11	1.81253	34.8	0.052084195	15.99	0.832826284
12	2.02437	34.8	0.058171552	15.99	0.930163112
13	0.14164	34.8	0.004070115	15.99	0.065081138
14	1.82593	34.8	0.052469253	15.99	0.838983353
15	1.54124	34.8	0.044288506	15.99	0.708173207
16	1.64434	34.8	0.047251149	15.99	0.755545879
17	1.56171	34.8	0.044876724	15.99	0.717578819
18	1.25457	34.8	0.036050862	15.99	0.576453284
19	2.50407	34.8	0.071956034	15.99	1.150576991
20	3.79423	34.8	0.109029598	15.99	1.743383267
21	0.57529	34.8	0.016531322	15.99	0.264335836
22	0.53321	34.8	0.015322126	15.99	0.245000802

23	10.59996	34.8	0.304596552	15.99	4.870498862
24	1.01169	34.8	0.029071552	15.99	0.464854112
25	8.42222	34.8	0.242017816	15.99	3.869864879
26	1.21881	34.8	0.035023276	15.99	0.560022181
27	2.75954	34.8	0.079297126	15.99	1.267961052
TOTAL	52.91584				24.31391614

4.9.5. Ruta 5 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 5 propuesta fue de 70.80 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/32.73 y se muestra en la tabla 56.

Tabla 56.

Costo del Recorrido de la Ruta 5

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	3.21547	34.8	0.092398563	15.99	1.477453026
2	0.69195	34.8	0.019883621	15.99	0.317939095
3	0.48875	34.8	0.01404454	15.99	0.224572198
4	1.34644	34.8	0.038690805	15.99	0.618665966
5	0.14886	34.8	0.004277586	15.99	0.068398603
6	3.36552	34.8	0.096710345	15.99	1.546398414
7	0.4807	34.8	0.013813218	15.99	0.220873362
8	7.05211	34.8	0.202646839	15.99	3.240322957
9	0.68012	34.8	0.019543678	15.99	0.312503414
10	4.85473	34.8	0.139503736	15.99	2.230664733
11	2.46421	34.8	0.070810632	15.99	1.132262009
12	5.61618	34.8	0.161384483	15.99	2.580537879
13	6.85605	34.8	0.197012931	15.99	3.150236767
14	2.55688	34.8	0.073473563	15.99	1.174842276
15	2.18727	34.8	0.062852586	15.99	1.005012853
16	2.33607	34.8	0.067128448	15.99	1.073383888
17	1.78004	34.8	0.051150575	15.99	0.81789769
18	1.08424	34.8	0.031156322	15.99	0.498189586
19	2.45739	34.8	0.070614655	15.99	1.129128336
20	1.65199	34.8	0.047470977	15.99	0.759060922
21	1.01891	34.8	0.029279023	15.99	0.468171578

22	2.43397	34.8	0.069941667	15.99	1.11836725
23	1.4277	34.8	0.041025862	15.99	0.656003534
24	2.1131	34.8	0.060721264	15.99	0.970933017
25	0.76076	34.8	0.02186092	15.99	0.349556103
26	1.32549	34.8	0.038088793	15.99	0.609039802
27	2.60652	34.8	0.0749	15.99	1.197651
28	4.82123	35.8	0.134671229	16.99	2.288064182
29	0.49155	36.8	0.013357337	17.99	0.240298492
30	2.4875	37.8	0.065806878	18.99	1.249672619
TOTAL	70.8017				32.72610155

4.9.6. Ruta 6 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 6 propuesta fue de 47.30 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/21.73 y se muestra en la tabla 57.

Tabla 57.

Costo del Recorrido de la Ruta 6

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	1.77964	34.8	0.05113908	15.99	0.817713897
2	1.41419	34.8	0.040637644	15.99	0.649795922
3	4.15333	34.8	0.119348563	15.99	1.908383526
4	2.13686	34.8	0.061404023	15.99	0.981850328
5	0.84507	34.8	0.024283621	15.99	0.388295095
6	1.31919	34.8	0.037907759	15.99	0.60614506
7	0.10239	34.8	0.002942241	15.99	0.04704644
8	2.4819	34.8	0.071318966	15.99	1.140390259
9	1.13799	34.8	0.032700862	15.99	0.522886784
10	1.56705	34.8	0.045030172	15.99	0.720032457
11	0.32221	34.8	0.009258908	15.99	0.14804994
12	2.03277	34.8	0.058412931	15.99	0.934022767
13	1.0118	34.8	0.029074713	15.99	0.464904655
14	2.1725	34.8	0.062428161	15.99	0.998226293
15	0.66587	34.8	0.019134195	15.99	0.305955784
16	1.36126	34.8	0.039116667	15.99	0.6254755
17	1.21927	34.8	0.035036494	15.99	0.560233543

18	1.06367	34.8	0.03056523	15.99	0.488738026
19	1.96267	34.8	0.056398563	15.99	0.901813026
20	0.20933	34.8	0.00601523	15.99	0.096183526
21	1.96298	34.8	0.056407471	15.99	0.901955466
22	0.48041	34.8	0.013804885	15.99	0.220740112
23	1.51294	34.8	0.043475287	15.99	0.695169845
24	3.10993	34.8	0.089365805	15.99	1.428959216
25	2.57249	34.8	0.073922126	15.99	1.182014802
26	2.41452	34.8	0.069382759	15.99	1.10943031
27	0.80368	34.8	0.023094253	15.99	0.369277103
28	1.10397	34.8	0.031723276	15.99	0.507255181
29	4.38271	34.8	0.125939943	15.99	2.013779681
TOTAL	47.30259				21.73472454

4.9.7. Ruta 7 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 6 propuesta fue de 71.11 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/36.35 y se muestra en la tabla 58.

Tabla 58.

Costo del Recorrido de la Ruta 7

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	3.17547	34.8	0.091249138	15.99	1.459073716
2	1.42611	34.8	0.040980172	15.99	0.655272957
3	1.10939	34.8	0.031879023	15.99	0.509745578
4	1.65718	34.8	0.047620115	15.99	0.761445638
5	1.08177	34.8	0.031085345	15.99	0.497054664
6	0.61714	34.8	0.017733908	15.99	0.28356519
7	4.22851	34.8	0.121508908	15.99	1.94292744
8	0.96013	34.8	0.027589943	15.99	0.441163181
9	1.66351	34.8	0.047802011	15.99	0.764354164
10	2.80226	34.8	0.080524713	15.99	1.287590155
11	10.65707	34.8	0.306237644	15.99	4.896739922
12	12.32818	34.8	0.354258046	15.99	5.664586155
13	12.99813	34.8	0.373509483	15.99	5.972416629
14	1.61981	34.8	0.046546264	15.99	0.744274767

15	3.86227	34.8	0.11098477	15.99	1.774646474
16	2.04413	34.8	0.058739368	15.99	0.939242491
17	1.03006	34.8	0.029599425	15.99	0.47329481
18	1.34785	34.8	0.038731322	15.99	0.619313836
19	0.62818	34.8	0.018051149	15.99	0.288637879
20	0.53014	34.8	0.015233908	15.99	0.24359019
21	1.5102	34.8	0.043396552	15.99	0.693910862
22	0.94754	34.8	0.027228161	15.99	0.435378293
23	0.47001	34.8	0.013506034	15.99	0.215961491
24	3.51168	34.8	0.100910345	15.99	1.613556414
25	0.32476	34.8	0.009332184	15.99	0.149221621
26	2.84909	34.8	0.081870402	15.99	1.309107733
27	0.80261	34.8	0.023063506	15.99	0.368785457
28	2.92466	34.8	0.084041954	15.99	1.343830845
TOTAL	79.10784				36.34868855

4.9.8. Ruta 8 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 8 propuesta fue de 56.34 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/25.95 y se muestra en la tabla 59.

Tabla 59.

Costo del Recorrido de la Ruta 8

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	5.76738	34.8	0.16572931	15.99	2.650011672
2	0.87674	34.8	0.025193678	15.99	0.402846914
3	3.37597	34.8	0.097010632	15.99	1.551200009
4	1.68448	34.8	0.048404598	15.99	0.773989517
5	2.95902	34.8	0.08502931	15.99	1.359618672
6	1.48552	34.8	0.042687356	15.99	0.682570828
7	0.7174	34.8	0.020614943	15.99	0.329632931
8	3.33039	34.8	0.095700862	15.99	1.530256784
9	3.71062	34.8	0.106627011	15.99	1.704965914
10	1.41821	34.8	0.040753161	15.99	0.651643043
11	1.32084	34.8	0.037955172	15.99	0.606903207
12	1.36769	34.8	0.039301437	15.99	0.628429974

13	6.29123	34.8	0.180782471	15.99	2.890711716
14	0.05186	34.8	0.00149023	15.99	0.023828776
15	1.16821	34.8	0.033569253	15.99	0.536772353
16	1.10659	34.8	0.031798563	15.99	0.508459026
17	0.48919	34.8	0.014057184	15.99	0.224774371
18	2.25331	34.8	0.064750287	15.99	1.035357095
19	1.43497	34.8	0.04123477	15.99	0.659343974
20	1.13007	34.8	0.032473276	15.99	0.519247681
21	2.52129	34.8	0.072450862	15.99	1.158489284
22	1.04718	34.8	0.030091379	15.99	0.481161155
23	1.55387	34.8	0.044651437	15.99	0.713976474
24	2.70899	34.8	0.07784454	15.99	1.244734198
25	0.50453	34.8	0.014497989	15.99	0.231822836
26	0.20622	34.8	0.005925862	15.99	0.094754534
27	1.08058	34.8	0.031051149	15.99	0.496507879
28	0.18176	34.8	0.005222989	15.99	0.083515586
29	4.59109	35.8	0.128242737	16.99	2.178844109
TOTAL	56.3352				25.95437051

4.9.9. Ruta 9 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 9 propuesta fue de 58.97 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/27.09 y se muestra en la tabla 60.

Tabla 60.

Costo del Recorrido de la Ruta 9

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	2.15769	34.8	0.062002586	15.99	0.991421353
2	0.45199	34.8	0.012988218	15.99	0.207681612
3	2.16834	34.8	0.062308621	15.99	0.996314845
4	1.53718	34.8	0.044171839	15.99	0.706307707
5	1.6522	34.8	0.047477011	15.99	0.759157414
6	0.65825	34.8	0.01891523	15.99	0.302454526
7	0.56191	34.8	0.016146839	15.99	0.258187957
8	1.32132	34.8	0.037968966	15.99	0.607123759
9	0.4342	34.8	0.012477011	15.99	0.199507414

10	0.87954	34.8	0.025274138	15.99	0.404133466
11	1.20766	34.8	0.034702874	15.99	0.554898948
12	0.85796	34.8	0.024654023	15.99	0.394217828
13	1.18668	34.8	0.0341	15.99	0.545259
14	5.66346	34.8	0.162743103	15.99	2.602262224
15	1.86884	34.8	0.053702299	15.99	0.858699759
16	6.10371	34.8	0.175393966	15.99	2.804549509
17	1.42155	34.8	0.040849138	15.99	0.653177716
18	2.32245	34.8	0.066737069	15.99	1.067125733
19	1.74846	34.8	0.050243103	15.99	0.803387224
20	2.17077	34.8	0.062378448	15.99	0.997431388
21	2.36971	34.8	0.068095115	15.99	1.088840888
22	0.94661	34.8	0.027201437	15.99	0.434950974
23	0.32909	34.8	0.009456609	15.99	0.151211181
24	1.47568	34.8	0.042404598	15.99	0.678049517
25	1.01941	34.8	0.029293391	15.99	0.468401319
26	0.77332	34.8	0.022221839	15.99	0.355327207
27	0.28295	34.8	0.008130747	15.99	0.130010647
28	1.15993	34.8	0.033331322	15.99	0.532967836
29	4.04644	34.8	0.116277011	15.99	1.859269414
30	10.19402	34.8	0.292931609	15.99	4.683976431
TOTAL	58.97132				27.09630479

4.9.10. Ruta 10 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 10 propuesta fue de 41.39 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/19.02 y se muestra en la tabla 61.

Tabla 61.

Costo del Recorrido de la Ruta 10

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	1.84847	34.8	0.053116954	15.99	0.849340095
2	1.54824	34.8	0.044489655	15.99	0.711389586
3	0.94461	34.8	0.027143966	15.99	0.434032009
4	0.9608	34.8	0.027609195	15.99	0.441471034
5	0.99324	34.8	0.028541379	15.99	0.456376655

6	1.89412	34.8	0.054428736	15.99	0.870315483
7	1.19557	34.8	0.03435546	15.99	0.549343802
8	3.0354	34.8	0.087224138	15.99	1.394713966
9	0.55042	34.8	0.015816667	15.99	0.2529085
10	1.45107	34.8	0.041697414	15.99	0.666741647
11	4.42329	34.8	0.127106034	15.99	2.032425491
12	1.75352	34.8	0.050388506	15.99	0.805712207
13	4.16491	34.8	0.119681322	15.99	1.913704336
14	3.92779	34.8	0.112867529	15.99	1.804751784
15	0.46338	34.8	0.013315517	15.99	0.212915121
16	0.84984	34.8	0.02442069	15.99	0.390486828
17	3.40697	34.8	0.097901437	15.99	1.565443974
18	0.29806	34.8	0.008564943	15.99	0.136953431
19	1.7682	34.8	0.050810345	15.99	0.812457414
20	0.84149	34.8	0.024180747	15.99	0.386650147
21	1.00812	34.8	0.028968966	15.99	0.463213759
22	0.70395	34.8	0.020228448	15.99	0.323452888
23	0.38702	34.8	0.011121264	15.99	0.177829017
24	0.83669	34.8	0.024042816	15.99	0.384444629
25	2.13192	34.8	0.061262069	15.99	0.979580483
TOTAL	41.38709				19.01665428

4.9.11. Ruta 11 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 11 propuesta fue de 67.09 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/30.83 y se muestra en la tabla 62.

Tabla 62.

Costo del Recorrido de la Ruta 11

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	2.34028	34.8	0.067249425	15.99	1.07531831
2	2.65475	34.8	0.07628592	15.99	1.219811853
3	0.91036	34.8	0.02615977	15.99	0.418294724
4	1.79299	34.8	0.051522701	15.99	0.823847991
5	1.24933	34.8	0.035900287	15.99	0.574045595
6	1.07786	34.8	0.030972989	15.99	0.495258086

7	1.76718	34.8	0.050781034	15.99	0.811988741
8	1.60138	34.8	0.046016667	15.99	0.7358065
9	0.86703	34.8	0.024914655	15.99	0.398385336
10	10.54434	34.8	0.302998276	15.99	4.844942431
11	2.54467	34.8	0.073122701	15.99	1.169231991
12	7.63906	34.8	0.219513218	15.99	3.510016362
13	5.68631	34.8	0.163399713	15.99	2.612761405
14	2.43864	34.8	0.070075862	15.99	1.120513034
15	0.25217	34.8	0.007246264	15.99	0.115867767
16	3.04351	34.8	0.087457184	15.99	1.398440371
17	0.80011	34.8	0.022991667	15.99	0.36763675
18	1.43946	34.8	0.041363793	15.99	0.661407052
19	2.86703	34.8	0.08238592	15.99	1.317350853
20	0.90708	34.8	0.026065517	15.99	0.416787621
21	0.64184	34.8	0.018443678	15.99	0.294914414
22	2.02697	34.8	0.058246264	15.99	0.931357767
23	0.50944	34.8	0.01463908	15.99	0.234078897
24	2.42816	34.8	0.069774713	15.99	1.115697655
25	0.95903	34.8	0.027558333	15.99	0.44065775
26	1.26078	34.8	0.03622931	15.99	0.579306672
27	1.43318	34.8	0.041183333	15.99	0.6585215
28	0.65514	34.8	0.018825862	15.99	0.301025534
29	4.7529	34.8	0.136577586	15.99	2.183875603
TOTAL	67.09098				30.82714857

4.9.12. Ruta 12 Propuesta

La distancia recorrida de la ruta 12 propuesta fue de 48.31 kilómetros y el costo del recorrido fue de S/22.29 y se muestra en la tabla 63.

Tabla 63.

Costo del Recorrido de la Ruta 12

Recorrido	Distancia Recorrida (Km)	Rendimiento Del Vehículo	Gal/Distancia Recorrida	Precio Gasolina Premium	Costo Por Recorrido
1	5.51056	34.8	0.158349425	15.99	2.53200731
2	0.3685	34.8	0.01058908	15.99	0.169319397
3	0.77236	34.8	0.022194253	15.99	0.354886103

4	3.78044	34.8	0.108633333	15.99	1.737047
5	1.93286	34.8	0.055541954	15.99	0.888115845
6	2.1465	34.8	0.061681034	15.99	0.986279741
7	1.17848	34.8	0.033864368	15.99	0.541491241
8	1.23874	34.8	0.035595977	15.99	0.569179672
9	1.57764	34.8	0.045334483	15.99	0.724898379
10	1.68044	34.8	0.048288506	15.99	0.772133207
11	1.85682	34.8	0.053356897	15.99	0.853176776
12	0.46247	34.8	0.013289368	15.99	0.212496991
13	2.73045	34.8	0.078461207	15.99	1.254594698
14	0.74269	34.8	0.021341667	15.99	0.34125325
15	0.19711	34.8	0.00566408	15.99	0.090568647
16	2.07414	34.8	0.059601724	15.99	0.953031569
17	0.32472	34.8	0.009331034	15.99	0.149203241
18	1.50973	34.8	0.043383046	15.99	0.693694905
19	1.16807	34.8	0.03356523	15.99	0.536708026
20	2.0506	34.8	0.058925287	15.99	0.942215345
21	0.22203	34.8	0.006380172	15.99	0.102018957
22	1.55867	34.8	0.044789368	15.99	0.716181991
23	0.37681	34.8	0.010827874	15.99	0.173137698
24	0.48073	34.8	0.01381408	15.99	0.220887147
25	0.72928	34.8	0.020956322	15.99	0.335091586
26	1.67486	34.8	0.048128161	15.99	0.769569293
27	0.87126	34.8	0.025036207	15.99	0.400328948
28	1.21745	34.8	0.034984195	15.99	0.559397284
29	0.61544	34.8	0.017685057	15.99	0.282784069
30	0.96572	34.8	0.027750575	15.99	0.44373169
31	6.28841	35.8	0.175653911	16.99	2.984359941
TOTAL	48.30398				22.28978995

4.9.13. Resumen de Distancias Recorridas y Costos de Transporte Propuestos

La situación de las operaciones logísticas de la empresa después de la propuesta se detalla en la tabla 64, mostrando los pedidos subcontratados, las distancias recorridas y el costo total de transporte representado por cada ruta mostrada en los puntos anteriores y las rutas pendientes propuestas, es decir de las rutas correspondientes desde el día 7 al día 31.

Tabla 64.

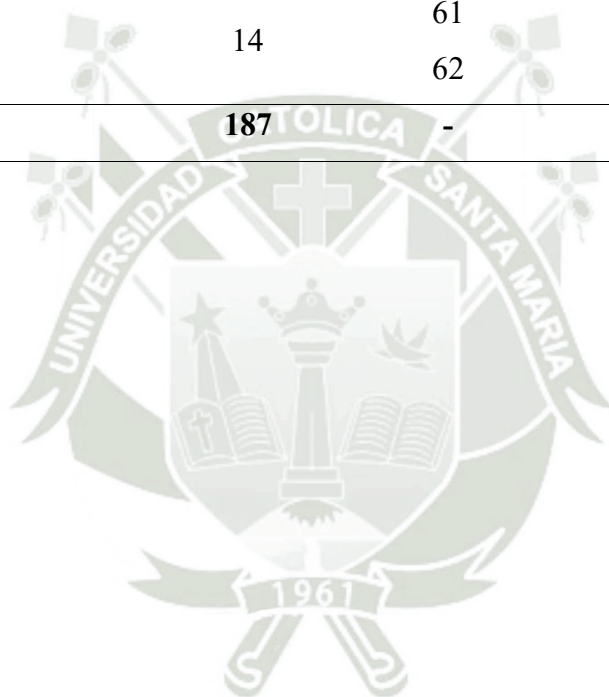
Distancias Recorridas y Costos de Transporte Propuestos

Día	Demanda de Pedidos	Pedidos No Despachados en la fecha programada	Pedidos Subcontratados	Ruta	Pedidos Despachados	Distancia Recorrida Total (Km)	Costo De Transporte (S/.)
1	61	6	0	1	32	64.97	S/ 29.99
				2	28	39.98	S/ 18.46
2	81	7	27	3	27	58.23	S/ 26.75
				4	26	55.92	S/ 24.31
				5	29	70.8	S/ 32.73
3	65	0	15	6	28	47.3	S/ 21.73
				7	27	71.11	S/ 35.35
4	65	10	0	8	28	56.34	S/ 25.95
				9	29	58.97	S/ 27.09
5	57	0	14	10	24	41.39	S/ 19.02
				11	28	67.09	S/ 30.83
6	70	0	12	12	30	48.31	S/ 22.29
				13	28	68.43	S/ 31.44
7	58	1	0	14	29	67.93	S/ 31.21
				15	24	84.69	S/ 38.91

				16	29	54.68	S/ 25.12
				17	30	47.72	S/ 21.93
9	60	0	14	18	16	41.94	S/ 19.27
				19	28	61.43	S/ 28.23
10	55	0	0	20	27	35.81	S/ 16.45
				21	29	76.02	S/ 34.93
11	55	0	0	22	26	37.38	S/ 17.18
				23	29	55.45	S/ 25.48
12	54	0	0	24	25	53.99	S/ 24.81
				25	29	90.58	S/ 41.62
13	53	0	0	26	24	49.81	S/ 22.89
				27	16	52.48	S/ 24.11
14	61	0	17	28	28	44.88	S/ 20.62
				29	28	72.87	S/ 33.48
15	56	0	0	30	28	44.26	S/ 20.34
				31	23	79.3	S/ 36.44
16	53	0	0	32	30	56.38	S/ 25.91
				33	27	75.65	S/ 34.76
17	57	4	0	34	26	49.52	S/ 22.75
				35	30	71.59	S/ 32.89
18	57	7	0	36	24	53.7	S/ 24.67

19	64	1	14	37	27	79.56	S/ 36.56
				38	29	64.77	S/ 29.76
20	45	0	0	39	29	56.99	S/ 26.19
				40	17	47.16	S/ 21.67
21	58	0	12	41	18	54.35	S/ 24.97
				42	28	45.73	S/ 21.01
22	52	0	0	43	24	80.5	S/ 36.99
				44	28	60.91	S/ 27.99
23	60	3	0	45	28	70.64	S/ 32.46
				46	29	64.76	S/ 29.76
24	54	0	0	47	28	83.14	S/ 38.20
				48	29	61.82	S/ 28.41
25	59	8	0	49	23	62.99	S/ 28.94
				50	28	46.36	S/ 21.30
26	56	0	14	51	23	57.38	S/ 26.37
				52	27	41.07	S/ 18.87
27	55	0	0	53	28	72.62	S/ 33.37
				54	27	57.66	S/ 26.49
28	62	0	22	55	20	51.96	S/ 23.87
				56	20	50.83	S/ 23.36
29	74	1	12	57	31	72.66	S/ 33.39

				58	30	59.86	S/ 27.50
30	63	8	0	59	28	73.57	S/ 33.80
				60	28	49.33	S/ 22.67
31	62	0	14	61	26	66.66	S/ 30.63
				62	30	62.47	S/ 28.70
TOTAL	1834	56	187	-	1652	3702.65	S/ 1,703.17



4.10. Data Histórica de la Demanda de Pedidos

El análisis de la data histórica de pedidos se realizó con el propósito de comprender el comportamiento real de la demanda que enfrenta la empresa y evaluar si las ineficiencias operativas observadas responden a un problema circunstancial o a una tendencia estructural. La revisión de los registros de los últimos periodos permitió identificar variaciones, picos de actividad y patrones de crecimiento que influyen directamente en la capacidad de respuesta de la flota propia, brindando un marco cuantitativo para interpretar la magnitud y recurrencia del desbalance entre la demanda diaria y la capacidad operativa disponible.

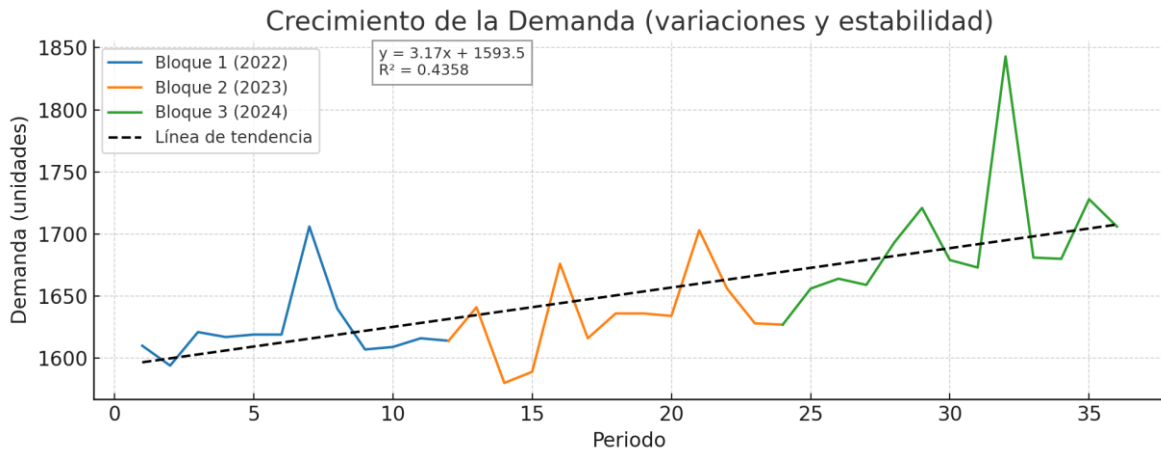
Tabla 65.

Demanda histórica

Año	Periodo	Pedidos	Año	Periodo	Pedidos
2022	1	1610	2023	1	1641
	2	1594		2	1580
	3	1621		3	1589
	4	1617		4	1676
	5	1619		5	1616
	6	1619		6	1636
	7	1706		7	1636
	8	1640		8	1634
	9	1607		9	1703
	10	1609		10	1656
	11	1616		11	1628
	12	1614		12	1627
2024	1	1656			
	2	1664			
	3	1659			
	4	1693			
	5	1721			
	6	1679			
	7	1673			
	8	1843			
	9	1681			
	10	1680			
	11	1728			
	12	1706			

Figura 70.

Gráfico de la Demanda Histórica



La línea de tendencia obtenida refleja el comportamiento general de la demanda a lo largo del tiempo, mostrando una trayectoria ascendente que sugiere un incremento progresivo en el volumen de pedidos. La pendiente positiva de la recta, indica un crecimiento moderado y sostenido en la demanda mensual, lo que evidencia que, en promedio, los pedidos aumentan ligeramente con cada periodo analizado.

En cuanto al coeficiente de determinación ($R^2 = 0.4358$), este valor muestra que la relación entre el tiempo y la demanda no es completamente lineal, sino que presenta variaciones propias de la dinámica operativa del servicio de última milla. Dichas fluctuaciones se asocian a factores externos como la estacionalidad, los picos de entrega o los ajustes en la capacidad operativa. A pesar de ello, la tendencia ascendente sigue siendo válida como indicador de un crecimiento paulatino, reforzando la necesidad de optimizar la gestión de recursos logísticos para sostener la eficiencia frente a incrementos graduales en la carga de trabajo.

A partir de esta revisión histórica, se aplicaron métodos de pronóstico con el propósito de estimar cómo evolucionará la cantidad de pedidos en los próximos periodos, buscando no solamente anticipar valores futuros, sino comprender si la demanda presenta una tendencia estable o irregular, y cómo esto puede afectar la capacidad actual y futura de la flota, la planificación de rutas y los recursos disponibles.

Se evaluaron 3 métodos de pronóstico más utilizados en la planificación de demanda: el Promedio Móvil Simple, la Suavización Exponencial y el Promedio Móvil Ponderado, con el objetivo de identificar cuál ofrece la mayor precisión en la estimación de la demanda proyectada para el año 2025. El análisis comparativo se realizó en la tabla 66 a partir de los indicadores que permiten evaluar la magnitud del error, su dispersión, el porcentaje de desviación, y se muestran a continuación:

Desviación Absoluta Media (MAD).

Error Cuadrático Medio (MSE)

Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE)

Tabla 66.

Comparativa de Métricas

Método	MAD	MSE	MAPE (%)
Promedio Móvil Simple (n=3)	29.83	1871.69	177
Suavización Exponencial ($\alpha=0.5$)	29.83	1940.54	177
Promedio Móvil Ponderado (0.5, 0.3, 0.2)	30.68	2024.72	182

El estudio comparativo de los métodos de pronóstico implementados facilitó la valoración del grado de exactitud de cada modelo basándose en los indicadores estadísticos MAD, MSE y MAPE. Los hallazgos indican que el Promedio Móvil Simple ($n = 3$) y la Suavización Exponencial con $\alpha = 0.5$ lograron un MAD de 29.83 y un MAPE del 177 %, reflejando un rendimiento comparable en cuanto a error promedio. Sin embargo, la suavización exponencial presenta una ventaja extra al ser un enfoque adaptativo que da mayor importancia a los datos más recientes, lo que la transforma en una herramienta más versátil frente a cambios de corto plazo en la demanda.

Respecto al Error Cuadrático Medio (MSE), se nota un valor un poco más alto en el método de suavización exponencial (1940.54) en comparación con el promedio móvil simple (1871.69), lo que indica que hay algunos periodos con variaciones más marcadas a causa de los picos de demanda. No obstante, esta discrepancia no es relevante y puede verse como un resultado anticipado del ajuste más delicado del modelo exponencial. En cambio, el Promedio Móvil Ponderado mostró los índices más altos en todas las situaciones, lo que

sugiere una menor habilidad para ajustarse a la irregularidad de los datos registrados en el comportamiento de los pedidos diarios.

En términos generales, los hallazgos respaldan que el modelo de Suavización Exponencial con $\alpha = 0.5$ es una elección apropiada para la serie estudiada, ya que combina la estabilidad del pronóstico con la habilidad de adaptarse a cambios bruscos en la demanda. Un valor intermedio de α suaviza las variaciones extremas sin comprometer la sensibilidad a los cambios recientes, proporcionando una predicción más ajustada para la planificación operativa y la distribución de recursos logísticos. Por lo tanto, este modelo es el más adecuado para anticipar la demanda de pedidos en la empresa, sirviendo como fundamento para mejorar la planificación de las rutas y el uso de la flota. A continuación, se muestra el pronóstico en la tabla 67

Tabla 67.

Pronostico con el método de Suavización Exponencial ($\alpha = 0.5$)

Año	Periodo	Y_real	Pronóstico	Error (Y - Pron)	Error abs.	Error % abs.	Error abs. Cuadrado
2022	1	1610	1604	-	-	-	-
2022	2	1594	1607	-13.00	13.00	82%	169.00
2022	3	1621	1601	20.50	20.50	126%	420.25
2022	4	1617	1611	6.25	6.25	39%	39.06
2022	5	1619	1614	5.13	5.13	32%	26.27
2022	6	1619	1616	2.56	2.56	16%	6.57
2022	7	1706	1618	88.28	88.28	517%	7793.58
2022	8	1640	1662	-21.86	21.86	133%	477.83
2022	9	1607	1651	-43.93	43.93	273%	1929.82
2022	10	1609	1629	-19.96	19.96	124%	398.59
2022	11	1616	1619	-2.98	2.98	18%	8.89
2022	12	1614	1617	-3.49	3.49	22%	12.19
2023	13	1641	1616	25.25	25.25	154%	637.78
2023	14	1580	1628	-48.37	48.37	306%	2339.93
2023	15	1589	1604	-15.19	15.19	96%	230.63
2023	16	1676	1597	79.41	79.41	474%	6305.44
2023	17	1616	1636	-20.30	20.30	126%	411.95

2023	18	1636	1626	9.85	9.85	60%	97.06
2023	19	1636	1631	4.93	4.93	30%	24.26
2023	20	1634	1634	0.46	0.46	3%	0.21
2023	21	1703	1634	69.23	69.23	407%	4793.00
2023	22	1656	1668	-12.38	12.38	75%	153.37
2023	23	1628	1662	-34.19	34.19	210%	1169.10
2023	24	1627	1645	-18.10	18.10	111%	327.47
2024	25	1656	1636	19.95	19.95	120%	398.08
2024	26	1664	1646	17.98	17.98	108%	323.14
2024	27	1659	1655	3.99	3.99	24%	15.90
2024	28	1693	1657	35.99	35.99	213%	1295.57
2024	29	1721	1675	46.00	46.00	267%	2115.72
2024	30	1679	1698	-19.00	19.00	113%	361.06
2024	31	1673	1689	-15.50	15.50	93%	240.27
2024	32	1843	1681	162.25	162.25	880%	26324.94
2024	33	1681	1762	-80.88	80.88	481%	6540.80
2024	34	1680	1721	-41.44	41.44	247%	1717.07
2024	35	1728	1701	27.28	27.28	158%	744.26
2024	36	1706	1714	-8.36	8.36	49%	69.88
2025	37	1714.36	1710	-	-	-	-
2025	38	1710.18	1712	-	-	-	-
2025	39	1712.27	1711	-	-	-	-
2025	40	1711.22	1712	-	-	-	-
2025	41	1711.75	1711	-	-	-	-
2025	42	1711.49	1712	-	-	-	-
2025	43	1711.62	1712	-	-	-	-
2025	44	1711.55	1712	-	-	-	-
2025	45	1711.58	1712	-	-	-	-
2025	46	1711.57	1712	-	-	-	-
2025	47	1711.58	1712	-	-	-	-
2025	48		1712	-	-	-	-



CAPÍTULO V

5. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la comparación entre la situación actual de la empresa y la propuesta del modelo de optimización de rutas de Clarke and Wright. Para la evaluación se consideraron cuatro indicadores clave: pedidos despachados, pedidos no despachados, distancias recorridas y costos de transporte, tanto en el escenario actual como en el optimizado. Estos indicadores permiten medir con mayor precisión la capacidad de la empresa para atender la demanda utilizando la menor cantidad de recursos posibles y, en consecuencia, determinar la mejora alcanzada en términos de eficiencia, con la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = 1 - \frac{Indicador Propuesto}{Indicador Actual} \times 100$$

En esta fórmula, el indicador actual es el valor que representa el desempeño de la empresa antes del modelo de optimización, y el indicador propuesto representa el objetivo ideal después del modelo. Los resultados obtenidos para la mejora de la eficiencia deben ser concretos e interpretados, por ejemplo, si el porcentaje es mayor a 0%, indica una mejora real luego de proponer el modelo de optimización, mientras que un valor igual o cercano al 0% no representa ningún margen de mejora en donde la propuesta no tiene ningún impacto. Por último, si el porcentaje es menor, se demuestra una pérdida de eficiencia considerando que el modelo propuesto es peor que la operación actual.

5.1. Pedidos Despachados Actuales vs Propuestos con flota propia

Aunque el número de pedidos entregados actuales y los entregados con la propuesta no representan una variación significativa en el análisis del estudio como se muestra en la tabla 68, la propuesta demuestra que la optimización de rutas mantuvo la capacidad de entregas comparada con la flota vehicular propia de la empresa.

Tabla 68.*Pedidos Entregados Actuales vs Pedidos Entregados con la Propuesta*

Ruta	Pedidos Despachados	Pedidos Despachados con la
	Actuales	Propuesta
1	30	32
2	27	28
3	29	27
4	28	26
5	26	29
6	28	28
7	28	27
8	27	28
9	29	29
10	26	24
11	28	28
12	29	30
13	26	28
14	23	29
15	20	24
16	26	29
17	28	30
18	31	16
19	27	28
20	28	27
21	28	29
22	25	26
23	28	29
24	27	25
25	27	29
26	29	24
27	25	16
28	24	28
29	26	28

30	29	28
31	26	23
32	27	30
33	27	27
34	26	26
35	26	30
36	25	24
37	26	27
38	25	29
39	25	29
40	26	17
41	28	18
42	26	28
43	29	24
44	26	28
45	27	28
46	28	29
47	26	28
48	27	29
49	26	23
50	27	28
51	29	23
52	26	27
53	28	28
54	26	27
55	26	20
56	28	20
57	28	31
58	27	30
59	28	28
60	25	28
61	27	26
62	28	30

TOTAL

1667

1652

$$Eficiencia = 1 - \frac{1652}{1667} \times 100$$

$$Eficiencia = 0.89\%$$

5.2. Pedidos No Despachados Actuales vs Propuestos

La cantidad de pedidos actuales no despachados que se muestra en la tabla 69, se debe a las limitaciones de capacidad de la flota propia de vehiculos, sin embargo, en comparación con la propuesta la reducción es drástica, y esto se debe a la estrategia operativa de subcontratación. La empresa que se está subcontratando exige como mínimo 12 pedidos, y los pedidos que no alcance ese mínimo se consideran no despachados y pasaran automáticamente al siguiente día, definiendo una óptima demanda facilitada por el algoritmo que permite una gestión más eficiente de la capacidad de la flota minimizando los pedidos que quedan sin asignar.

Tabla 69.

Pedidos No Despachados Actuales vs No Despachados Propuestos

Día	Pedidos No Despachados en la fecha programada con la Situación Actual	Pedidos No Despachados en la fecha programada con la Propuesta
	1	9
2	33	7
3	44	7
4	54	10
5	56	0
6	69	0
7	78	10
8	84	0
9	85	0
10	85	5

11	87	0
12	86	0
13	83	1
14	95	0
15	96	0
16	96	0
17	100	0
18	106	7
19	119	0
20	113	0
21	117	0
22	114	0
23	119	0
24	120	0
25	126	0
26	127	0
27	128	0
28	136	0
29	155	0
30	166	8
31	172	0
TOTAL	3058	56

La eficiencia en términos de pedidos no despachados alcanza un 97.67%, lo que significa que el modelo de optimización reduce en gran proporción la cantidad de pedidos que quedaban sin atender o no despachados en la operación actual, representando una enorme mejora en la gestión de estos.

$$Eficiencia = 1 - \frac{56}{3058} \times 100$$

$$Eficiencia = 98.17\%$$

5.3. Distancia Actual vs Propuesta

La propuesta del algoritmo de ahorros de Clarke and Wright generó una reducción significativa en la distancia total recorrida. A continuación, se muestra la tabla 70.

Tabla 70.

Distancia Actual vs Propuesta

Día	Ruta	Actual (km)	Propuesta (km)	Diferencia (km)
Día 1	1	69.84	64.97	4.87
	2	42.98	39.98	3
Día 2	3	59.82	58.23	1.59
	4	56.23	55.92	0.31
Día 3	5	69.63	70.8	-
	6	100.02	47.3	52.72
Día 4	7	118.20	71.11	47.09
	8	112.79	56.34	56.45
Día 5	9	120.02	58.97	61.05
	10	73.30	41.39	31.91
Día 6	11	87.13	67.09	20.04
	12	118.41	48.31	70.1
Día 7	13	77.45	68.43	9.02
	14	111.53	67.93	43.6
Día 8	15	88.70	84.69	4.01
	16	97.16	54.68	42.48
Día 9	17	95.63	47.72	47.91
	18	133.75	41.94	91.81
Día 10	19	123.61	61.43	62.18
	20	130.78	35.81	94.97
Día 11	21	104.56	76.02	28.54
	22	84.18	37.38	46.8
Día 12	23	96.02	55.45	40.57
	24	106.69	53.99	52.7
Día 13	25	135.89	90.58	45.31

	26	53.31	49.81	3.5
Día 14	27	176.27	52.48	123.79
	28	102.35	44.88	57.47
Día 15	29	94.25	72.87	21.38
	30	114.64	44.26	70.38
Día 16	31	99.10	79.3	19.8
	32	96.49	56.38	40.11
Día 17	33	200.20	75.65	124.55
	34	75.14	49.52	25.62
Día 18	35	100.73	71.59	29.14
	36	157.04	53.7	103.34
Día 19	37	123.60	79.56	44.04
	38	110.55	64.77	45.78
Día 20	39	92.41	56.99	35.42
	40	113.77	47.16	66.61
Día 21	41	73.16	54.35	18.81
	42	138.03	45.73	92.3
Día 22	43	131.90	80.5	51.4
	44	156.13	60.91	95.22
Día 23	45	127.07	70.64	56.43
	46	121.83	64.76	57.07
Día 24	47	110.13	83.14	26.99
	48	89.42	61.82	27.6
Día 25	49	101.77	62.99	38.78
	50	86.69	46.36	40.33
Día 26	51	149.36	57.38	91.98
	52	94.54	41.07	53.47
Día 27	53	70.69	72.62	-
	54	106.64	57.66	48.98
Día 28	55	77.39	51.96	25.43
	56	116.13	50.83	65.3
Día 29	57	91.49	72.66	18.83
	58	115.73	59.86	55.87

Día 30	59	192.99	73.57	119.42
	60	93.95	49.33	44.62
Día 31	61	71.36	66.66	4.7
	62	81.59	62.47	19.12
TOTAL		6522.17	3702.65	2819.52

En la operación actual, para cumplir con la distribución de pedidos se recorren 6522.17 kilómetros. Con la propuesta, la distancia se reduce a 4109.05 kilómetros, generando una mejora en la eficiencia en 37% en el uso de la distancia.

$$Eficiencia = 1 - \frac{3702.65}{6522.17} \times 100$$

$$Eficiencia = 43\%$$

5.4. Costo de Combustible Actual vs Propuesto

La propuesta del algoritmo de ahorros de Clarke and Wright generó una reducción significativa en el costo de combustible en donde se mantiene el rendimiento de ambos vehículos en un 34.8 km/gal y el costo del combustible en S/.15.99. A continuación se muestra la tabla 71.

Tabla 71.

Costo de Combustible Actual vs Propuesto

Día	Ruta	Actual (S/.)	Propuesta (S/.)	Diferencia (S/.)
Día 1	1	S/ 32.09	S/ 29.99	S/ 2.10
	2	S/ 19.75	S/ 18.46	S/ 1.29
Día 2	3	S/ 27.49	S/ 26.75	S/ 0.74
	4	S/ 25.84	S/ 24.31	S/ 1.53
Día 3	5	S/ 31.99	S/ 32.73	-
	6	S/ 45.96	S/ 21.73	S/ 24.23
Día 4	7	S/ 54.31	S/ 35.35	S/ 18.96
	8	S/ 51.82	S/ 25.95	S/ 25.87

Día 5	9	S/ 55.15	S/ 27.09	S/ 28.06
	10	S/ 33.68	S/ 19.02	S/ 14.66
Día 6	11	S/ 40.04	S/ 30.83	S/ 9.21
	12	S/ 54.41	S/ 22.29	S/ 32.12
Día 7	13	S/ 35.59	S/ 31.44	S/ 4.15
	14	S/ 51.25	S/ 31.21	S/ 20.04
Día 8	15	S/ 40.76	S/ 38.91	S/ 1.85
	16	S/ 44.64	S/ 25.12	S/ 19.52
Día 9	17	S/ 43.94	S/ 21.93	S/ 22.01
	18	S/ 61.45	S/ 19.27	S/ 42.18
Día 10	19	S/ 56.80	S/ 28.23	S/ 28.57
	20	S/ 60.09	S/ 16.45	S/ 43.64
Día 11	21	S/ 48.04	S/ 34.93	S/ 13.11
	22	S/ 38.68	S/ 17.18	S/ 21.50
Día 12	23	S/ 44.12	S/ 25.48	S/ 18.64
	24	S/ 49.02	S/ 24.81	S/ 24.21
Día 13	25	S/ 62.44	S/ 41.62	S/ 20.82
	26	S/ 24.49	S/ 22.89	S/ 1.60
Día 14	27	S/ 80.99	S/ 24.11	S/ 56.88
	28	S/ 47.03	S/ 20.62	S/ 26.41
Día 15	29	S/ 43.30	S/ 33.48	S/ 9.82
	30	S/ 52.68	S/ 20.34	S/ 32.34
Día 16	31	S/ 45.54	S/ 36.44	S/ 9.10
	32	S/ 44.34	S/ 25.91	S/ 18.43
Día 17	33	S/ 91.99	S/ 34.76	S/ 57.23
	34	S/ 34.53	S/ 22.75	S/ 11.78
Día 18	35	S/ 46.28	S/ 32.89	S/ 13.39
	36	S/ 72.16	S/ 24.67	S/ 47.49
Día 19	37	S/ 56.79	S/ 36.56	S/ 20.23
	38	S/ 50.80	S/ 29.76	S/ 21.04
Día 20	39	S/ 42.46	S/ 26.19	S/ 16.27
	40	S/ 52.28	S/ 21.67	S/ 30.61
Día 21	41	S/ 33.61	S/ 24.97	S/ 8.64

	42	S/ 63.42	S/ 21.01	S/ 42.41
Día 22	43	S/ 60.60	S/ 36.99	S/ 23.61
	44	S/ 71.74	S/ 27.99	S/ 43.75
Día 23	45	S/ 58.38	S/ 32.46	S/ 25.92
	46	S/ 55.98	S/ 29.76	S/ 26.22
Día 24	47	S/ 50.60	S/ 38.20	S/ 12.40
	48	S/ 41.09	S/ 28.41	S/ 12.68
Día 25	49	S/ 46.76	S/ 28.94	S/ 17.82
	50	S/ 39.83	S/ 21.30	S/ 18.53
Día 26	51	S/ 68.63	S/ 26.37	S/ 42.26
	52	S/ 43.44	S/ 18.87	S/ 24.57
Día 27	53	S/ 32.48	S/ 33.37	-
	54	S/ 49.00	S/ 26.49	S/ 22.51
Día 28	55	S/ 35.56	S/ 23.87	S/ 11.69
	56	S/ 53.36	S/ 23.36	S/ 30.00
Día 29	57	S/ 42.04	S/ 33.39	S/ 8.65
	58	S/ 53.18	S/ 27.50	S/ 25.68
Día 30	59	S/ 88.67	S/ 33.80	S/ 54.87
	60	S/ 43.17	S/ 22.67	S/ 20.50
Día 31	61	S/ 32.79	S/ 30.63	S/ 2.16
	62	S/ 37.49	S/ 28.70	S/ 8.79
TOTAL		S/ 2,996.82	S/ 1,703.17	S/ 1,293.65

$$Eficiencia = 1 - \frac{1703.17}{2996.82} \times 100$$

$$Eficiencia = 43\%$$



CAPÍTULO VI

6. Evaluación Económica

6.1. Costo de los Pedidos Subcontratados

Según la tabla 72 la propuesta genero un total de 187 pedidos subcontratados, a un costo unitario de S/.7 lo que representa un total de S/.1,309.00, demostrando la capacidad del algoritmo para identificar y cuantificar las rutas que, por su naturaleza, son más eficientes de subcontratar, proporcionando una base clara para la toma de decisiones económicas en la empresa.

Tabla 72.

Costo de los Pedidos Subcontratados

Día	Pedidos Subcontratados	Costo de los Pedidos Subcontratados (S/.)
1	0	S/ -
2	27	S/ 189.00
3	15	S/ 105.00
4	0	S/ -
5	14	S/ 98.00
6	12	S/ 84.00
7	0	S/ -
8	0	S/ -
9	14	S/ 98.00
10	0	S/ -
11	0	S/ -
12	0	S/ -
13	0	S/ -
14	17	S/ 119.00
15	0	S/ -
16	0	S/ -
17	0	S/ -
18	0	S/ -
19	14	S/ 98.00

20	0	S/	-
21	12	S/	84.00
22	0	S/	-
23	0	S/	-
24	0	S/	-
25	0	S/	-
26	14	S/	98.00
27	0	S/	-
28	22	S/	154.00
29	12	S/	84.00
30	0	S/	-
31	14	S/	98.00
TOTAL	187	S/	1,309.00

6.2. Costos de la Inversión

6.2.1. Requerimiento de la Implementación del Algoritmo

El requerimiento para la implementación se centra en los activos tangibles y el talento humano necesarios para llevar a cabo la propuesta de optimización. La tabla 73 detalla el equipo tecnológico y los recursos humanos que se requieren para implementar el algoritmo de ahorros de Clarke and Wright de manera exitosa.

Tabla 73.

Requerimientos para la Implementación

Definición	Concepto
Laptop NACLUD -M17S	Rendimiento eficiente: equipado con memoria DDR3 de alta velocidad de 4 GB, almacenamiento SSD de 128 GB y un rendimiento más rápido, suave y eficiente de energía, este portátil puede manejar fácilmente tareas complejas. Admite la extensión de la tarjeta TF de 512 GB y el SSD de 512 GB se puede reemplazar con un SSD máximo de 1 TB.
Licencia y Almacenamiento	Permite programar, depurar y ejecutar el algoritmo de optimización. Su adquisición o instalación es crítica para garantizar compatibilidad con librerías como pandas, numpy, openrouteservice, etc.
Asistente de Programación de Rutas	Un asistente de programación de rutas es el responsable de organizar, planificar y secuenciar las entregas diarias considerando direcciones, distancias, capacidades y prioridades, con el fin de reducir costos operativos.
Capacitación/Inducción	La inducción del algoritmo explica la función de la aplicación, desde la visualización de la ruta, hasta el registro de las entregas, en donde el objetivo principal debe presentarse de forma clara y sencilla, y de esta forma permita comprender y utilizar la nueva herramienta.
Desarrollo De App Móvil	La interfaz y el desarrollo de la app móvil tiene el principal objetivo de facilitar la interacción con los auxiliares encargados, por lo que el criterio de las tecnologías o lenguajes de programación, estarán a cargo del técnico de sistemas.

6.2.2. Inversión Tangible Fija

Las inversiones tangibles fijas representan activos y bienes físicos obtenidos con la finalidad de invertirlos en la implementación del algoritmo. La tabla 74 presenta como único costo de inversión una laptop considerado como un recurso tangible necesario para el desarrollo de la propuesta.

Tabla 74.

Equipos

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Laptop NACLUD - M17S	1	Unidad	S/ 2,999.99	S/ 2,999.99

6.2.3. Inversión Intangible

La inversión intangible desglosa los costos asociados a la implementación del proyecto que no corresponden a activos físicos, y se muestra en la tabla 75.

Tabla 75.

Inversión Intangible

Inversión Intangible	COSTO TOTAL S/.
Licencia y Almacenamiento	S/500
Asistente de Programación de Rutas	S/ 1,130
Inducción (Capacitación)	S/ 2000

6.2.4. Financiamiento

El análisis financiero del proyecto requiere la definición de una tasa de descuento que represente adecuadamente el costo de oportunidad del capital en el contexto peruano. Para ello se adoptó una tasa del 12%, construida a partir de la fórmula del Costo de Oportunidad del Capital (COK), expresado como:

$$COK = r_f + \pi + R$$

$$COK = 5.72\% + 2.28\% + 4\%$$

Siendo:

rf = tasa libre de riesgo

π = prima por inflación

R = prima del riesgo país y del proyecto

En primer lugar, la tasa libre de riesgo (rf) se estimó tomando como referencia el rendimiento del bono soberano peruano a 10 años, cuyo valor se sitúa alrededor de 5.71% según datos de Trading Economics (2025), ofreciendo un indicador confiable del retorno mínimo que un inversionista obtendría en un activo sin riesgo crediticio dentro del país. En segundo lugar, la prima por inflación (π) se aproximó utilizando las expectativas de inflación a 12 meses publicadas por el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2025), que proyectan un valor cercano a 2.19% para el periodo de octubre 2025, constituyendo un ajuste necesario para preservar el poder adquisitivo del capital durante el horizonte del proyecto. Finalmente, la prima de riesgo del proyecto (R) se estimó en 4 %, tomando como referencia indicadores internacionales y estudios sectoriales actuales. En primer lugar, el riesgo país de Perú asciende a 2.13 %, según Damodaran (2025), lo cual refleja la volatilidad macroeconómica y política inherente al entorno nacional. Por otro lado, según Baldeón, Medina, Gavilanes, y Burbano (2025), la implementación de soluciones de Inteligencia de Negocios con apoyo de inteligencia artificial y análisis de datos requiere inversiones en infraestructura tecnológica, adquisición de licencias de software, capacitación del personal y mantenimiento de sistemas de almacenamiento, lo que supone un riesgo operativo y financiero moderado para las organizaciones. A partir de esta consideración, y dado que en el presente proyecto la inversión se limita al uso de una laptop, la licencia del software, el espacio de almacenamiento y la inducción al personal, se establece una prima de riesgo del 2 % como valor conservador y razonable. Este porcentaje busca cubrir la incertidumbre técnica y operativa derivada de la adopción de tecnologías de análisis y modelado algorítmico, sin generar un impacto financiero significativo sobre el costo total del proyecto.

6.3. Flujo de Caja Incremental

El análisis del flujo de caja incremental se realiza con el propósito de evaluar los efectos económicos directos derivados de la propuesta, considerando exclusivamente aquellos costos y ahorros que varían como consecuencia del proyecto y se muestran en la tabla 77. En este sentido, se excluyen del cálculo los gastos que no presentan cambios significativos

entre el escenario actual y el propuesto, como los costos de mantenimiento vehicular, sueldos del personal operativo o administrativo, y otros valores fijos asociados a la operación regular de la empresa, ya que su inclusión no alteraría la evaluación de la propuesta.

En primer lugar, se incorpora el ahorro mensual de S/ 1,293.65, derivado de la reducción del costo de transporte de la propuesta. Asimismo, se registra un ahorro significativo asociado a las penalidades por pedidos no despachados en la fecha programada, en donde actualmente, la alta gerencia impone internamente una penalidad de S/ 1 por cada pedido no despachado a tiempo. Gracias al modelo propuesto, el número de pedidos no despachados se reduce en 3,002 pedidos mensuales, lo que genera un ahorro directo y cuantificable. Este beneficio operacional responde a una asignación más eficiente de rutas y mayor control sobre la capacidad disponible.

Por otro lado, en el nuevo escenario se contempla la subcontratación de 187 pedidos mensuales, a un costo de S/ 7 por pedido. Este valor se justifica debido a que los proveedores que solicitan el servicio pagan S/ 8 por entrega, dejando un margen neto positivo para la empresa incluso en los casos donde el algoritmo determine que subcontratar es más eficiente que saturar la flota propia. La subcontratación no solo evita la acumulación de pedidos sin atender, sino que permite mantener la continuidad operativa sin perjudicar la rentabilidad. De esta forma, el flujo de caja incremental refleja exclusivamente los ingresos y costos variables relacionados con la operación bajo el nuevo modelo.

Para la estimación del costo laboral del trabajador, se han incorporado los beneficios sociales y aportes obligatorios establecidos por la legislación laboral peruana, con el objetivo de reflejar el costo real que asume el empleador en un escenario de contratación forma. La remuneración básica mensual considerada asciende a S/ 1,130.00, monto que sirve como base de cálculo para los beneficios sociales y aportes correspondientes, conforme al Texto Único Ordenado del Decreto Legislativo N.º 728. En cuanto a los beneficios sociales, se incluyen: la gratificación legal, regulada por la Ley N.º 27735, prorrateada mensualmente (18.17%); la Compensación por Tiempo de Servicios (CTS), según el Decreto Supremo N.º 001-97-TR (9.72%); y las vacaciones anuales, establecidas en el Decreto Legislativo N.º 713, equivalentes al 8.33% de la remuneración mensual.

Asimismo, se consideran los aportes obligatorios del empleador, que comprenden el aporte a EsSalud (9%), el Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo (SCTR), aplicable según la naturaleza de la actividad económica (0.37% referencial), y el Seguro de Vida Ley, obligatorio desde el inicio de la relación laboral (0.50%). Como resultado de la incorporación de estos conceptos, el costo total mensual del trabajador asciende a aproximadamente S/ 1,650, valor que representa el costo laboral completo y que es el monto utilizado para la proyección del flujo de caja incremental del proyecto.



Tabla 76.

Flujo de Caja Incremental Anual

<i>Periodos</i>	0	1	2	3	4	5
<i>Ingresos</i>						
Ahorro en combustible		S/ 15,523.80	S/ 15,523.80	S/ 15,523.80	S/ 15,523.80	S/ 15,523.80
Ahorro en penalidades por pedidos no asignados (S/ 1)		S/ 36,024.00	S/ 36,024.00	S/ 36,024.00	S/ 36,024.00	S/ 36,024.00
<i>Total Ingresos</i>		S/ 51,547.80	S/ 51,547.80	S/ 51,547.80	S/ 51,547.80	S/ 51,547.80
<i>Costos</i>						
Equipos	-S/ 2,999.99					
Licencia y Almacenamiento	-S/ 500.00	-S/ 500.00	-S/ 500.00	-S/ 500.00	-S/ 500.00	
Asistente de Programación de Rutas		-S/ 19,809.80	-S/ 19,809.80	-S/ 19,809.80	-S/ 19,809.80	-S/ 19,809.80
Inducción (Capacitación)	-S/ 2,000.00					
Costo de Subcontratación (S/ 7)		-S/ 15,708.00	-S/ 15,708.00	-S/ 15,708.00	-S/ 15,708.00	-S/ 15,708.00
Depreciación		-S/ 600.00	-S/ 600.00	-S/ 600.00	-S/ 600.00	-S/ 600.00
<i>Total Costos</i>	-S/ 5,499.99	-S/ 30,368.00	-S/ 30,368.00	-S/ 30,368.00	-S/ 30,368.00	-S/ 29,868.00
<i>Total Ingresos - Costos</i>	-S/ 5,499.99	S/ 14,930.00	S/ 14,930.00	S/ 14,930.00	S/ 14,930.00	S/ 15,430.00
Depreciación		S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00
Impuesto a la Renta 30%		-S/ 4,479.00	-S/ 4,479.00	-S/ 4,479.00	-S/ 4,479.00	-S/ 4,629.00
<i>Flujo de Caja</i>	-S/ 5,499.99	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,401.00

6.4. Valor Actual Neto (VAN)

El cálculo del Valor Actual Neto es una métrica financiera fundamental para evaluar la viabilidad del proyecto, en este caso después de una inversión inicial de S/5,499.99, el proyecto genera flujos de caja futuros, a un periodo de 5 años y con una tasa de descuento del 12%.

$$VAN = -Inversión + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{Flujos\ netos}{(1+i)^t}$$

$$VAN = -5,499.99 + \frac{11,051.00}{(1+0.12)^1} + \frac{11,051.00}{(1+0.12)^2} + \frac{11,051.00}{(1+0.12)^3} + \frac{11,051.00}{(1+0.12)^4} + \frac{11,401.00}{(1+0.12)^5}$$

$$VAN = S/ 30,850.44$$

El VAN de S/30,850.44, indica que la propuesta crea valor económico para la empresa y que los ahorros y eficiencias determinadas por el modelo de optimización, superan los costos asociados a su implementación y operación, en donde desde un punto de vista económico, la propuesta es viable y recomendable.

6.5. Tasa Interna de Retorno

Tabla 77.

Tasa Interna de Retorno

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja	-S/ 5,499.99	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,051.00	S/ 11,401.00
TIR	200.16%					

La Tasa Interna de Retorno calculada es de 200.16%, un valor superior a la tasa de descuento empleada de 12%. Esto indica que la rentabilidad interna que genera el proyecto excede en gran medida el rendimiento mínimo requerido por la empresa para aceptar una inversión. En otras palabras, la TIR muestra que, por cada sol invertido, el proyecto tiene el potencial de generar un retorno muy alto en comparación con alternativas de inversión con riesgos similares. La elevada TIR se explica porque la inversión inicial es baja, ya que el

modelo se desarrolla principalmente con herramientas tecnológicas y capacitación, y porque los ahorros operativos son recurrentes y significativos, especialmente por la reducción de penalidades, la disminución del consumo de combustible y la mejor asignación de pedidos entre flota propia y subcontratada.



CONCLUSIONES

Primera: La propuesta del modelo de optimización de rutas permitió mejorar la eficiencia en la distribución de pedidos no despachados en la fecha programada en un 98.17%. igualmente, que en términos de distancia recorrida y costo de combustible se mejoró en un 43%. Además, la evaluación económica demostró la viabilidad del modelo, alcanzando un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/30,850.44 y una Tasa Interna de Retorno superior al costo de oportunidad en un 200.16%, confirmando que la propuesta no solo es operativamente eficiente, sino también rentable a mediano plazo.

Segunda: El diagnóstico de la situación actual de la empresa identificó una utilización ineficiente de la flota propia, presentando 3058 pedidos no despachados durante el mes analizado, generando que el volumen de pedidos supere la capacidad operativa diaria y acumulando cada día, más pedidos, y por lo tanto el incremento de penalidades económicas recurrentes.

Tercera: La investigación demuestra que los problemas de ruteo de vehículos son altamente variables y dependen de factores como las distancias y costos recorridos, cantidad de pedidos, la localización geográfica del cliente y la disponibilidad de flota, resaltando la importancia de contar con modelos flexibles que permitan adaptarse a distintos escenarios operativos y mantener niveles de eficiencia consistentes.

Cuarta: La comparación entre la situación actual y el modelo de optimización propuesto evidenció un incremento en la capacidad de atención por parte de la empresa, concluyendo que el modelo aplicando Python y/o nuevas tecnologías emergentes, contribuye directamente a aprovechar de forma más equilibrada la flota disponible.

Quinta: El modelo permitió identificar escenarios en los que la flota propia no es suficiente para cubrir todas las rutas generadas. En estos casos, la subcontratación de una ruta se plantea como una estrategia puntual en la evaluación económica, ya que se da en

condiciones específicas donde garantiza continuidad en el servicio sin afectar las operaciones de la empresa.



RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda a la empresa utilizar la información proporcionada en la presente investigación para poder mejorar la eficiencia en términos de distancias y costos de combustible, evaluando periódicamente los pedidos no despachados y los ahorros en costos de transporte para asegurar que los beneficios económicos se sostengan en el largo plazo.

Segunda: Se recomienda potenciar la propuesta del modelo de optimización y la base de datos integrando tecnologías más sofisticadas, como plataformas de machine learning, inteligencia artificial y sistemas de información geográfica conectados en tiempo real.

Tercera: Se recomienda actualizar periódicamente el modelo con datos recientes e incorporar nuevas restricciones operativas como ventanas de tiempo, tráfico urbano, prioridades de clientes, asegurando la flexibilidad y vigencia del modelo en entornos logísticos dinámicos.

Cuarta: Se recomienda a la empresa establecer políticas claras de subcontratación incluyendo criterios de selección de proveedores y negociación de tarifas para garantizar la continuidad del servicio.

Quinta: Se recomienda a las empresas de distribución, operadores logísticos y entidades gubernamentales que adopten modelos de enrutamiento con herramientas tecnológicas y estratégicas, no solo para optimizar su desempeño económico, sino también para generar un impacto positivo a nivel social, ambiental e industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

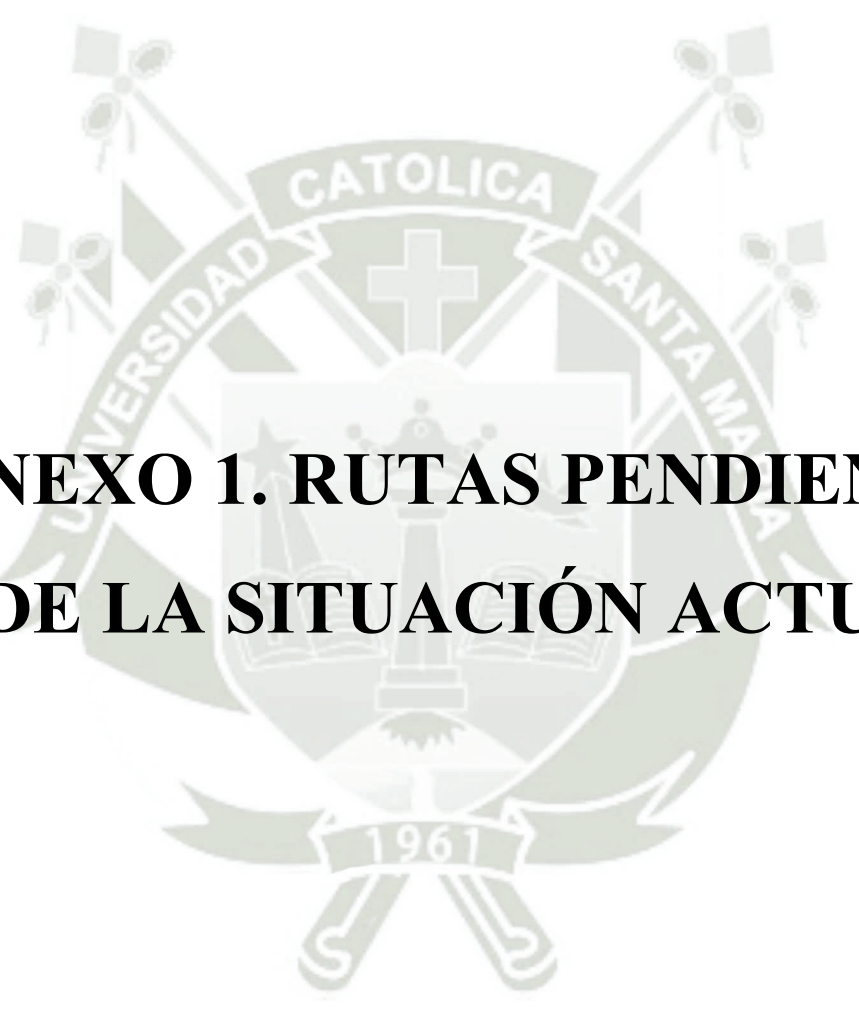
- Agárdi, A., Kovács, L., & Bányai, T. (2022). Mathematical Model for the Generalized VRP Model. *Mathematical Model for the Generalized VRP Model*.
- Alzate Montoya, P. (2022). *Investigación de Operaciones: Conceptos Fundamentales*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Anshoriy, W. F., Juhari, & Nashichuddin, A. (2023). Penentuan Rute Terpendek di Kantor Pos Kabupaten Blitar dalam Pendistribusian Paket Menggunakan Algoritma Clarke and Wright Savings. *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*.
- Arevalo Herrera, A. G., & Palma Lopez, E. (2023). *Aplicación del TPM y el algoritmo de Clarke & Wright en una empresa de servicios de transporte de cargas para aumentar el rendimiento del combustible en el Perú*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Arifian, R., & Pulansari, F. (2023). Determination of the Shortest Distribution Routes to Minimize Fuel Consumption and CO2 Emission Using Sweep and Clarke & Wright Saving Algorithms. *Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management*.
- Aurachman, Baskara, & Habibie. (2020). *Vehicle routing problem with simulated annealing using python programming*. Chicago: IOP Conference Series.
- Baldeón Palpa, M., Medina Romero, M., Gavilanes Carranza, E. A., & Burbano Ronquillo, M. (2025). Inteligencia de Negocios para la Toma de Decisiones: Business Intelligence for Decision Making. *Scientific Journal MLAJ*.
- Bérczi, K., Mních, M., & Vincze, R. (2022). *Efficient Approximations for Many-Visits Multiple Traveling Salesman Problems*. Augsburg, Alemania: Universität Augsburg.
- Bezerra, Marchesi, Melo, Nunes, & Silva. (2020). *Problema de Ruteo de Vehículos Considerando la Probabilidad de Robo de Carga Aplicado en un Contexto Real en el Estado de Río de Janeiro: Resuelto con el uso del software AIMS*. Río de Janeiro: International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management.

- Buriol, L., Figueiredo, C., Resende, M., & Uchoa, E. (2020). The Guide to NP-Completeness is 40 years old: an homage to David S. Johnson. *Sobrapo*.
- Camargos, H., & Beraldo, L. (2020). *Nível de Serviços Logísticos no E-Commerce: a Percepção do Cliente para a Satisfação*. Rio de Janeiro: Faculdade Pitágoras de Betim, MG, Brasil.
- Cardona, D., & Balza, V. (2020). La relación entre logística, cadena de suministro y competitividad: una revisión de literatura. *Espacios*, 179-193.
- Cengiz, T. (2022). A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution. *Journal of Intelligent Manufacturing*.
- Chotchaeva, Z. (2021). P vs NP: P is Equal to NP: Desired Proof. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Correia, D., Teixeira, L., & Lourenco, J. (2021). *Last-mile-as-a-service (LMaaS): An innovative concept for the disruption of the supply chain*. Aveiro, Portugal: ELSEIVER.
- Damodaran, A. (2025). Country risk premiums and default spreads by country. New York University Stern School of Business. *CTRYPERM*.
- Dhouib. (2021). *Optimization of Travelling Salesman Problem on Single Valued Triangular Neutrosophic Number using Dhouib-Matrix-TSP1 Heuristic*. Tunisia: International Journal of Engineering.
- Dyer, R., & Chauhan, J. (2022). *An Exploratory Study on the Predominant Programming Paradigms in Python Code*. Lincon: University of Nebraska.
- E. Gómez Barrientos, C. Martínez Galán, I. Hernández Palagot, J.R. Ravell Delgado, & G. Ocaña Medina. (2020). *Problemas en Educación Superior en el Estado de Veracruz al aplicar programación lineal*. Veracruz: Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla.
- Economics, T. (2025). *Government bond yields by country*. Obtenido de <https://tradingeconomics.com/bonds>

- Eggert, J. (2023). *Solving the Traveling Salesman Problem with the Quantum Approximate Optimization Algorithm*. Hannover: Universidad Gottfried Wilhelm Leibniz de Hannover .
- Elatar, S., Abouelmehdi, K., & Essaid, M. (2020). The vehicle routing problem in the last decade: variants, taxonomy and metaheuristics. *ScienceDirect*.
- Guerreiro, F., & Saccomanno, F. (2024). Accelerating the Clarke-Wright algorithm using GPUs*. *sciendo Control and Cybernetics*.
- Huarcaya Huallullo, D. (2023). *Propuesta de optimización en el abastecimiento de tiendas de conveniencia utilizando algoritmos de packing y ruteo de vehículos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Iqbal, M. (2023). *Consumer's Adoption of Last Mile Logistics Innovation: A Systematic Literature Review*. Jakarta, Indonesia: EISSN.
- Jiménez Aguirre, M. F. (2022). *Algoritmo de Clarke and Wright para mejorar la gestión de ruta del transporte de acopio de leche en Cañete, 2020*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Jiménez, M., Sánchez, L., Keewong, R., & Bazán, J. (2020). Optimización de las rutas para la intervención de pozos de petróleo. *Información Tecnológica*.
- Logroño, S., Estrada, N., Vásquez, V., & Rosero, E. (2022). *Analysis of the use of the Python programming language for statistical calculations*. Ecuador: Grupo Compás.
- Masson, A., Paravié, D., Rohvein, C., & Villalba, L. (2021). *Revisión de Software de Resolución de Problemas de Ruteo de Vehículos*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Mehsin, A. (2020). *Rich Variants of the Vehicle Routing Problem*. Brisbane, Australia: The University of Queensland.
- Meregildo Rodríguez, J., & Chávez Cavero, C. (2023). *Optimización de rutas de distribución para minimizar los costos de transporte de la empresa Panificadora Sandoval S.A.C., 2023*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.

- Montagné, R., Torres, D., & Olsen, H. (2020). VRPy: A Python package for solving a range of vehicle routing problems with a column generation approach. *The Journal of Open Source Software*.
- Muriyatmoko, D., Djunaidy, A., & Muklason, A. (2024). Heuristics and Metaheuristics for Solving Capacitated Vehicle Routing Problem: An Algorithm Comparison. *ScienceDirect*.
- Neukart, F. (2024). *Thermodynamic Perspectives on Computational Complexity: Exploring the P vs NP Problem*. Leiden, Países Bajos: Institute of Advanced Computer Science,.
- Nurcahyo, R., Irawan, D., & Kristanti, F. (2023). The Effectiveness of the Clarke & Wright Savings Algorithm in Determining Logistics Distribution Routes (case study PT.XYZ) . *ICOBAR*.
- Olsson, J., Hellström, D., & Pålsson, H. (2022). Framework for measuring logistics performance in last mile delivery: A systematic literature review. *Research in Transportation Economics*. 93.
- PCMI. (2024). *Informe anual del comercio electrónico en el Perú 2024*. Lima: Centro de Investigación de Mercados e Inteligencia Comercial (PCMI).
- Perú, B. C. (s.f.). *Indicadores económicos y financieros del Perú*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/>
- Pratiwi, M., & Syafitri, R. (2023). Distribution Route Optimization Using Nearest Neighbor Algorithm and Clarke and Wright Savings. *Sinkron*.
- Robayo Botiva , D. (2020). *El Comercio Electrónico: Concepto, Características e Importancia en las Organizaciones*. Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.
- Ruiz, J. (2021). *Problema de ruteo de vehículos multi-objetivo con entregas y recogidas simultáneas y minimización de emisiones*. Santiago: Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería.
- Sandoya, F., Letamendi, C., & Sanabria, F. (2020). *Comparative Study of Algorithms Metaheuristics Based Applied to the Solution of the Capacitated Vehicle Routing Problem*. IntechOpen.

- Sani Shuaibu, A., Sharif Mahmoud, A., & Rahil Sheltami, T. (2025). A Review of Last-Mile Delivery Optimization: Strategies, Technologies, Drone Integration, and Future Trends. *MDPI*, 10-16.
- Segev, N., & Wigderson, A. (2024). *¿Fácil o difícil? Preguntas básicas sobre la teoría de la complejidad computacional*. Princeton: Frontiers.
- Setiawan, A., & Suseno. (2024). Ruta de Distribución propuesta utilizando el algoritmo de ahorro Clarke and Wright e Inserción Secuencial. *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*.
- Stopka, O. (2020). Draft Model of Delivery Routes at a city logistics scale when applying the Clarke - Wright Method. *Archiwum Motoryzacji*.
- Suarez Flores, E. M. (2021). *Ruteo de vehículos con capacidades en una empresa de transportes de productos químicos y materiales peligrosos aplicando la heurística de Clarke and Wright*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Urango, W., Hernández, H., & López, J. (2020). *Problema de localización de bodegas y ruteo de vehículos resuelto mediante el optimizador de hiena manchada*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Vitorino Eduardo, J. (2023). *Propuesta de Mejora del Proceso de Transporte mediante el VRP Heurística Método Clarke Wright para la Empresa Don Vito Services S.A.C.* 2023: Universidad Católica San Pablo.
- Zaidan, R. (2023). *The Problem of Computational Complexity*.



ANEXO 1. RUTAS PENDIENTES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Tabla 78.

Distancias por nodos de la Ruta 13

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	70	6.2944
2	70	27	2.20916
3	27	75	1.96944
4	75	39	0.86128
5	39	45	2.57758
6	45	80	1.75721
7	80	35	1.66877
8	35	81	1.45975
9	81	83	1.45643
10	83	5	7.1013
11	5	9	10.49137
12	9	121	4.58303
13	121	118	0.86266
14	118	112	2.55965
15	112	89	0.37681
16	89	98	2.08753
17	98	110	0.22156
18	110	72	0.90459
19	72	69	3.01993
20	69	74	2.27415
21	74	76	4.03486
22	76	32	5.25898
23	32	104	0.59001
24	104	47	1.35299
25	47	46	1.69676
26	46	88	9.28908
27	88	0	0.48844
TOTAL			59.8178

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 79.

Distancias por nodos de la Ruta 14

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	31	7.26051
2	31	26	14.20873
3	26	16	13.95605
4	16	56	9.15678
5	56	84	1.84348
6	84	93	1.84001
7	93	97	1.54496
8	97	102	0.79827
9	102	107	2.50855
10	107	99	5.68367
11	99	1	7.44828
12	1	105	6.0406
13	105	86	9.43477
14	86	94	3.15757
15	94	117	0.8002
16	117	13	0.62949
17	13	22	2.86988
18	22	95	3.28869
19	95	41	4.16943
20	41	73	3.39928
21	73	52	0.71629
22	52	48	4.04177
23	48	106	0.40362
24	106	0	6.33159
TOTAL			111.53247

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 80.

Distancias por nodos de la Ruta 15

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	59	0.63055
2	59	9	1.60232
3	9	10	2.68639
4	10	20	2.06933

5	20	24	2.51615
6	24	76	3.01075
7	76	77	1.0422
8	77	86	0.36545
9	86	87	2.72603
10	87	92	3.16965
11	92	48	4.7037
12	48	111	4.25864
13	111	115	2.9235
14	115	121	7.3418
15	121	124	1.76811
16	124	125	0.1584
17	125	126	4.11193
18	126	112	0.50267
19	112	46	4.35103
20	46	27	23.5471
21	27	0	15.21567
TOTAL			88.70137

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 81.

Distancias por nodos de la Ruta 16

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	120	5.86568
2	120	17	0.01471
3	17	43	2.21762
4	43	90	5.76982
5	90	3	0.00823
6	3	34	4.39594
7	34	94	5.79829
8	94	19	3.31133
9	19	88	2.09743
10	88	42	0
11	42	41	12.23786
12	41	97	12.40291
13	97	75	0.46989
14	75	130	2.32497
15	130	39	2.85528
16	39	22	1.85456

17	22	98	4.0805
18	98	104	2.71121
19	104	123	0.62427
20	123	127	1.39463
21	127	91	2.52017
22	91	50	3.21088
23	50	84	5.06114
24	84	2	4.96186
25	2	81	3.6336
26	81	7	1.76357
27	7	0	5.56976
TOTAL			97.15611

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 82.

Distancias por nodos de la Ruta 17

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	7	6.96348
2	7	70	2.19768
3	70	21	3.1737
4	21	69	1.27187
5	69	9	2.33172
6	9	1	0.60675
7	1	43	1.39819
8	43	45	2.09181
9	45	63	0.40616
10	63	67	8.0344
11	67	33	9.6212
12	33	84	5.23071
13	84	61	4.94212
14	61	4	2.12585
15	4	53	2.49055
16	53	40	3.66057
17	40	42	1.40592
18	42	17	0.27603
19	17	5	2.66716
20	5	14	2.7337
21	14	41	1.28147
22	41	16	1.81804

23	16	38	3.35846
24	38	22	2.66986
25	22	27	2.13698
26	27	37	2.2757
27	37	74	5.02301
28	74	71	3.92222
29	71	0	9.51428
TOTAL			95.62959

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 83.

Distancias por nodos de la Ruta 18

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	88	9.17834
2	88	55	2.26251
3	55	89	4.80763
4	89	93	4.23336
5	93	94	1.85735
6	94	96	3.16036
7	96	95	3.06342
8	95	97	2.20164
9	97	103	1.74052
10	103	111	0.27909
11	111	108	2.70029
12	108	113	3.07438
13	113	144	2.05433
14	144	139	1.69354
15	139	141	1.6229
16	141	114	1.57647
17	114	117	8.04196
18	117	129	9.85984
19	129	133	1.45454
20	133	134	2.10464
21	134	135	0.91467
22	135	136	0.5562
23	136	137	1.24927
24	137	138	2.14058
25	138	99	2.93569
26	99	104	5.04437

27	104	105	4.57829
28	105	107	18.92428
29	107	110	20.05558
30	110	118	1.91273
31	118	125	2.70913
32	125	0	5.75945
TOTAL			133.74735

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 84.

Distancias por nodos de la Ruta 19

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	64	6.12259
2	64	65	0.40143
3	65	63	5.30306
4	63	66	4.4708
5	66	67	3.06679
6	67	4	6.69823
7	4	21	5.84217
8	21	7	0.90391
9	7	5	5.55472
10	5	58	3.3833
11	58	56	1.57657
12	56	51	0.51238
13	51	45	0.71171
14	45	44	4.01017
15	44	57	5.91224
16	57	59	3.26127
17	59	60	4.9443
18	60	62	5.5378
19	62	18	1.91336
20	18	22	2.62928
21	22	37	1.07829
22	37	61	8.57196
23	61	3	7.93009
24	3	43	2.90835
25	43	11	2.89442
26	11	13	13.23037
27	13	32	9.23609

28	32	0	5.00211
TOTAL			123.60776

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 85.

Distancias por nodos de la Ruta 20

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	6	4.44905
2	6	10	2.95269
3	10	53	3.90161
4	53	14	2.84607
5	14	70	5.80683
6	70	68	4.86518
7	68	69	6.8441
8	69	73	0.67404
9	73	54	3.57159
10	54	75	1.73774
11	75	76	0.51865
12	76	77	6.36086
13	77	79	2.40924
14	79	83	1.85118
15	83	84	4.26356
16	84	29	4.26994
17	29	39	1.78287
18	39	20	0.94097
19	20	72	15.02648
20	72	55	15.44504
21	55	71	9.44595
22	71	74	1.28081
23	74	36	5.17447
24	36	81	3.6843
25	81	78	2.62059
26	78	80	1.85408
27	80	82	1.78617
28	82	50	9.85935
29	50	0	4.5555
TOTAL			130.77891

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 86.

Distancias por nodos de la Ruta 21

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	16	2.00183
2	16	58	2.4688
3	58	59	2.52594
4	59	60	2.38785
5	60	65	2.78803
6	65	54	1.55393
7	54	66	2.90552
8	66	67	1.65155
9	67	22	1.1497
10	22	52	0.39474
11	52	41	0.27872
12	41	35	0.19088
13	35	30	7.01885
14	30	36	8.73851
15	36	13	2.45733
16	13	10	7.47263
17	10	34	5.81407
18	34	14	17.9205
19	14	63	5.70516
20	63	4	4.04812
21	4	5	2.82281
22	5	56	2.2266
23	56	57	3.20117
24	57	33	2.63868
25	33	21	2.37021
26	21	61	1.99637
27	61	62	4.25667
28	62	64	2.45682
29	64	0	3.11316
TOTAL			104.55515

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 87.

Distancias por nodos de la Ruta 22

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	1	7.05527
2	1	74	0.71078
3	74	31	1.6077
4	31	72	1.18691
5	72	69	1.6766
6	69	19	2.51579
7	19	8	0.42872
8	8	3	4.03763
9	3	25	6.2038
10	25	29	2.74455
11	29	40	2.58
12	40	50	1.58792
13	50	47	5.85943
14	47	15	4.31615
15	15	11	2.62163
16	11	23	3.86081
17	23	24	2.20503
18	24	55	4.82766
19	55	76	5.06083
20	76	75	2.85787
21	75	73	3.88177
22	73	71	2.20306
23	71	70	4.10257
24	70	68	3.30694
25	68	27	1.17989
26	27	0	5.55901
TOTAL			84.17832

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 88.

Distancias por nodos de la Ruta 23

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	60	7.51047
2	60	61	3.54661
3	61	65	0.7562
4	65	66	3.80045
5	66	52	1.62103
6	52	8	0.48332
7	8	72	4.49843
8	72	42	3.05097
9	42	69	2.23798
10	69	71	0.22371
11	71	70	4.74542
12	70	64	3.75668
13	64	59	4.12311
14	59	49	4.72714
15	49	18	1.23038
16	18	7	1.66785
17	7	67	0
18	67	58	5.79087
19	58	57	1.86261
20	57	55	1.07608
21	55	63	3.70928
22	63	56	0.44346
23	56	29	6.46982
24	29	14	13.00543
25	14	73	1.9944
26	73	68	2.23541
27	68	62	1.11463
28	62	13	2.65441
29	13	0	7.68869
TOTAL			96.02484

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 89.

Distancias por nodos de la Ruta 24

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	77	6.1888
2	77	79	1.6204
3	79	74	1.66264
4	74	78	0.40782
5	78	82	10.50926
6	82	87	14.70293
7	87	81	8.80332
8	81	84	10.44983
9	84	86	1.8888
10	86	75	2.02408
11	75	85	0.70418
12	85	76	0.70046
13	76	83	0
14	83	12	1.20053
15	12	80	4.59179
16	80	25	3.82173
17	25	16	2.14075
18	16	9	3.32239
19	9	3	2.91422
20	3	40	3.40768
21	40	24	3.15771
22	24	5	0.11451
23	5	10	2.64116
24	10	6	3.10007
25	6	38	1.03604
26	38	50	1.59631
27	50	41	9.42999
28	41	0	4.55748
TOTAL			106.69488

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 90.

Distancias por nodos de la Ruta 25

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	54	2.88122
2	54	55	6.54925
3	55	71	6.39711
4	71	76	3.70856
5	76	27	4.0448
6	27	37	3.25964
7	37	39	2.12787
8	39	67	1.59918
9	67	69	0.20224
10	69	70	1.58875
11	70	72	8.89234
12	72	73	11.53871
13	73	61	8.18842
14	61	58	6.57312
15	58	59	3.22517
16	59	60	2.56884
17	60	65	9.38037
18	65	66	3.01208
19	66	56	12.27595
20	56	57	2.3173
21	57	62	2.98593
22	62	63	2.22045
23	63	64	6.77439
24	64	68	6.86196
25	68	74	7.33808
26	74	75	6.16901
27	75	23	0.06449
28	23	0	3.14949
TOTAL			135.89472

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 91.

Distancias por nodos de la Ruta 26

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	44	7.14843
2	44	38	2.07037
3	38	81	1.71101
4	81	77	2.92571
5	77	78	1.08027
6	78	79	1.30598
7	79	80	1.4408
8	80	88	0.75343
9	88	83	0.65003
10	83	84	1.10918
11	84	85	1.1306
12	85	86	0.15822
13	86	87	1.53816
14	87	82	1.12863
15	82	89	0.74633
16	89	90	0.38932
17	90	91	2.40551
18	91	92	2.78783
19	92	93	1.42574
20	93	94	0.73916
21	94	95	1.24938
22	95	48	2.69243
23	48	97	0.84047
24	97	98	1.31863
25	98	99	0.76291
26	99	100	2.01759
27	100	36	1.57755
28	36	40	2.04067
29	40	96	2.74626
30	96	0	5.41817
TOTAL			53.30877

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 92.

Distancias por nodos de la Ruta 27

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	1	3.36725
2	1	4	1.5697
3	4	7	1.72513
4	7	9	12.43289
5	9	10	11.94192
6	10	62	10.79878
7	62	63	9.90481
8	63	64	3.02952
9	64	65	5.28739
10	65	66	7.72327
11	66	67	11.62455
12	67	68	1.50226
13	68	69	6.67512
14	69	70	10.93764
15	70	71	2.58599
16	71	72	7.21023
17	72	73	7.64512
18	73	74	4.19136
19	74	75	14.66747
20	75	76	9.01947
21	76	17	3.36695
22	17	33	3.57817
23	33	48	1.37009
24	48	53	5.41821
25	53	55	6.03276
26	55	0	12.66644
TOTAL			176.27249

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 93.

Distancias por nodos de la Ruta 28

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	77	1.87353
2	77	82	3.89216
3	82	84	1.69386
4	84	85	1.93229
5	85	80	4.83521
6	80	2	2.72664
7	2	3	1.46835
8	3	14	2.10463
9	14	19	2.90235
10	19	78	3.48336
11	78	79	9.98009
12	79	81	10.341
13	81	83	4.44367
14	83	86	2.96378
15	86	87	6.64083
16	87	88	8.28986
17	88	89	4.75121
18	89	22	3.75239
19	22	34	4.46073
20	34	49	0.78194
21	49	51	1.70896
22	51	56	4.20242
23	56	25	2.84882
24	25	43	2.80927
25	43	0	7.46398
TOTAL			102.35133

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 94.

Distancias por nodos de la Ruta 29

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	72	5.43716
2	72	49	3.37586
3	49	73	1.98085
4	73	77	2.81742
5	77	2	2.1978
6	2	66	0
7	66	75	2.89075
8	75	76	1.91029
9	76	1	3.22374
10	1	69	0
11	69	71	3.16668
12	71	70	2.16493
13	70	74	4.06826
14	74	68	5.23391
15	68	48	5.25681
16	48	67	4.87046
17	67	54	2.69549
18	54	65	8.55756
19	65	64	6.09918
20	64	57	2.34555
21	57	63	1.10473
22	63	58	5.96272
23	58	59	5.51402
24	59	60	3.37559
25	60	61	0.38685
26	61	62	3.30419
27	62	0	6.30422
TOTAL			94.24502

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 95.

Distancias por nodos de la Ruta 30

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	97	2.24525
2	97	98	1.82495
3	98	91	0.0635
4	91	92	5.77971
5	92	93	5.2865
6	93	94	2.38217
7	94	95	1.36088
8	95	96	2.23213
9	96	4	5.0438
10	4	7	1.95856
11	7	78	5.75898
12	78	79	3.8597
13	79	22	2.91742
14	22	55	6.07377
15	55	41	5.00055
16	41	88	2.39042
17	88	81	1.25925
18	81	80	0.42876
19	80	10	3.59432
20	10	82	5.32371
21	82	83	5.86962
22	83	84	3.26611
23	84	85	0.85004
24	85	87	3.65495
25	87	86	0.58369
26	86	90	7.36608
27	90	14	0.40844
28	14	31	11.12327
29	31	89	7.53414
30	89	0	9.20121
TOTAL			114.64188

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 96.

Distancias por nodos de la Ruta 31

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	54	6.47439
2	54	55	0.25835
3	55	56	0.99698
4	56	57	6.00036
5	57	58	7.4775
6	58	47	0.43883
7	47	59	4.65672
8	59	60	2.50166
9	60	61	5.143
10	61	62	2.08537
11	62	49	3.43091
12	49	64	0.18032
13	64	65	5.23901
14	65	66	4.51971
15	66	20	2.20633
16	20	68	1.11477
17	68	69	3.92535
18	69	70	4.09212
19	70	67	3.61007
20	67	24	6.86549
21	24	27	6.48089
22	27	37	2.14046
23	37	41	3.93054
24	41	43	2.72074
25	43	44	2.79389
26	44	63	3.61818
27	63	0	6.20177
TOTAL			99.10371

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 97.

Distancias por nodos de la Ruta 32

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	12	8.8163
2	12	17	2.16101
3	17	86	1.9692
4	86	23	0.9709
5	23	71	1.30894
6	71	72	1.82159
7	72	73	0.25674
8	73	74	1.95376
9	74	75	2.19866
10	75	76	2.11214
11	76	77	0.42232
12	77	36	0.79996
13	36	42	2.60007
14	42	14	1.24807
15	14	78	0.05902
16	78	79	1.42243
17	79	80	1.32342
18	80	81	1.76947
19	81	82	2.48345
20	82	83	3.66942
21	83	84	0.23737
22	84	85	0.60427
23	85	26	18.76171
24	26	29	19.67706
25	29	31	2.29529
26	31	34	0.35782
27	34	40	5.32087
28	40	0	9.87315
TOTAL			96.49441

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 98.

Distancias por nodos de la Ruta 33

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	75	18.30203
2	75	136	15.4478
3	136	60	1.58299
4	60	55	2.73105
5	55	49	4.00815
6	49	47	4.73346
7	47	65	3.25928
8	65	70	1.57366
9	70	72	1.8808
10	72	99	3.94363
11	99	68	9.18308
12	68	94	5.53498
13	94	133	10.52061
14	133	23	10.2879
15	23	146	6.94924
16	146	108	6.56034
17	108	140	8.92612
18	140	86	1.51661
19	86	152	10.83516
20	152	149	15.45788
21	149	110	6.83441
22	110	148	3.34533
23	148	115	2.93038
24	115	131	10.26634
25	131	122	9.74494
26	122	9	12.5002
27	9	32	4.53359
29	32	0	6.81457
TOTAL			200.20453

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 99.

Distancias por nodos de la Ruta 34

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	2	4.81844
2	2	13	5.18463
3	13	69	1.12372
4	69	118	6.20714
5	118	67	5.44302
6	67	88	3.65291
7	88	90	0.75284
8	90	91	2.72602
9	91	111	1.55709
10	111	135	2.32583
11	135	143	0.99572
12	143	73	2.0128
13	73	98	3.7304
14	98	100	4.02006
15	100	76	3.43755
16	76	26	1.06846
17	26	29	3.98672
18	29	31	1.4797
19	31	40	2.35747
20	40	52	1.22399
21	52	14	4.66266
22	14	59	0.72171
23	59	22	1.17154
24	22	51	0.11973
25	51	56	0.58976
26	56	46	3.74649
27	46	0	6.02454
TOTAL			75.14094

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 100.

Distancias por nodos de la Ruta 35

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	6	6.61531
2	6	61	1.45917
3	61	43	1.37236
4	43	30	3.49625
5	30	40	0.85823
6	40	62	1.76162
7	62	63	0.9053
8	63	64	2.39851
9	64	65	1.91652
10	65	66	5.74004
11	66	67	7.89177
12	67	68	3.46507
13	68	69	10.68835
14	69	70	6.95604
15	70	71	1.00427
16	71	18	4.15505
17	18	72	0.48779
18	72	77	3.52616
19	77	76	3.46448
20	76	73	3.41222
21	73	75	0.60956
22	75	74	0.81822
23	74	52	7.49015
24	52	58	2.47466
25	58	59	1.02836
26	59	60	9.95952
27	60	0	6.77421
TOTAL			100.72919

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 101.

Distancias por nodos de la Ruta 36

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	87	7.47842
2	87	41	0.41122
3	41	35	7.1938
4	35	33	13.39866
5	33	93	10.70028
6	93	94	4.20819
7	94	95	5.42563
8	95	90	12.0638
9	90	91	5.8613
10	91	92	3.12108
11	92	79	6.70693
12	79	78	2.28228
13	78	80	7.56085
14	80	81	6.35884
15	81	84	7.63717
16	84	88	14.59491
17	88	96	13.78091
18	96	89	5.67043
19	89	85	2.63091
20	85	83	3.53779
21	83	97	1.7805
22	97	22	0.34633
23	22	86	2.94367
24	86	48	0.95581
25	48	82	4.79057
26	82	0	5.60135
TOTAL			157.04163

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 102.

Distancias por nodos de la Ruta 37

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	80	1.57706
2	80	72	8.46435
3	72	82	8.09436
4	82	74	5.98776
5	74	65	9.34301
6	65	68	0.85069
7	68	84	2.94174
8	84	78	1.96596
9	78	75	1.60111
10	75	70	1.05194
11	70	71	0.70721
12	71	76	1.26466
13	76	67	1.32581
14	67	86	3.16473
15	86	61	3.00147
16	61	85	5.73378
17	85	73	7.35138
18	73	83	9.28795
19	83	79	9.35735
20	79	81	9.88722
21	81	77	8.31142
22	77	20	1.32596
23	20	13	2.18835
24	13	9	2.90123
25	9	69	6.31979
26	69	66	7.76999
27	66	0	1.82112
TOTAL			123.5974

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 103.

Distancias por nodos de la Ruta 38

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	103	4.96391
2	103	62	1.21738
3	62	27	3.0695
4	27	106	10.22099
5	106	100	2.34681
6	100	101	8.08575
7	101	102	4.8846
8	102	63	0.61899
9	63	105	1.36905
10	105	104	1.65782
11	104	87	9.12107
12	87	88	3.46096
13	88	38	3.75105
14	38	96	1.92659
15	96	91	1.39763
16	91	94	4.28108
17	94	89	1.63998
18	89	90	2.0286
19	90	92	3.46101
20	92	93	6.88078
21	93	95	11.91879
22	95	97	9.65376
23	97	98	3.44741
24	98	99	3.91097
25	99	26	3.51447
26	26	0	1.72154
TOTAL			110.55049

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 104.

Distancias por nodos de la Ruta 39

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	54	4.92512
2	54	55	3.68962
3	55	70	2.80728
4	70	52	0.83593
5	52	53	2.40028
6	53	60	2.59522
7	60	67	5.98448
8	67	65	6.45215
9	65	66	1.065
10	66	51	4.76486
11	51	59	3.16623
12	59	46	1.97713
13	46	64	3.56146
14	64	47	3.02721
15	47	63	4.05166
16	63	57	4.42872
17	57	61	1.17449
18	61	58	3.31587
19	58	68	2.9227
20	68	62	2.73068
21	62	69	3.61529
22	69	56	0.94899
23	56	48	1.81688
24	48	50	8.5652
25	50	49	7.73274
26	49	0	3.85852
TOTAL			92.41371

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 105.

Distancias por nodos de la Ruta 40

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	3	6.99751
2	3	71	4.06998
3	71	79	2.51065
4	79	91	4.93584
5	91	72	11.68207
6	72	84	13.76051
7	84	73	3.55475
8	73	42	0.8644
9	42	88	2.60231
10	88	74	3.60599
11	74	35	2.4738
12	35	87	0
13	87	80	1.01171
14	80	76	3.18033
15	76	82	4.62181
16	82	83	3.37482
17	83	81	1.95233
18	81	13	3.32643
19	13	78	2.44666
20	78	89	13.11542
21	89	77	12.93449
22	77	27	2.35098
23	27	85	0
24	85	90	1.10124
25	90	86	0.77637
26	86	75	1.50082
27	75	0	5.01876
TOTAL			113.76998

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 106.

Distancias por nodos de la Ruta 41

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	59	6.0634
2	59	60	0.6513
3	60	57	2.0875
4	57	23	0.15292
5	23	16	1.41747
6	16	83	3.45898
7	83	82	1.96949
8	82	64	0.71786
9	64	65	1.79149
10	65	71	1.26114
11	71	72	2.50863
12	72	73	2.35908
13	73	78	1.79302
14	78	62	1.74601
15	62	61	3.88184
16	61	63	2.07953
17	63	66	1.69232
18	66	67	2.85852
19	67	68	7.10019
20	68	69	6.6652
21	69	70	1.00405
22	70	74	1.47728
23	74	75	0.96814
24	75	76	2.7087
25	76	77	1.71447
26	77	81	1.24982
27	81	80	1.32774
28	80	79	7.52435
29	79	0	2.9279
TOTAL			73.15834

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 107.

Distancias por nodos de la Ruta 42

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	10	3.648
2	10	99	9.73973
3	99	93	15.16634
4	93	24	6.65182
5	24	86	2.67691
6	86	94	7.17609
7	94	90	7.36186
8	90	101	0.03598
9	101	88	6.04901
10	88	96	7.47161
11	96	87	3.53019
12	87	37	0.44557
13	37	84	0.31893
14	84	92	0.26471
15	92	89	5.59984
16	89	100	3.85433
17	100	7	2.14509
18	7	30	2.16382
19	30	102	7.16045
20	102	97	5.53471
21	97	43	9.23246
22	43	91	7.99467
23	91	31	8.9382
24	31	85	0
25	85	95	10.82043
26	95	98	2.59106
27	98	0	1.46254
TOTAL			138.03435

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 108.

Distancias por nodos de la Ruta 43

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	65	9.54763
2	65	66	3.82326
3	66	67	2.24131
4	67	68	2.32937
5	68	69	5.36011
6	69	70	4.65399
7	70	71	1.00374
8	71	72	1.98346
9	72	73	0.56113
10	73	74	1.6846
11	74	20	2.85696
12	20	76	3.05371
13	76	77	1.46772
14	77	78	10.96793
15	78	19	10.43011
16	19	75	3.32177
17	75	39	1.76618
18	39	53	4.92166
19	53	54	0.24975
20	54	55	1.15001
21	55	56	2.19603
22	56	57	2.0041
23	57	58	1.51019
24	58	59	1.26536
25	59	60	2.02438
26	60	61	2.56517
27	61	62	19.71966
28	62	63	19.4775
29	63	64	0.87928
30	64	0	6.88057
TOTAL			131.89664

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 109.

Distancias por nodos de la Ruta 44

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	93	4.27897
2	93	34	6.48397
3	34	95	6.19118
4	95	16	4.94197
5	16	94	2.70401
6	94	40	10.20738
7	40	8	13.58146
8	8	90	0.01718
9	90	12	11.39898
10	12	18	14.3096
11	18	4	7.19565
12	4	92	0.8415
13	92	91	1.01107
14	91	84	14.69466
15	84	85	3.19616
16	85	86	5.04227
17	86	87	1.5287
18	87	88	1.87235
19	88	89	2.38624
20	89	13	0.64101
21	13	24	5.5722
22	24	83	7.75944
23	83	82	7.81398
24	82	81	3.07024
25	81	80	1.85674
26	80	79	9.73417
27	79	0	7.80161
TOTAL			156.13269

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 110.

Distancias por nodos de la Ruta 45

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	76	7.17109
2	76	75	1.07447
3	75	42	0.55284
4	42	77	1.54912
5	77	61	4.9787
6	61	62	3.24625
7	62	63	2.97988
8	63	64	0.81217
9	64	65	0.94265
10	65	66	2.6588
11	66	41	10.5472
12	41	68	8.5201
13	68	57	1.48497
14	57	70	15.16685
15	70	71	3.16597
16	71	60	13.40347
17	60	73	2.07174
18	73	58	3.57534
19	58	19	2.20589
20	19	27	2.52585
21	27	35	3.43586
22	35	67	10.5472
23	67	44	6.40351
24	44	45	4.80391
25	45	69	4.64515
26	69	74	0.3569
27	74	72	2.05308
28	72	0	6.18635
TOTAL			127.06531

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 111.

Distancias por nodos de la Ruta 46

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	4	3.14029
2	4	9	1.6685
3	9	84	4.63817
4	84	85	5.47249
5	85	86	5.92068
6	86	87	3.60319
7	87	88	0.90772
8	88	38	1.30729
9	38	56	3.45599
10	56	46	11.72309
11	46	83	10.54481
12	83	78	0.35394
13	78	82	3.44469
14	82	81	1.96691
15	81	80	2.70343
16	80	79	1.49737
17	79	11	10.14852
18	11	12	7.28414
19	12	40	3.28838
20	40	89	7.92954
21	89	90	7.08744
22	90	91	8.49374
23	91	92	1.31158
24	92	93	1.32581
25	93	94	1.82074
26	94	95	2.93577
27	95	43	2.53407
28	43	47	3.00147
29	47	0	2.3215
TOTAL			121.83126

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 112.

Distancias por nodos de la Ruta 47

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	55	6.92153
2	55	56	8.80235
3	56	57	6.30057
4	57	58	1.84191
5	58	59	2.00653
6	59	60	1.24541
7	60	61	1.56583
8	61	62	2.80987
9	62	63	2.4619
10	63	64	0
11	64	65	8.57613
12	65	66	6.15877
13	66	67	3.98795
14	67	68	2.89825
15	68	69	0.37478
16	69	70	1.42907
17	70	71	10.5671
18	71	72	10.20118
19	72	73	6.91717
20	73	74	1.18366
21	74	75	3.51249
22	75	76	0.64104
23	76	77	3.54545
24	77	78	6.00392
25	78	21	3.42058
26	21	31	2.43869
27	31	0	4.3192
TOTAL			110.13133

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 113.

Distancias por nodos de la Ruta 48

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	22	6.43733
2	22	17	3.20988
3	17	23	5.40974
4	23	27	5.79161
5	27	1	1.9759
6	1	9	3.50038
7	9	12	1.37303
8	12	11	1.56735
9	11	10	2.12592
10	10	79	8.15858
11	79	80	8.83965
12	80	81	1.86884
13	81	86	10.0552
14	86	83	0.22802
15	83	84	0.59081
16	84	85	0.73625
17	85	82	0.33872
18	82	87	0.34284
19	87	88	5.69664
20	88	89	6.92467
21	89	90	1.53726
22	90	91	0.32163
23	91	92	1.73699
24	92	93	1.38929
25	93	94	1.55485
26	94	20	1.06218
27	20	41	3.71368
28	41	0	2.93244
TOTAL			89.41968

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 114.

Distancias por nodos de la Ruta 49

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	69	7.42214
2	69	65	2.03761
3	65	66	0.6513
4	66	67	2.41688
5	67	58	1.90753
6	58	79	1.5422
7	79	71	3.88507
8	71	80	2.92865
9	80	82	2.49438
10	82	77	3.01028
11	77	72	3.37769
12	72	61	1.24452
13	61	60	4.27479
14	60	56	4.03794
15	56	63	3.69138
16	63	64	3.44476
17	64	68	2.92635
18	68	70	1.96994
19	70	74	1.28893
20	74	78	2.23121
21	78	76	13.43614
22	76	75	13.10288
23	75	62	2.55614
24	62	81	3.59409
25	81	73	2.22046
26	73	57	2.43052
27	57	0	7.64712
TOTAL			101.7709

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 115.

Distancias por nodos de la Ruta 50

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	12	7.38328
2	12	23	3.9555
3	23	91	3.12609
4	91	84	0.83511
5	84	83	0.86157
6	83	92	8.2298
7	92	87	9.08922
8	87	88	1.54879
9	88	89	2.54028
10	89	90	1.87969
11	90	85	0.39417
12	85	86	2.47621
13	86	43	4.41616
14	43	4	6.47423
15	4	6	6.12981
16	6	8	5.11014
17	8	93	3.01216
18	93	94	0.60423
19	94	95	1.14852
20	95	21	1.24907
21	21	97	2.69243
22	97	98	0.95066
23	98	99	0.84182
24	99	100	1.58393
25	100	11	1.60851
26	11	96	0.51192
27	96	59	2.01321
28	59	0	6.02454
TOTAL			86.69105

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 116.

Distancias por nodos de la Ruta 51

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	59	5.1644
2	59	60	1.6731
3	60	66	3.21498
4	66	67	0.42676
5	67	57	5.45072
6	57	58	3.11698
7	58	61	5.64064
8	61	62	7.75987
9	62	63	11.73332
10	63	64	8.2537
11	64	65	8.79809
12	65	68	1.20235
13	68	69	1.57867
14	69	70	1.41815
15	70	71	2.59194
16	71	72	2.11683
17	72	73	2.11613
18	73	74	0.80597
19	74	75	1.8808
20	75	76	1.27223
21	76	77	1.8933
22	77	78	2.50018
23	78	79	9.23756
24	79	80	17.12136
25	80	81	8.82093
26	81	82	5.28739
27	82	5	3.48649
28	5	48	3.90901
29	48	56	8.21715
30	56	0	12.66644
TOTAL			149.35544

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 117.

Distancias por nodos de la Ruta 52

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	3	7.28744
2	3	9	2.72522
3	9	7	3.36665
4	7	10	2.86252
5	10	83	3.09701
6	83	84	2.20446
7	84	85	2.20589
8	85	86	2.84849
9	86	87	3.37846
10	87	88	3.55896
11	88	89	2.12692
12	89	90	4.02006
13	90	91	2.24309
14	91	92	1.86233
15	92	93	3.03322
16	93	94	2.93086
17	94	95	0.78173
18	95	96	2.15288
19	96	97	1.43675
20	97	98	0.35071
21	98	99	3.28869
22	99	100	3.39637
23	100	19	1.67517
24	19	23	3.77599
25	23	30	3.05944
26	30	45	14.92994
27	45	0	9.94191
TOTAL			94.54116

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 118.

Distancias por nodos de la Ruta 53

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	133	6.61531
2	133	75	2.03771
3	75	58	5.00557
4	58	89	7.42848
5	89	137	4.38913
6	137	74	2.00538
7	74	109	1.77021
8	109	56	2.26741
9	56	163	3.20774
10	163	148	0.01506
11	148	67	0.14224
12	67	103	0
13	103	101	4.04863
14	101	84	2.16645
15	84	66	1.55877
16	66	82	0.88385
17	82	172	0
18	172	122	1.84344
19	122	182	1.57292
20	182	81	0.60046
21	81	140	0.46351
22	140	171	1.66383
23	171	155	0.60282
24	155	157	3.68962
25	157	62	3.46862
26	62	90	0
27	90	40	5.48354
28	40	61	4.52984
29	61	0	3.23316
TOTAL			70.6937

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 119.

Distancias por nodos de la Ruta 54

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	64	6.73886
2	64	77	1.75387
3	77	149	1.44368
4	149	151	2.38846
5	151	152	1.94944
6	152	110	0.81334
7	110	111	3.81439
8	111	115	2.81662
9	115	116	4.8142
10	116	104	5.1362
11	104	166	2.10556
12	166	83	7.23333
13	83	85	5.61829
14	85	47	7.83097
15	47	176	6.70598
16	176	120	3.7044
17	120	86	2.33982
18	86	93	1.63517
19	93	181	3.01543
20	181	119	4.00989
21	119	127	6.35484
22	127	142	6.79883
23	142	161	2.20946
24	161	124	6.12197
25	124	126	1.36291
26	126	178	0.26136
27	178	0	7.66348
TOTAL			106.64075

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 120.

Distancias por nodos de la Ruta 55

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	82	3.14029
2	82	73	1.61068
3	73	68	4.54379
4	68	83	0
5	83	78	4.96171
6	78	81	1.63998
7	81	67	4.52375
8	67	65	1.91246
9	65	74	3.6912
10	74	79	0
11	79	84	1.24302
12	84	43	0.83754
13	43	85	1.35652
14	85	63	2.8746
15	63	86	3.38381
16	86	87	3.90607
17	87	76	0
18	76	66	4.06097
19	66	77	7.05918
20	77	64	7.79817
21	64	72	3.0366
22	72	75	1.71916
23	75	69	5.01822
24	69	70	0.00305
25	70	71	4.63817
26	71	80	2.70758
27	80	0	1.72154
TOTAL			77.38806

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 121.

Distancias por nodos de la Ruta 56

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	88	7.17109
2	88	89	1.27371
3	89	90	0
4	90	91	0.58037
5	91	92	8.96165
6	92	93	10.10237
7	93	94	1.59342
8	94	95	1.14475
9	95	96	0.90997
10	96	97	3.68092
11	97	98	3.34754
12	98	99	0.99657
13	99	48	1.39357
14	48	61	1.63606
15	61	100	3.28828
16	100	101	1.62415
17	101	102	6.12981
18	102	103	3.91592
19	103	104	2.17064
20	104	105	3.40568
21	105	106	2.61877
22	106	107	19.4075
23	107	108	18.63372
24	108	109	1.24907
25	109	110	1.86907
26	110	111	1.41965
27	111	24	0.59877
28	24	33	0.98156
29	33	0	6.02454
TOTAL			116.12912

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 122.

Distancias por nodos de la Ruta 57

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	3	3.2116
2	3	20	1.37235
3	20	56	2.02782
4	56	33	2.40663
5	33	26	3.1208
6	26	18	4.3924
7	18	87	0.45741
8	87	81	2.0512
9	81	74	1.76531
10	74	205	1.93385
11	205	19	1.49755
12	19	2	1.59897
13	2	177	1.44427
14	177	75	6.09704
15	75	188	9.14748
16	188	199	7.52316
17	199	1	2.79938
18	1	39	1.23826
19	39	128	2.71397
20	128	40	0.4292
21	40	63	2.09655
22	63	102	8.10597
23	102	95	6.15253
24	95	127	0.94343
25	127	164	0.61991
26	164	204	0
27	204	161	2.68271
28	161	176	10.72877
29	176	0	2.9279
TOTAL			91.48642

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 123.

Distancias por nodos de la Ruta 58

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	5	0.91175
2	5	41	4.85606
3	41	42	2.8824
4	42	6	0.3432
5	6	32	3.40176
6	32	136	2.80549
7	136	90	1.74092
8	90	38	1.24462
9	38	52	3.78811
10	52	45	4.18845
11	45	53	5.50185
12	53	144	9.4752
13	144	129	10.74425
14	129	120	0.52137
15	120	162	8.32337
16	162	55	12.802
17	55	85	0.05979
18	85	167	0.10653
19	167	152	0.10653
20	152	133	10.21543
21	133	183	10.45494
22	183	187	9.85315
23	187	186	1.76911
24	186	189	2.06395
25	189	105	0.37049
26	105	166	0.70385
27	166	0	6.49741
TOTAL			115.73198

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 124.

Distancias por nodos de la Ruta 59

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	95	3.4285
2	95	114	2.01445
3	114	65	6.12168
4	65	175	8.62422
5	175	85	5.03753
6	85	207	9.75808
7	207	115	1.87002
8	115	213	0.14862
9	213	155	6.69773
10	213	155	13.87402
11	155	195	14.71455
12	195	91	1.57244
13	91	212	5.94721
14	212	117	5.11032
15	117	125	2.21255
16	125	137	0.69431
17	137	164	6.86775
18	164	168	11.06133
19	168	185	9.87535
20	185	196	16.0972
21	196	176	7.66003
22	176	181	5.70714
23	181	189	5.341
24	189	142	7.36813
25	142	144	14.22411
26	144	11	0
27	11	86	0
28	122	151	2.57743
29	151	0	18.37971
TOTAL			192.98541

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 125.

Distancias por nodos de la Ruta 60

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	218	9.38718
2	218	16	2.42496
3	16	48	1.70468
4	48	9	2.50745
5	9	179	1.22098
6	179	152	2.36895
7	152	1	2.53173
8	1	21	3.4188
9	21	30	3.79791
10	30	46	4.02116
11	46	54	3.00417
12	54	169	3.69966
13	169	120	9.70804
14	120	163	7.8402
15	163	211	2.48722
16	211	70	0.71456
17	70	203	2.74473
18	203	47	2.62006
19	47	49	1.40626
20	49	201	1.97594
21	201	53	2.61265
22	53	124	1.88802
23	124	69	3.70558
24	69	177	4.32835
25	177	50	2.97354
26	50	0	8.86209
TOTAL			93.95487

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 126.

Distancias por nodos de la Ruta 61

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	110	5.71122
2	110	88	2.52059
3	88	132	4.92797
4	132	44	2.70807
5	44	162	0.00323
6	162	213	2.16011
7	213	201	2.28424
8	201	116	2.31768
9	116	172	1.83737
10	172	212	2.2304
11	212	64	1.85378
12	64	216	0
13	216	61	0.94664
14	61	215	0
15	215	152	3.02448
16	152	202	2.76542
17	202	205	2.17404
18	205	120	3.7865
19	120	59	2.9805
20	59	177	1.80696
21	177	96	1.95233
22	96	209	3.32643
23	209	148	4.49446
24	148	138	3.19567
25	138	159	1.18869
26	159	184	3.11542
27	184	183	2.1971
28	183	0	5.84907
TOTAL			71.35837

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).

Tabla 127.

Distancias por nodos de la Ruta 62

Recorrido	Desde Nodo	Hacia Nodo	Distancia (km)
1	0	14	5.24499
2	14	15	5.86746
3	15	26	4.8659
4	26	5	4.49316
5	5	7	3.65832
6	7	203	3.2822
7	203	46	6.9806
8	46	217	1.44817
9	217	78	2.73018
10	78	166	2.52443
11	166	195	3.33965
12	195	76	0.71929
13	76	155	4.79405
14	155	80	2.11703
15	80	113	1.2862
16	113	117	1.47847
17	117	118	0.17402
18	118	66	1.37361
19	66	153	0.35521
20	153	160	2.67971
21	160	194	0.15357
22	194	196	2.96626
23	196	54	4.13548
24	54	70	5.42627
25	70	121	1.42924
26	121	173	2.04099
27	173	62	0.28257
28	62	188	5.10957
29	188	0	0.63196
TOTAL			81.58856

Nota. Elaborado a partir de la base de datos de la empresa (2025).



ANEXO 2. RUTAS PENDIENTES PROPUESTAS

Tabla 128.

Rutas Pendientes día 7

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
1	1	-71.54917	-16.38125	1
8	2	-71.6285	-16.3059	1
16	3	-71.5599814	-16.34701	1
31	4	-71.5614789	-16.35137	1
48	5	-71.5466954	-16.35815	1
22	6	-71.5465878	-16.36513	1
41	7	-71.537141	-16.37281	1
39	8	-71.530058	-16.37937	1
9	9	-71.5165385	-16.36071	1
45	10	-71.5181497	-16.36541	1
27	11	-71.5111595	-16.37144	1
46	12	-71.5091811	-16.37192	1
47	13	-71.5160586	-16.3816	1
53	14	-71.5183589	-16.3868	1
32	15	-71.5209757	-16.38455	1
44	16	-71.519001	-16.39154	1
57	17	-71.5260375	-16.39055	1
54	18	-71.5270623	-16.39535	1
49	19	-71.5268	-16.4017	1
12	20	-71.5201346	-16.4092	1
15	21	-71.5181566	-16.41334	1
19	22	-71.5162147	-16.41395	1
5	23	-71.5182	-16.4279	1
18	24	-71.5212231	-16.42895	1
36	25	-71.5250022	-16.42683	1
7	26	-71.5275807	-16.4283	1
55	27	-71.5289893	-16.42053	1
24	28	-71.5295739	-16.41719	1
37	1	-71.5546681	-16.39676	2
42	2	-71.5569539	-16.39794	2
56	3	-71.5332833	-16.40331	2
29	4	-71.5364473	-16.41684	2
34	5	-71.5371257	-16.43463	2
23	6	-71.5262722	-16.43849	2
11	7	-71.5208783	-16.43539	2
51	8	-71.4836735	-16.46863	2
26	9	-71.4954031	-16.42867	2
4	10	-71.5001263	-16.41573	2
10	11	-71.4892008	-16.40715	2
43	12	-71.5031464	-16.40259	2
14	13	-71.5097422	-16.40648	2

33	14	-71.5050952	-16.3975	2
40	15	-71.5173209	-16.40047	2
2	16	-71.5315893	-16.44314	2
30	17	-71.5363315	-16.45311	2
50	18	-71.5546691	-16.45029	2
20	19	-71.5569972	-16.44925	2
21	20	-71.5573488	-16.4384	2
3	21	-71.5564032	-16.42863	2
17	22	-71.5559397	-16.42658	2
13	23	-71.5419679	-16.38385	2
52	24	-71.548055	-16.38832	2
25	25	-71.5463614	-16.39587	2
28	26	-71.5529604	-16.39826	2
35	27	-71.5651	-16.408	2
38	28	-71.5717701	-16.41124	2
6	29	-71.5656902	-16.40689	2
58	-	-71.5175	-16.3898	POSPUESTO

Tabla 129.

Rutas Pendientes día 8

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
24	1	-71.5650841	-16.40733	1
9	2	-71.5688371	-16.41872	1
11	3	-71.5560265	-16.42701	1
8	4	-71.6241982	-16.44365	1
46	5	-71.6185112	-16.4473	1
48	6	-71.5727841	-16.42848	1
4	7	-71.5379966	-16.40578	1
6	8	-71.5297985	-16.41962	1
50	9	-71.5446777	-16.42815	1
2	10	-71.5450144	-16.42758	1
28	11	-71.5562213	-16.44073	1
5	12	-71.5509417	-16.42887	1
10	13	-71.5554749	-16.4072	1
20	14	-71.5569055	-16.39564	1
36	15	-71.5575469	-16.38213	1
16	16	-71.5554	-16.3702	1
27	17	-71.6135484	-16.30904	1
35	18	-71.5426753	-16.32953	1
44	19	-71.5587308	-16.35171	1
41	20	-71.565	-16.354	1
25	21	-71.5612085	-16.36087	1
15	22	-71.5702569	-16.3861	1

14	23	-71.5639785	-16.3912	1
51	24	-71.5624872	-16.3909	1
17	1	-71.5281795	-16.43714	2
39	2	-71.5211165	-16.43595	2
19	3	-71.5226588	-16.44041	2
21	4	-71.5188424	-16.44641	2
33	5	-71.519579	-16.45679	2
43	6	-71.5345984	-16.44832	2
37	7	-71.5349077	-16.4409	2
7	8	-71.5227281	-16.42586	2
42	9	-71.5212231	-16.42895	2
22	10	-71.5183266	-16.42537	2
31	11	-71.4899902	-16.42902	2
34	12	-71.4864559	-16.4166	2
40	13	-71.486147	-16.40705	2
23	14	-71.4918377	-16.40245	2
45	15	-71.4928006	-16.40981	2
29	16	-71.5072665	-16.40221	2
13	17	-71.5145231	-16.40649	2
32	18	-71.5135013	-16.41246	2
3	19	-71.5162944	-16.41397	2
1	20	-71.5187637	-16.41395	2
52	21	-71.5202986	-16.40389	2
53	22	-71.5175	-16.3898	2
26	23	-71.519147	-16.38046	2
18	24	-71.5168476	-16.36717	2
12	25	-71.5157419	-16.36063	2
47	26	-71.5143633	-16.36048	2
38	27	-71.5137273	-16.36203	2
49	28	-71.5282511	-16.37827	2
30	29	-71.543996	-16.37888	2

Tabla 130.

Rutas Pendientes día 9

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
5	1	-71.5399432	-16.429599	1
40	2	-71.538	-16.4305	1
42	3	-71.5289	-16.435	1
17	4	-71.5274156	-16.4357598	1
38	5	-71.5264	-16.4353	1
46	6	-71.5286	-16.4441	1
27	7	-71.5181574	-16.427931	1
7	8	-71.5097105	-16.4264159	1

43	9	-71.5132	-16.4221	1
3	10	-71.5104	-16.4221	1
21	11	-71.4954031	-16.428665	1
33	12	-71.4844972	-16.4319014	1
54	13	-71.4917	-16.4236	1
55	14	-71.4865	-16.4166	1
45	15	-71.4977	-16.4176	1
9	16	-71.5016849	-16.4191552	1
1	17	-71.5063875	-16.4163032	1
37	18	-71.5159745	-16.4144464	1
53	19	-71.5173	-16.4172	1
16	20	-71.5194359	-16.4186402	1
48	21	-71.5160067	-16.4081744	1
13	22	-71.5160067	-16.4081744	1
52	23	-71.5183542	-16.4055293	1
39	24	-71.5235786	-16.3886617	1
31	25	-71.5209757	-16.3845468	1
23	26	-71.5198901	-16.375	1
28	27	-71.5085565	-16.3689761	1
32	28	-71.516944	-16.3617983	1
8	29	-71.521415	-16.3686981	1
34	30	-71.5408987	-16.3817293	1
56	1	-71.5492125	-16.3960191	2
26	2	-71.5482934	-16.3955627	2
44	3	-71.5403145	-16.3921187	2
50	4	-71.5439528	-16.3414436	2
11	5	-71.5249	-16.3028	2
35	6	-71.5480489	-16.3271872	2
47	7	-71.5725771	-16.3258599	2
60	8	-71.5910983	-16.3203141	2
12	9	-71.5611837	-16.3490397	2
6	10	-71.5645083	-16.3657451	2
29	11	-71.5616848	-16.376385	2
36	12	-71.5534021	-16.3828504	2
20	13	-71.5706024	-16.3901387	2
58	14	-71.581299	-16.4019289	2
57	1	-71.5501479	-16.4063743	SUBCONTR
19	2	-71.5474963	-16.4114381	SUBCONTR
41	3	-71.5298	-16.4171	SUBCONTR
22	4	-71.5295092	-16.4180848	SUBCONTR
4	5	-71.5297985	-16.4196233	SUBCONTR
14	6	-71.5281309	-16.4229165	SUBCONTR
59	7	-71.5505048	-16.4246181	SUBCONTR
30	8	-71.5564166	-16.4284365	SUBCONTR
18	9	-71.5940215	-16.4470881	SUBCONTR
51	10	-71.5818854	-16.4341438	SUBCONTR

2	11	-71.5514879	-16.4506721	SUBCONTR
49	12	-71.5584042	-16.4455175	SUBCONTR
15	13	-71.5715919	-16.4350458	SUBCONTR
25	14	-71.5717369	-16.4354412	SUBCONTR
24	15	-71.5687465	-16.429261	SUBCONTR
10	16	-71.5611736	-16.4143632	SUBCONTR

Tabla 131.

Rutas Pendientes día 10

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
41	1	-71.5268	-16.4017	1
39	2	-71.52011	-16.40362	1
20	3	-71.5163535	-16.4103192	1
34	4	-71.50738	-16.40629	1
40	5	-71.5105127	-16.4038857	1
19	6	-71.49795	-16.40115	1
3	7	-71.48967	-16.4168	1
11	8	-71.4844972	-16.4319014	1
43	9	-71.50457	-16.43308	1
30	10	-71.51477	-16.44549	1
5	11	-71.519579	-16.4567866	1
23	12	-71.52007	-16.45718	1
18	13	-71.537	-16.45171	1
51	14	-71.5349077	-16.4408984	1
17	15	-71.51949	-16.39759	1
26	16	-71.51857	-16.39687	1
42	17	-71.5199647	-16.3920746	1
4	18	-71.5174645	-16.3898021	1
27	19	-71.51238	-16.3904	1
1	20	-71.51742	-16.38824	1
9	21	-71.52293	-16.39298	1
36	22	-71.53729	-16.37361	1
13	23	-71.5445	-16.3585	1
10	24	-71.54356	-16.35727	1
6	25	-71.54782	-16.38112	1
14	26	-71.55243	-16.37346	1
46	27	-71.5701224	-16.3854306	1
31	28	-71.57846	-16.39161	1
2	1	-71.5527502	-16.4072662	2
33	2	-71.5513403	-16.4009949	2
25	3	-71.56401	-16.39085	2
38	4	-71.56304	-16.39008	2

47	5	-71.560645	-16.3939757	2
53	6	-71.54883	-16.39116	2
44	7	-71.5379966	-16.4057832	2
54	8	-71.53285	-16.41125	2
29	9	-71.53044	-16.41141	2
52	10	-71.52973	-16.41834	2
24	11	-71.51932	-16.41924	2
32	12	-71.5263	-16.4238	2
35	13	-71.52325	-16.43103	2
16	14	-71.52756	-16.43457	2
45	15	-71.53517	-16.43569	2
37	16	-71.53658	-16.43369	2
50	17	-71.538047	-16.4305032	2
7	18	-71.53793	-16.42837	2
22	19	-71.533359	-16.4340131	2
21	20	-71.53547	-16.42734	2
28	21	-71.55483	-16.44222	2
15	22	-71.55393	-16.43944	2
49	23	-71.557	-16.4383	2
55	24	-71.5650983	-16.4267755	2
8	25	-71.57005	-16.42375	2
12	26	-71.5663944	-16.4076311	2
48	27	-71.56566	-16.40721	2

Tabla 132.

Rutas Pendientes día 11

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
32	1	-71.5263056	-16.385388	1
3	2	-71.50479	-16.37592	1
28	3	-71.521415	-16.368698	1
8	4	-71.5236	-16.3969	1
19	5	-71.5202554	-16.398881	1
38	6	-71.51925	-16.39842	1
53	7	-71.53322	-16.4034	1
37	8	-71.539	-16.4118	1
43	9	-71.53649	-16.41776	1
47	10	-71.53941	-16.43578	1
27	11	-71.52458	-16.42813	1
23	12	-71.52532	-16.42245	1
29	13	-71.50323	-16.43159	1
30	14	-71.5051329	-16.411712	1
50	15	-71.50168	-16.41275	1
25	16	-71.49882	-16.41181	1

31	17	-71.49789	-16.40386	1
1	18	-71.50998	-16.40784	1
40	19	-71.5135013	-16.412465	1
24	20	-71.52013	-16.44122	1
49	21	-71.5241	-16.4388	1
11	22	-71.53226	-16.44445	1
15	23	-71.53695	-16.45382	1
46	24	-71.5569972	-16.449247	1
17	25	-71.55436	-16.43909	1
55	26	-71.5562	-16.4407	1
42	27	-71.56181	-16.44051	1
14	28	-71.61803	-16.4462	1
4	29	-71.57231	-16.43456	1
5	1	-71.5696	-16.41213	2
33	2	-71.5759312	-16.413196	2
45	3	-71.57012	-16.40228	2
20	4	-71.56675	-16.39095	2
44	5	-71.56402	-16.3893	2
18	6	-71.55474	-16.38532	2
13	7	-71.55572	-16.38415	2
36	8	-71.56234	-16.36612	2
34	9	-71.56342	-16.3557	2
48	10	-71.5614789	-16.351373	2
10	11	-71.5480489	-16.327187	2
39	12	-71.54941	-16.33476	2
12	13	-71.54537	-16.34022	2
26	14	-71.54143	-16.34309	2
9	15	-71.54192	-16.35165	2
2	16	-71.54436	-16.35868	2
7	17	-71.54995	-16.38521	2
51	18	-71.54885	-16.38896	2
52	19	-71.55651	-16.39542	2
35	20	-71.55565	-16.39627	2
41	21	-71.55693	-16.39712	2
16	22	-71.55719	-16.39746	2
54	23	-71.5571	-16.39796	2
22	24	-71.55517	-16.39724	2
21	25	-71.55781	-16.40323	2
6	26	-71.55576	-16.42265	2

Tabla 133.

Rutas Pendientes día 12

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
34	1	-71.53815	-16.39774	1
33	2	-71.52437	-16.39257	1
42	3	-71.518	-16.37418	1
8	4	-71.52566	-16.3664	1
52	5	-71.5286	-16.36848	1
37	6	-71.5199647	-16.3920746	1
2	7	-71.51961	-16.39035	1
4	8	-71.51306	-16.39368	1
36	9	-71.5082	-16.40446	1
31	10	-71.49789	-16.40894	1
22	11	-71.49139	-16.40984	1
28	12	-71.49019	-16.41065	1
51	13	-71.4865	-16.4166	1
47	14	-71.50567	-16.42446	1
54	15	-71.5159745	-16.4144464	1
40	16	-71.51692	-16.40998	1
30	17	-71.5173209	-16.400473	1
26	18	-71.52536	-16.41109	1
3	19	-71.52625	-16.426	1
5	20	-71.52797	-16.42395	1
24	21	-71.52689	-16.42397	1
50	22	-71.5266	-16.43005	1
6	23	-71.52128	-16.42897	1
38	24	-71.5180618	-16.4360028	1
9	25	-71.51996	-16.446	1
25	26	-71.53782	-16.44911	1
1	27	-71.55239	-16.44462	1
12	28	-71.56218	-16.44819	1
17	29	-71.5564166	-16.4284365	1
11	1	-71.5529604	-16.3982551	2
43	2	-71.56788	-16.39357	2
48	3	-71.56573	-16.38959	2
41	4	-71.5594973	-16.3748426	2
46	5	-71.569249	-16.3765482	2
13	6	-71.5631291	-16.3493339	2
14	7	-71.54202	-16.3308	2
49	8	-71.54598	-16.37843	2
7	9	-71.5408987	-16.3817293	2
53	10	-71.54132	-16.38665	2
18	11	-71.54993	-16.3848	2
32	12	-71.54912	-16.39489	2

45	13	-71.545957	-16.3983992	2
20	14	-71.55017	-16.40113	2
15	15	-71.55131	-16.40587	2
44	16	-71.55261	-16.40723	2
39	17	-71.5560003	-16.406037	2
27	18	-71.55531	-16.40739	2
21	19	-71.549	-16.4226	2
10	20	-71.5437018	-16.4278976	2
16	21	-71.5364273	-16.4322645	2
19	22	-71.54079	-16.41779	2
35	23	-71.57199	-16.42863	2
29	24	-71.5728936	-16.4258227	2
23	25	-71.5876	-16.4262	2

Tabla 134.

Rutas Pendientes día 13

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
42	1	-71.53088	-16.39345	1
3	2	-71.52737	-16.39251	1
48	3	-71.5270623	-16.3953486	1
28	4	-71.52205	-16.40223	1
36	5	-71.52268	-16.39457	1
38	6	-71.50348	-16.39565	1
40	7	-71.51098	-16.39427	1
44	8	-71.51258	-16.40141	1
6	9	-71.5082	-16.40446	1
26	10	-71.4983249	-16.4153785	1
51	11	-71.49145	-16.40963	1
7	12	-71.49037	-16.4347	1
49	13	-71.4954	-16.4287	1
21	14	-71.5132	-16.4221	1
50	15	-71.51692	-16.40998	1
13	16	-71.51375	-16.37618	1
25	17	-71.51548	-16.36411	1
19	18	-71.52653	-16.31638	1
16	19	-71.55882	-16.32763	1
4	20	-71.59465	-16.3233	1
17	21	-71.61113	-16.34055	1
27	22	-71.56189	-16.34847	1
15	23	-71.56069	-16.36638	1
37	24	-71.56632	-16.37014	1
39	25	-71.5605696	-16.3817267	1
20	26	-71.5595	-16.3748	1

2	27	-71.5260925	-16.4057307	1
34	28	-71.53105	-16.40305	1
35	29	-71.5391	-16.41253	1
22	1	-71.57269	-16.4009	2
53	2	-71.56263	-16.40837	2
18	3	-71.56566	-16.40721	2
46	4	-71.5564166	-16.4284365	2
29	5	-71.5562	-16.4407	2
45	6	-71.55116	-16.44405	2
5	7	-71.51815	-16.43585	2
24	8	-71.52142	-16.43713	2
14	9	-71.52646	-16.43592	2
52	10	-71.53282	-16.42854	2
43	11	-71.5450144	-16.4275813	2
33	12	-71.5715919	-16.4350458	2
47	13	-71.5755594	-16.4274144	2
31	14	-71.57834	-16.41436	2
8	15	-71.55421	-16.40707	2
11	16	-71.54971	-16.39995	2
32	17	-71.552369	-16.3912525	2
9	18	-71.5447539	-16.3885342	2
10	19	-71.54265	-16.38509	2
41	20	-71.54782	-16.38112	2
12	21	-71.5642329	-16.3878137	2
23	22	-71.56397	-16.39178	2
1	23	-71.55751	-16.39714	2
30	24	-71.55719	-16.39746	2

Tabla 135.

Rutas Pendientes día 14

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
29	1	-71.5559397	-16.4265822	1
28	2	-71.59266	-16.44747	1
38	3	-71.56087	-16.44175	1
43	4	-71.52727	-16.44971	1
25	5	-71.51966	-16.45507	1
37	6	-71.52708	-16.46557	1
58	7	-71.48437	-16.46759	1
22	8	-71.51509	-16.44418	1
56	9	-71.52306	-16.43856	1
3	10	-71.51743	-16.43179	1
2	11	-71.5240018	-16.4361452	1
14	12	-71.52818	-16.435	1

24	13	-71.57457	-16.4275	1
35	14	-71.57707	-16.42747	1
61	15	-71.5658701	-16.4077103	1
42	16	-71.5663944	-16.4076311	1
30	1	-71.55232	-16.408	2
57	2	-71.53758	-16.40905	2
59	3	-71.53625	-16.4115	2
34	4	-71.53195	-16.41927	2
6	5	-71.5295092	-16.4180848	2
49	6	-71.5295739	-16.4171934	2
18	7	-71.53327	-16.41325	2
27	8	-71.52194	-16.40338	2
51	9	-71.5231644	-16.4088733	2
19	10	-71.5194	-16.4186	2
40	11	-71.5145231	-16.4064927	2
26	12	-71.51496	-16.41533	2
45	13	-71.4917113	-16.4236464	2
39	14	-71.49506	-16.41209	2
12	15	-71.49386	-16.4057	2
60	16	-71.49591	-16.40438	2
50	17	-71.49874	-16.40495	2
31	18	-71.5077357	-16.3989513	2
52	19	-71.52363	-16.39573	2
23	20	-71.52098	-16.39136	2
15	21	-71.52204	-16.39191	2
54	22	-71.52363	-16.38869	2
32	23	-71.5137273	-16.3620264	2
47	24	-71.51858	-16.38106	2
21	25	-71.52396	-16.3809	2
41	26	-71.52909	-16.3764	2
16	27	-71.53562	-16.39092	2
36	28	-71.54679	-16.40146	2
20	1	-71.555882	-16.4012247	SUBCONTR
46	2	-71.55478	-16.40538	SUBCONTR
44	3	-71.55329	-16.40165	SUBCONTR
8	4	-71.5477654	-16.3986045	SUBCONTR
5	5	-71.55134	-16.38589	SUBCONTR
13	6	-71.54509	-16.35555	SUBCONTR
53	7	-71.55976	-16.35371	SUBCONTR
11	8	-71.54732	-16.33076	SUBCONTR
9	9	-71.59033	-16.31464	SUBCONTR
55	10	-71.5984945	-16.3311909	SUBCONTR
17	11	-71.56224	-16.3735	SUBCONTR
33	12	-71.56399	-16.39091	SUBCONTR
1	13	-71.5645	-16.39277	SUBCONTR
4	14	-71.57289	-16.39061	SUBCONTR

48	15	-71.5738	-16.39043	SUBCONTR
10	16	-71.57348	-16.39714	SUBCONTR
7	17	-71.57269	-16.4001	SUBCONTR

Tabla 136.

Rutas Pendientes día 15

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
22	1	-71.5653	-16.40714	1
7	2	-71.5815	-16.43647	1
14	3	-71.59083	-16.44921	1
4	4	-71.57089	-16.43561	1
45	5	-71.5562213	-16.4407268	1
5	6	-71.55045	-16.44481	1
18	7	-71.55977	-16.43892	1
36	8	-71.56176	-16.43798	1
1	9	-71.5564166	-16.4284365	1
32	10	-71.5559397	-16.4265822	1
27	11	-71.5327	-16.42633	1
54	12	-71.55478	-16.40538	1
41	13	-71.55307	-16.41186	1
11	14	-71.54971	-16.39995	1
10	15	-71.56563	-16.38969	1
47	16	-71.5637022	-16.3916033	1
38	17	-71.56311	-16.39132	1
17	18	-71.56243	-16.39085	1
35	19	-71.56317	-16.38721	1
50	20	-71.562	-16.3869	1
48	21	-71.55257	-16.38879	1
15	22	-71.54404	-16.37882	1
44	23	-71.5445867	-16.3665199	1
6	24	-71.54893	-16.32661	1
13	25	-71.5640428	-16.3276644	1
56	26	-71.55028	-16.31291	1
24	27	-71.59379	-16.32372	1
43	28	-71.57858	-16.39158	1
16	1	-71.53562	-16.39092	2
49	2	-71.53088	-16.39345	2
42	3	-71.52584	-16.39092	2
55	4	-71.52475	-16.39159	2
34	5	-71.52573	-16.3759	2
25	6	-71.5175	-16.3644	2
53	7	-71.5194	-16.36646	2
20	8	-71.52256	-16.38117	2

23	9	-71.52401	-16.38138	2
3	10	-71.5222	-16.3853	2
46	11	-71.51612	-16.39182	2
51	12	-71.51712	-16.39878	2
29	13	-71.52194	-16.40338	2
30	14	-71.52205	-16.40223	2
12	15	-71.51572	-16.40913	2
19	16	-71.49736	-16.39959	2
26	17	-71.50623	-16.40445	2
9	18	-71.4977	-16.41576	2
52	19	-71.49767	-16.41852	2
28	20	-71.5063875	-16.4163032	2
31	21	-71.516	-16.4144	2
8	22	-71.51535	-16.41271	2
21	23	-71.5132	-16.4221	2
33	24	-71.51191	-16.42897	2
37	25	-71.51111	-16.43129	2
2	26	-71.5260925	-16.4057307	2
39	27	-71.53105	-16.40305	2
40	28	-71.5391	-16.41253	2

Tabla 137.

Rutas Pendientes día 16

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
25	1	-71.55781	-16.40323	1
16	2	-71.55683	-16.39551	1
30	3	-71.54568	-16.39367	1
13	4	-71.54272	-16.38541	1
3	5	-71.54417	-16.35653	1
9	6	-71.63277	-16.29113	1
26	7	-71.6285402	-16.3059319	1
33	8	-71.59379	-16.32372	1
8	9	-71.55288	-16.37214	1
52	10	-71.55978	-16.38143	1
7	11	-71.56236	-16.38231	1
5	12	-71.57332	-16.38817	1
27	13	-71.53397	-16.4023	1
43	14	-71.5332833	-16.4033118	1
20	15	-71.5391	-16.41253	1
44	16	-71.53902	-16.41927	1
2	17	-71.56629	-16.39101	1
48	18	-71.56304	-16.39008	1
28	19	-71.56649	-16.39363	1

15	20	-71.57271	-16.42557	1
38	21	-71.5818854	-16.4341438	1
51	22	-71.57199	-16.42863	1
4	23	-71.56881	-16.41173	1
37	1	-71.53451	-16.38858	2
11	2	-71.52852	-16.37057	2
45	3	-71.5157419	-16.3606339	2
47	4	-71.51728	-16.36669	2
29	5	-71.51012	-16.38325	2
32	6	-71.5255	-16.3817	2
14	7	-71.5260375	-16.3905497	2
31	8	-71.52437	-16.39257	2
34	9	-71.52693	-16.39289	2
42	10	-71.52242	-16.39728	2
49	11	-71.52194	-16.40338	2
41	12	-71.51794	-16.40664	2
1	13	-71.5082	-16.40446	2
36	14	-71.50087	-16.40127	2
23	15	-71.49714	-16.4091	2
39	16	-71.4928006	-16.4098069	2
40	17	-71.4892	-16.4071	2
24	18	-71.4865	-16.4166	2
12	19	-71.49727	-16.423	2
17	20	-71.5126362	-16.4142219	2
35	21	-71.51733	-16.4146	2
21	22	-71.51847	-16.42553	2
53	23	-71.5199216	-16.4237874	2
50	24	-71.51785	-16.42863	2
10	25	-71.51815	-16.43585	2
6	26	-71.51266	-16.44379	2
46	27	-71.53586	-16.43654	2
18	28	-71.54044	-16.42904	2
19	29	-71.53916	-16.42978	2
22	30	-71.5543525	-16.4463917	2

Tabla 138.

Rutas Pendientes día 17

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
19	1	-71.54679	-16.40146	1
24	2	-71.54634	-16.39592	1
55	3	-71.55542	-16.38005	1
47	4	-71.55288	-16.37214	1
12	5	-71.56313	-16.36664	1

23	6	-71.59379	-16.32372	1
5	7	-71.54548	-16.34034	1
1	8	-71.54232	-16.35423	1
21	9	-71.5441259	-16.364369	1
8	10	-71.54463	-16.36657	1
44	11	-71.53035	-16.40158	1
46	12	-71.52268	-16.39457	1
36	13	-71.52728	-16.38877	1
10	14	-71.5263056	-16.3853878	1
39	15	-71.52271	-16.37968	1
28	16	-71.51445	-16.37314	1
11	17	-71.5264	-16.3755	1
33	18	-71.5396	-16.3825	1
38	19	-71.5338687	-16.4020602	1
48	20	-71.5283	-16.4162	1
2	21	-71.52837	-16.41614	1
45	22	-71.54129	-16.42246	1
17	23	-71.57124	-16.43647	1
42	24	-71.57216	-16.43467	1
9	25	-71.61892	-16.44689	1
32	26	-71.58977	-16.44856	1
30	27	-71.5650983	-16.4267755	1
52	1	-71.527193	-16.4298714	2
31	2	-71.51848	-16.42542	2
29	3	-71.51931	-16.41473	2
14	4	-71.5078307	-16.4085277	2
22	5	-71.49769	-16.40481	2
51	6	-71.49789	-16.40386	2
15	7	-71.4917536	-16.4031127	2
56	8	-71.49318	-16.40411	2
20	9	-71.49972	-16.41307	2
37	10	-71.4917113	-16.4236464	2
43	11	-71.49907	-16.41743	2
57	12	-71.501156	-16.4161858	2
16	13	-71.51263	-16.42184	2
7	14	-71.516712	-16.4308809	2
13	15	-71.50324	-16.44374	2
18	16	-71.48946	-16.47183	2
27	17	-71.51936	-16.47385	2
25	18	-71.52418	-16.46147	2
54	19	-71.5229833	-16.4604077	2
35	20	-71.51955	-16.4473	2
3	21	-71.52698	-16.44672	2
53	22	-71.53038	-16.44908	2
34	23	-71.5285594	-16.4441089	2
26	24	-71.5240713	-16.4402854	2

40	25	-71.5274156	-16.4357598	2
4	26	-71.53187	-16.4377	2
6	-	-71.57666	-16.39202	POSPUESTO
41	-	-71.57282	-16.41256	POSPUESTO
49	-	-71.57409	-16.40046	POSPUESTO
50	-	-71.56831	-16.40925	POSPUESTO

Tabla 139.

Rutas Pendientes día 18

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
4	1	-71.55134	-16.40099	1
22	2	-71.5462	-16.3822	1
42	3	-71.52471	-16.37901	1
54	4	-71.51969	-16.37326	1
28	5	-71.5194	-16.36646	1
33	6	-71.5175	-16.3644	1
56	7	-71.51256	-16.3722	1
27	8	-71.5063	-16.372	1
57	9	-71.5153	-16.38515	1
37	10	-71.5124	-16.3907	1
11	11	-71.50802	-16.396	1
38	12	-71.5077	-16.399	1
55	13	-71.5077	-16.399	1
45	14	-71.49175	-16.40311	1
30	15	-71.485	-16.40581	1
40	16	-71.4892	-16.40715	1
16	17	-71.4983	-16.4154	1
43	18	-71.50168	-16.41916	1
18	19	-71.51597	-16.41837	1
15	20	-71.5194	-16.4186	1
6	21	-71.52172	-16.41581	1
2	22	-71.51601	-16.40817	1
41	23	-71.5467	-16.35815	1
48	24	-71.54577	-16.35487	1
35	25	-71.5249	-16.3028	1
49	26	-71.5513	-16.3362	1
51	27	-71.58093	-16.32433	1
13	28	-71.557	-16.3731	1
53	29	-71.55636	-16.37865	1
9	30	-71.56395	-16.39085	1
26	1	-71.54129	-16.42246	2
46	2	-71.53916	-16.42978	2
19	3	-71.53941	-16.43578	2

34	4	-71.53643	-16.43226	2
17	5	-71.523	-16.4604	2
52	6	-71.50142	-16.46129	2
23	7	-71.51815	-16.42412	2
24	8	-71.51815	-16.42546	2
50	9	-71.52122	-16.42895	2
10	10	-71.52124	-16.42658	2
31	11	-71.52719	-16.42987	2
12	12	-71.52891	-16.4318	2
39	13	-71.55703	-16.44386	2
29	14	-71.5573	-16.44178	2
32	15	-71.55794	-16.43985	2
8	16	-71.59083	-16.44921	2
44	17	-71.57556	-16.42741	2
20	18	-71.5729	-16.4258	2
36	19	-71.5651	-16.4268	2
1	20	-71.54267	-16.40252	2
5	21	-71.54596	-16.3984	2
3	22	-71.55384	-16.39693	2
14	23	-71.55683	-16.39551	2
25	24	-71.55698	-16.40281	2
7	-	-71.57853	-16.41393	POSPUESTO
21	-	-71.5703	-16.3949	POSPUESTO
47	-	-71.57869	-16.41281	POSPUESTO
58	-	-71.57666	-16.39202	POSPUESTO
59	-	-71.57282	-16.41256	POSPUESTO
60	-	-71.57409	-16.40046	POSPUESTO
61	-	-71.56831	-16.40925	POSPUESTO

Tabla 140.

Rutas Pendientes día 19

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
63	1	-71.53643	-16.43226	1
62	2	-71.53336	-16.43401	1
17	3	-71.5289	-16.435	1
47	4	-71.52889	-16.43499	1
15	5	-71.52669	-16.43621	1
27	6	-71.5312	-16.45357	1
12	7	-71.52528	-16.46788	1
19	8	-71.48678	-16.46618	1
23	9	-71.51494	-16.44514	1
52	10	-71.52086	-16.43212	1
16	11	-71.51555	-16.42994	1

31	12	-71.50679	-16.42035	1
48	13	-71.48999	-16.42902	1
3	14	-71.50116	-16.41619	1
6	15	-71.4928	-16.40981	1
44	16	-71.53387	-16.40206	1
58	17	-71.4892	-16.40715	1
40	18	-71.51452	-16.40649	1
30	19	-71.5135	-16.41113	1
5	20	-71.5135	-16.41246	1
57	21	-71.51597	-16.41445	1
29	22	-71.51635	-16.41032	1
2	23	-71.52172	-16.41581	1
46	24	-71.52052	-16.42849	1
18	25	-71.52813	-16.42292	1
35	26	-71.52882	-16.41733	1
50	27	-71.52881	-16.41417	1
37	1	-71.54371	-16.39822	2
60	2	-71.54596	-16.3984	2
9	3	-71.54659	-16.39693	2
22	4	-71.55237	-16.39125	2
61	5	-71.55238	-16.39298	2
42	6	-71.54734	-16.38834	2
11	7	-71.55937	-16.378	2
1	8	-71.56279	-16.36663	2
59	9	-71.62854	-16.30593	2
14	10	-71.55129	-16.33619	2
24	11	-71.54445	-16.34174	2
64	12	-71.54395	-16.34144	2
39	13	-71.54748	-16.36128	2
25	14	-71.54413	-16.36437	2
53	15	-71.5261	-16.38112	2
51	16	-71.51915	-16.38046	2
21	17	-71.51027	-16.38386	2
55	18	-71.51237	-16.39068	2
54	19	-71.5175	-16.3898	2
36	20	-71.52609	-16.40573	2
43	21	-71.53398	-16.41031	2
56	22	-71.53253	-16.41073	2
28	23	-71.53249	-16.41164	2
8	24	-71.53914	-16.40696	2
4	25	-71.538	-16.40578	2
7	26	-71.54347	-16.40698	2
41	27	-71.53434	-16.42414	2
10	28	-71.53718	-16.42593	2
45	29	-71.54129	-16.42246	2
13	1	-71.56511	-16.40795	SUBCONT

32	2	-71.61729	-16.44587	SUBCONT
33	3	-71.6242	-16.44365	SUBCONT
34	4	-71.58758	-16.42624	SUBCONT
65	5	-71.57853	-16.41393	SUBCONT
67	6	-71.57869	-16.41281	SUBCONT
26	7	-71.57593	-16.4132	SUBCONT
69	8	-71.57282	-16.41256	SUBCONT
66	9	-71.5703	-16.3949	SUBCONT
49	10	-71.5738	-16.39043	SUBCONT
68	11	-71.57666	-16.39202	SUBCONT
70	12	-71.57409	-16.40046	SUBCONT
20	13	-71.55431	-16.39551	SUBCONT
38	14	-71.55588	-16.40122	SUBCONT
71	-	-71.56831	-16.40925	POSPUESTO

Tabla 141.

Rutas Pendientes día 20

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
27	1	-71.5181504	-16.4241188	1
16	2	-71.51111	-16.43129	1
9	3	-71.501424	-16.4612946	1
40	4	-71.5229833	-16.4604077	1
3	5	-71.5157	-16.43	1
18	6	-71.5155518	-16.4299422	1
8	7	-71.5194359	-16.4186402	1
28	8	-71.51597	-16.41837	1
37	9	-71.4977	-16.41576	1
41	10	-71.4976876	-16.4176439	1
22	11	-71.4892	-16.4071	1
44	12	-71.4975046	-16.3989296	1
7	13	-71.5077357	-16.3989513	1
36	14	-71.5083787	-16.4028345	1
33	15	-71.5135009	-16.4111349	1
29	16	-71.5173209	-16.400473	1
4	17	-71.523812	-16.3872418	1
1	18	-71.5282966	-16.3800218	1
2	19	-71.5243363	-16.3775576	1
15	20	-71.5255045	-16.3817315	1
19	21	-71.5154053	-16.3876301	1
17	22	-71.5084433	-16.3822735	1
6	23	-71.5140559	-16.3768027	1
14	24	-71.51445	-16.37314	1
5	25	-71.5250515	-16.3666897	1

11	26	-71.52566	-16.3664	1
21	27	-71.5262078	-16.3673056	1
12	28	-71.5401433	-16.3849903	1
39	29	-71.5447539	-16.3885342	1
46	1	-71.56831	-16.40925	2
24	2	-71.5562	-16.4407	2
30	3	-71.5549318	-16.4387406	2
45	4	-71.5549	-16.4387	2
23	5	-71.5286	-16.4441	2
42	6	-71.5245417	-16.4406791	2
35	7	-71.527193	-16.4298714	2
13	8	-71.5428228	-16.4287165	2
26	9	-71.5637022	-16.3916033	2
34	10	-71.5706024	-16.3901387	2
10	11	-71.57289	-16.39061	2
25	12	-71.5702569	-16.386096	2
31	13	-71.5694218	-16.3271862	2
38	14	-71.5640428	-16.3276644	2
43	15	-71.5631291	-16.3493339	2
32	16	-71.5548308	-16.3726383	2
20	17	-71.5567794	-16.3953798	2

Tabla 142.

Rutas Pendientes día 21

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
24	1	-71.56529	-16.38882	1
7	2	-71.57112	-16.38214	1
37	3	-71.5738	-16.39043	1
4	4	-71.544	-16.37888	1
28	5	-71.5463	-16.3776	1
33	6	-71.5249	-16.3028	1
41	7	-71.5499	-16.33736	1
20	8	-71.5513	-16.3362	1
31	9	-71.56942	-16.32719	1
43	10	-71.59589	-16.33356	1
32	11	-71.565	-16.354	1
30	12	-71.5595	-16.3748	1
12	13	-71.5595	-16.37484	1
10	14	-71.55978	-16.38143	1
29	15	-71.5527	-16.3785	1
34	16	-71.54995	-16.38521	1
17	17	-71.53317	-16.40347	1
27	18	-71.54479	-16.40955	1

44	1	-71.53398	-16.41031	2
51	2	-71.53253	-16.41073	2
19	3	-71.52551	-16.40949	2
52	4	-71.52609	-16.40573	2
55	5	-71.52643	-16.39813	2
53	6	-71.52026	-16.39888	2
45	7	-71.52194	-16.40338	2
11	8	-71.51635	-16.41032	2
56	9	-71.5135	-16.41246	2
13	10	-71.5175	-16.4249	2
18	11	-71.51477	-16.43184	2
38	12	-71.5104	-16.4221	2
5	13	-71.48999	-16.42902	2
50	14	-71.49714	-16.4091	2
22	15	-71.50998	-16.40784	2
47	16	-71.51051	-16.40389	2
3	17	-71.50727	-16.40221	2
58	18	-71.51253	-16.39074	2
35	19	-71.5124	-16.3907	2
25	20	-71.51083	-16.39188	2
1	21	-71.519	-16.39154	2
6	22	-71.51996	-16.39207	2
16	23	-71.52168	-16.38168	2
23	24	-71.51218	-16.37513	2
57	25	-71.51121	-16.3742	2
15	26	-71.50926	-16.37124	2
2	27	-71.51815	-16.36541	2
14	28	-71.53959	-16.38249	2
46	1	-71.53805	-16.4305	SUBCON
9	2	-71.52124	-16.42658	SUBCON
8	3	-71.5289	-16.435	SUBCON
36	4	-71.52669	-16.43621	SUBCON
39	5	-71.5312	-16.45357	SUBCON
49	6	-71.53565	-16.45064	SUBCON
48	7	-71.54811	-16.44481	SUBCON
26	8	-71.55467	-16.45029	SUBCON
42	9	-71.56431	-16.44546	SUBCON
21	10	-71.56718	-16.42516	SUBCON
54	11	-71.57262	-16.42772	SUBCON
40	12	-71.579	-16.41495	SUBCON

Tabla 143.

Rutas Pendientes día 22

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
16	1	-71.5656	-16.4072	1
35	2	-71.57869	-16.41281	1
25	3	-71.5756	-16.4274	1
18	4	-71.6161	-16.4203	1
4	5	-71.61851	-16.4473	1
8	6	-71.59098	-16.44916	1
1	7	-71.5717	-16.4354	1
27	8	-71.57159	-16.43505	1
11	9	-71.55794	-16.43985	1
42	10	-71.56249	-16.42902	1
6	11	-71.5565	-16.42734	1
23	12	-71.556	-16.40604	1
34	13	-71.55624	-16.39293	1
30	14	-71.53767	-16.39568	1
33	15	-71.54734	-16.38834	1
3	16	-71.54459	-16.36652	1
48	17	-71.54577	-16.35487	1
49	18	-71.57071	-16.35249	1
46	19	-71.55882	-16.32763	1
38	20	-71.58113	-16.32471	1
47	21	-71.61113	-16.34055	1
45	22	-71.56069	-16.36638	1
10	23	-71.57012	-16.38543	1
52	24	-71.57269	-16.39594	1
13	1	-71.53677	-16.43215	2
31	2	-71.52889	-16.43499	2
28	3	-71.52565	-16.43136	2
21	4	-71.51912	-16.43196	2
24	5	-71.51961	-16.45561	2
41	6	-71.52243	-16.43658	2
12	7	-71.51038	-16.42212	2
19	8	-71.5104	-16.4221	2
40	9	-71.4954	-16.4287	2
39	10	-71.49396	-16.41758	2
43	11	-71.48367	-16.40347	2
20	12	-71.4928	-16.40981	2
14	13	-71.5017	-16.4073	2
26	14	-71.51708	-16.41605	2
32	15	-71.5171	-16.39876	2
7	16	-71.52064	-16.39395	2
36	17	-71.51746	-16.3898	2

44	18	-71.5203	-16.38173	2
50	19	-71.52471	-16.37901	2
17	20	-71.5063	-16.372	2
5	21	-71.51436	-16.36048	2
29	22	-71.52215	-16.38535	2
2	23	-71.52706	-16.39535	2
9	24	-71.52858	-16.40003	2
37	25	-71.52448	-16.40869	2
51	26	-71.52551	-16.40949	2
15	27	-71.5332	-16.4128	2
22	28	-71.54347	-16.40698	2

Tabla 144.

Rutas Pendientes día 23

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
47	1	-71.5523824	-16.3929813	1
2	2	-71.5474274	-16.3872273	1
29	3	-71.5590466	-16.3829843	1
41	4	-71.5594973	-16.3748426	1
31	5	-71.55288	-16.37214	1
50	6	-71.5548308	-16.3726383	1
13	7	-71.5445867	-16.3665199	1
36	8	-71.63277	-16.29113	1
51	9	-71.5627854	-16.3666346	1
16	10	-71.5593691	-16.3779999	1
30	11	-71.56236	-16.38231	1
1	12	-71.5282966	-16.3800218	1
53	13	-71.5216753	-16.3816825	1
48	14	-71.5247079	-16.3790123	1
6	15	-71.5243363	-16.3775576	1
25	16	-71.5185846	-16.3741466	1
8	17	-71.5181497	-16.3654103	1
22	18	-71.5250515	-16.3666897	1
37	19	-71.5262	-16.3673	1
24	20	-71.5140559	-16.3768027	1
49	21	-71.5092592	-16.3712429	1
54	22	-71.5063	-16.372	1
34	23	-71.5102665	-16.3838632	1
33	24	-71.5183589	-16.3868044	1
59	25	-71.53322	-16.4034	1
52	26	-71.5391444	-16.406957	1
3	27	-71.5426671	-16.4025213	1
56	28	-71.5507169	-16.4098518	1

43	1	-71.5658701	-16.4077103	2
4	2	-71.5755594	-16.4274144	2
9	3	-71.5875843	-16.426241	2
46	4	-71.6172858	-16.445869	2
38	5	-71.5650983	-16.4267755	2
23	6	-71.5565031	-16.4273407	2
27	7	-71.5371777	-16.4259282	2
35	8	-71.5212409	-16.4265777	2
17	9	-71.52837	-16.41614	2
44	10	-71.5231644	-16.4088733	2
26	11	-71.5217209	-16.4158085	2
39	12	-71.50567	-16.42446	2
15	13	-71.4935081	-16.4197841	2
42	14	-71.49874	-16.40495	2
10	15	-71.5160067	-16.4081744	2
28	16	-71.5079253	-16.4351604	2
7	17	-71.5147725	-16.4318437	2
57	18	-71.5147725	-16.4318437	2
14	19	-71.5157	-16.43	2
58	20	-71.5155518	-16.4299422	2
19	21	-71.5274156	-16.4357598	2
60	22	-71.5266872	-16.4362075	2
18	23	-71.5280363	-16.4371447	2
40	24	-71.5315893	-16.443135	2
32	25	-71.5562213	-16.4407268	2
55	26	-71.5561996	-16.4407333	2
20	27	-71.5572975	-16.4417793	2
45	28	-71.5428228	-16.4287165	2
12	29	-71.5442	-16.4258	2
5	-	-71.56629	-16.39101	POSPUESTO
11	-	-71.56563	-16.38969	POSPUESTO
21	-	-71.57332	-16.38817	POSPUESTO

Tabla 145.

Rutas Pendientes día 24

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
26	1	-71.5325314	-16.4107251	1
4	2	-71.5264255	-16.3981279	1
44	3	-71.5077	-16.399	1
23	4	-71.4917536	-16.4031127	1
42	5	-71.49972	-16.41307	1
2	6	-71.4983	-16.4154	1
43	7	-71.49907	-16.41743	1

29	8	-71.4899902	-16.4290245	1
18	9	-71.5063875	-16.4163032	1
52	10	-71.516	-16.4144	1
5	11	-71.5135013	-16.4124646	1
1	12	-71.5194	-16.4186	1
25	13	-71.5084	-16.3823	1
33	14	-71.51168	-16.3819517	1
50	15	-71.51858	-16.38106	1
39	16	-71.5222	-16.3853	1
38	17	-71.523812	-16.3872418	1
37	18	-71.5262078	-16.3673056	1
46	19	-71.53729	-16.37361	1
21	20	-71.5465878	-16.3651265	1
24	21	-71.6285	-16.3059	1
57	22	-71.57332	-16.38817	1
51	23	-71.5738	-16.39043	1
35	24	-71.5700382	-16.3918574	1
40	25	-71.5714	-16.3942	1
19	26	-71.5395887	-16.3824888	1
31	27	-71.5521904	-16.3798745	1
14	28	-71.5477654	-16.3986045	1
28	1	-71.5527502	-16.4072662	2
8	2	-71.55781	-16.40323	2
7	3	-71.55719	-16.39746	2
36	4	-71.5567794	-16.3953798	2
56	5	-71.56563	-16.38969	2
48	6	-71.56304	-16.39008	2
55	7	-71.56629	-16.39101	2
16	8	-71.5676118	-16.3892913	2
3	9	-71.581299	-16.4019289	2
6	10	-71.61803	-16.4462	2
20	11	-71.5573488	-16.4383967	2
13	12	-71.557	-16.4383	2
10	13	-71.5343441	-16.4241356	2
17	14	-71.5295092	-16.4180848	2
30	15	-71.5205175	-16.4284909	2
11	16	-71.5181504	-16.4241188	2
54	17	-71.5171483	-16.4245523	2
15	18	-71.5131782	-16.4221245	2
53	19	-71.51191	-16.42897	2
27	20	-71.5169191	-16.4296288	2
49	21	-71.52142	-16.43713	2
45	22	-71.52325	-16.43103	2
12	23	-71.527193	-16.4298714	2
47	24	-71.53658	-16.43369	2
34	25	-71.5397684	-16.4496676	2

22	26	-71.5262722	-16.4384928	2
9	27	-71.538047	-16.4305032	2
32	28	-71.5437018	-16.4278976	2
41	29	-71.5438	-16.4226	2

Tabla 146.

Rutas Pendientes día 25

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
31	1	-71.555882	-16.4012247	1
47	2	-71.54371	-16.39822	1
17	3	-71.5264255	-16.3981279	1
8	4	-71.52693	-16.39289	1
59	5	-71.52268	-16.39457	1
56	6	-71.523812	-16.3872418	1
4	7	-71.5261008	-16.3811246	1
54	8	-71.5261008	-16.3811246	1
7	9	-71.5255045	-16.3817315	1
11	10	-71.5084	-16.3823	1
21	11	-71.5102665	-16.3838632	1
58	12	-71.5140559	-16.3768027	1
57	13	-71.5250515	-16.3666897	1
5	14	-71.5396	-16.3825	1
38	15	-71.5508907	-16.3825973	1
19	16	-71.5521904	-16.3798745	1
10	17	-71.6285	-16.3059	1
53	18	-71.5640428	-16.3276644	1
34	19	-71.5627854	-16.3666346	1
33	20	-71.5553732	-16.370189	1
35	21	-71.55572	-16.38415	1
2	22	-71.55257	-16.38879	1
1	23	-71.5637022	-16.3916033	1
44	1	-71.5327	-16.42633	2
20	2	-71.5437018	-16.4278976	2
40	3	-71.5428228	-16.4287165	2
15	4	-71.5561996	-16.4407333	2
41	5	-71.55116	-16.44405	2
48	6	-71.5315893	-16.443135	2
37	7	-71.53695	-16.45382	2
39	8	-71.5229833	-16.4604077	2
30	9	-71.5199892	-16.4587261	2
29	10	-71.5192078	-16.4449741	2
22	11	-71.5245417	-16.4406791	2
16	12	-71.5274156	-16.4357598	2

32	13	-71.5181574	-16.427931	2
51	14	-71.5182	-16.4279	2
13	15	-71.5155518	-16.4299422	2
43	16	-71.5128234	-16.4228317	2
12	17	-71.5067885	-16.4203522	2
45	18	-71.5063875	-16.4163032	2
50	19	-71.5001263	-16.4157289	2
26	20	-71.4939604	-16.4175822	2
23	21	-71.4849954	-16.4058086	2
6	22	-71.4892	-16.4071	2
9	23	-71.51733	-16.4146	2
55	24	-71.5194359	-16.4186402	2
46	25	-71.5260925	-16.4057307	2
18	26	-71.5325	-16.4116	2
28	27	-71.53398	-16.41031	2
14	28	-71.5391444	-16.406957	2
3	-	-71.5876	-16.4262	POSPUESTO
24	-	-71.5707966	-16.4275049	POSPUESTO
25	-	-71.5911997	-16.4508471	POSPUESTO
27	-	-71.5838124	-16.4051985	POSPUESTO
36	-	-71.61803	-16.4462	POSPUESTO
42	-	-71.5564166	-16.4284365	POSPUESTO
49	-	-71.5564032	-16.4286295	POSPUESTO
52	-	-71.5656902	-16.4068934	POSPUESTO

Tabla 147.

Rutas Pendientes día 26

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
60	1	-71.5838124	-16.4051985	1
53	2	-71.5639	-16.391	1
48	3	-71.5564737	-16.3732678	1
56	4	-71.5984945	-16.3311909	1
18	5	-71.5498956	-16.3373604	1
8	6	-71.5505549	-16.334886	1
35	7	-71.5512926	-16.3361886	1
45	8	-71.5513	-16.3362	1
5	9	-71.5634514	-16.3498984	1
51	10	-71.5444554	-16.3583822	1
17	11	-71.537141	-16.3728103	1
44	12	-71.5401433	-16.3849903	1
26	13	-71.5474	-16.3986	1
39	14	-71.5448	-16.4096	1
6	15	-71.5379966	-16.4057832	1

37	16	-71.5339838	-16.4103125	1
23	17	-71.5231644	-16.4088733	1
36	18	-71.5217209	-16.4158085	1
3	19	-71.5095	-16.4089	1
55	20	-71.5173209	-16.400473	1
52	21	-71.5244765	-16.4086921	1
9	22	-71.5288345	-16.4159071	1
1	23	-71.5412926	-16.4224638	1
62	1	-71.5564166	-16.4284365	2
63	2	-71.5564032	-16.4286295	2
2	3	-71.5579375	-16.4398515	2
27	4	-71.5543525	-16.4463917	2
50	5	-71.5481118	-16.444805	2
33	6	-71.5285594	-16.4441089	2
10	7	-71.524819	-16.4332808	2
19	8	-71.5191212	-16.4319612	2
30	9	-71.5169191	-16.4296288	2
43	10	-71.5131782	-16.4221245	2
16	11	-71.5104	-16.4221	2
29	12	-71.5104	-16.4221	2
7	13	-71.5067885	-16.4203522	2
11	14	-71.5016849	-16.4191552	2
24	15	-71.4892008	-16.407148	2
54	16	-71.5105127	-16.4038857	2
32	17	-71.5083787	-16.4028345	2
31	18	-71.50348	-16.39565	2
34	19	-71.5125331	-16.3907357	2
42	20	-71.5084433	-16.3822735	2
4	21	-71.51256	-16.3722	2
13	22	-71.5243504	-16.377331	2
46	23	-71.5230941	-16.3801548	2
40	24	-71.5255045	-16.3817315	2
25	25	-71.5255	-16.3835	2
38	26	-71.5338687	-16.4020602	2
14	27	-71.53397	-16.4023	2
64	1	-71.5656902	-16.4068934	SUBCON
20	2	-71.57282	-16.41256	SUBCON
58	3	-71.5707966	-16.4275049	SUBCON
12	4	-71.57216	-16.43467	SUBCON
21	5	-71.57216	-16.43467	SUBCON
61	6	-71.61803	-16.4462	SUBCON
41	7	-71.6172858	-16.445869	SUBCON
59	8	-71.5911997	-16.4508471	SUBCON
22	9	-71.5818854	-16.4341438	SUBCON
57	10	-71.5876	-16.4262	SUBCON
28	11	-71.5875843	-16.426241	SUBCON

47	12	-71.5671794	-16.4251646	SUBCON
49	13	-71.5671686	-16.4251659	SUBCON
15	14	-71.5755594	-16.4274144	SUBCON

Tabla 148.

Rutas Pendientes día 27

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
47	1	-71.5477654	-16.3986045	1
53	2	-71.5175	-16.3898	1
49	3	-71.5183589	-16.3868044	1
13	4	-71.50479	-16.37592	1
50	5	-71.5102665	-16.3838632	1
9	6	-71.5123748	-16.3906816	1
37	7	-71.5125331	-16.3907357	1
39	8	-71.5077357	-16.3989513	1
55	9	-71.5031464	-16.402593	1
38	10	-71.50087	-16.40127	1
30	11	-71.49795	-16.40115	1
6	12	-71.4892	-16.4071	1
5	13	-71.49874	-16.40495	1
14	14	-71.49874	-16.40495	1
16	15	-71.5017	-16.4073	1
34	16	-71.5083787	-16.4028345	1
1	17	-71.5206037	-16.3896702	1
54	18	-71.52098	-16.39136	1
4	19	-71.5261008	-16.3811246	1
10	20	-71.52693	-16.39289	1
2	21	-71.5255	-16.3835	1
11	22	-71.55719	-16.39746	1
32	23	-71.5527502	-16.4072662	1
36	24	-71.54782	-16.38112	1
22	25	-71.54537	-16.34022	1
41	26	-71.6285	-16.3059	1
42	27	-71.5593691	-16.3779999	1
28	28	-71.5702569	-16.386096	1
20	1	-71.57282	-16.41256	2
46	2	-71.5082	-16.40446	2
52	3	-71.581299	-16.4019289	2
19	4	-71.5507169	-16.4098518	2
45	5	-71.5480489	-16.3271872	2
35	6	-71.5181574	-16.427931	2
44	7	-71.5128234	-16.4228317	2
18	8	-71.52325	-16.43103	2

29	9	-71.52756	-16.43457	2
40	10	-71.5289	-16.435	2
12	11	-71.53695	-16.45382	2
3	12	-71.5072665	-16.4022074	2
23	13	-71.59083	-16.44921	2
24	14	-71.5875843	-16.426241	2
21	15	-71.5876	-16.4262	2
51	16	-71.5759312	-16.4131955	2
27	17	-71.5707966	-16.4275049	2
31	18	-71.5671686	-16.4251659	2
48	19	-71.5671794	-16.4251646	2
43	20	-71.5651	-16.4268	2
17	21	-71.5658014	-16.4272105	2
8	22	-71.57005	-16.42375	2
7	23	-71.5527502	-16.4072662	2
25	24	-71.5560003	-16.406037	2
26	25	-71.55781	-16.40323	2
33	26	-71.555882	-16.4012247	2
15	27	-71.555882	-16.4012247	2

Tabla 149.

Rutas Pendientes día 28

NRO	SECUENCIA	LONGITUD	LATITUD	ruta
45	1	-71.5650983	-16.4267755	1
43	2	-71.5726197	-16.4277233	1
49	3	-71.6241982	-16.4436514	1
28	4	-71.557	-16.4383	1
51	5	-71.5573488	-16.4383967	1
23	6	-71.5562213	-16.4407268	1
50	7	-71.5569972	-16.4492467	1
7	8	-71.525277	-16.4678841	1
10	9	-71.5010697	-16.4643524	1
46	10	-71.523	-16.4604	1
20	11	-71.51955	-16.4473	1
19	12	-71.5285594	-16.4441089	1
15	13	-71.533359	-16.4340131	1
29	14	-71.5376	-16.435	1
14	15	-71.538	-16.4305	1
53	16	-71.5399	-16.4296	1
52	17	-71.5442	-16.4258	1
40	18	-71.549	-16.4226	1
38	19	-71.5656	-16.4072	1
54	20	-71.5651	-16.408	1

26	1	-71.5738	-16.39043	2
1	2	-71.5637	-16.3916	2
21	3	-71.5639	-16.3911	2
30	4	-71.5588	-16.3812	2
6	5	-71.5506761	-16.3825019	2
34	6	-71.55288	-16.37214	2
22	7	-71.5634514	-16.3498984	2
31	8	-71.5444492	-16.3417401	2
60	9	-71.5249	-16.3028	2
18	10	-71.5396	-16.3825	2
56	11	-71.5255045	-16.3817315	2
25	12	-71.51858	-16.38106	2
39	13	-71.5063	-16.372	2
2	14	-71.5170456	-16.383384	2
24	15	-71.51612	-16.39182	2
33	16	-71.52268	-16.39457	2
9	17	-71.5221504	-16.3853492	2
57	18	-71.523812	-16.3872418	2
12	19	-71.5548588	-16.3903076	2
55	20	-71.552369	-16.3912525	2
37	1	-71.5332	-16.4128	SUBCON
27	2	-71.5295739	-16.4171934	SUBCON
35	3	-71.5283	-16.4162	SUBCON
16	4	-71.5297985	-16.4196233	SUBCON
8	5	-71.5194	-16.4186	SUBCON
58	6	-71.4954	-16.4287	SUBCON
3	7	-71.4844972	-16.4319014	SUBCON
59	8	-71.4917	-16.4236	SUBCON
4	9	-71.4928006	-16.4098069	SUBCON
61	10	-71.49789	-16.40386	SUBCON
47	11	-71.5051329	-16.4117123	SUBCON
41	12	-71.501156	-16.4161858	SUBCON
48	13	-71.5094866	-16.4088781	SUBCON
11	14	-71.516712	-16.4308809	SUBCON
44	15	-71.5152	-16.43	SUBCON
13	16	-71.5199216	-16.4237874	SUBCON
17	17	-71.5268806	-16.4315171	SUBCON
62	18	-71.527193	-16.4298714	SUBCON
32	19	-71.54129	-16.42246	SUBCON
5	20	-71.5434704	-16.4069834	SUBCON
42	21	-71.5459	-16.4107	SUBCON
36	22	-71.5492	-16.3994	SUBCON

Tabla 150.

Rutas Pendientes día 29

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
10	1	-71.5651	-16.408	1
6	2	-71.5658	-16.4272	1
16	3	-71.5643	-16.4455	1
55	4	-71.6177	-16.4465	1
15	5	-71.5579	-16.4399	1
28	6	-71.557	-16.4439	1
73	7	-71.5375	-16.4343	1
7	8	-71.5334	-16.434	1
50	9	-71.5269	-16.4315	1
58	10	-71.5264	-16.4353	1
29	11	-71.5149	-16.4451	1
27	12	-71.5216	-16.4612	1
34	13	-71.5312	-16.4536	1
71	14	-71.5357	-16.4506	1
8	15	-71.5316	-16.4431	1
17	16	-71.5209	-16.4321	1
60	17	-71.5157	-16.43	1
44	18	-71.4845	-16.4319	1
25	19	-71.5001	-16.4157	1
65	20	-71.4892	-16.4071	1
72	21	-71.4918	-16.4031	1
48	22	-71.4975	-16.3989	1
36	23	-71.5078	-16.4085	1
26	24	-71.516	-16.4082	1
64	25	-71.516	-16.4144	1
4	26	-71.5199	-16.4238	1
69	27	-71.5154	-16.4285	1
68	28	-71.5182	-16.4279	1
46	29	-71.5212	-16.4266	1
51	30	-71.5288	-16.4173	1
62	31	-71.5428	-16.4287	1
70	1	-71.5478	-16.3986	2
22	2	-71.546	-16.3984	2
3	3	-71.5427	-16.4025	2
33	4	-71.538	-16.4058	2
57	5	-71.5323	-16.394	2
1	6	-71.5251	-16.3667	2
39	7	-71.5168	-16.3672	2
63	8	-71.5093	-16.3712	2
2	9	-71.5141	-16.3768	2
40	10	-71.5206	-16.3814	2

37	11	-71.517	-16.3834	2
18	12	-71.5247	-16.379	2
19	13	-71.5255	-16.3817	2
35	14	-71.519	-16.3915	2
49	15	-71.5203	-16.3989	2
56	16	-71.5232	-16.4089	2
20	17	-71.5339	-16.4021	2
9	18	-71.5379	-16.3868	2
43	19	-71.5507	-16.3825	2
31	20	-71.5441	-16.3644	2
30	21	-71.5444	-16.3417	2
59	22	-71.5513	-16.3362	2
47	23	-71.5631	-16.3493	2
13	24	-71.5635	-16.3499	2
54	25	-71.5959	-16.3336	2
12	26	-71.5628	-16.3666	2
14	27	-71.5701	-16.3854	2
67	28	-71.5637	-16.3916	2
66	29	-71.5639	-16.3911	2
21	30	-71.5606	-16.394	2
5	1	-71.5559	-16.4012	SUBCON
24	2	-71.5524	-16.3913	SUBCON
61	3	-71.5523	-16.3892	SUBCON
23	4	-71.5524	-16.393	SUBCON
11	5	-71.5538	-16.3969	SUBCON
38	6	-71.557	-16.4027	SUBCON
45	7	-71.5507	-16.4099	SUBCON
42	8	-71.5653	-16.4272	SUBCON
52	9	-71.5726	-16.4277	SUBCON
41	10	-71.5822	-16.4291	SUBCON
53	11	-71.5876	-16.4262	SUBCON
32	12	-71.5759	-16.4132	SUBCON

Tabla 151.

Rutas Pendientes día 30

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
7	1	-71.5478	-16.3986	1
19	2	-71.5474	-16.3986	1
27	3	-71.5459	-16.4107	1
58	4	-71.5283	-16.4162	1
44	5	-71.5194	-16.4186	1
6	6	-71.5154	-16.4285	1
23	7	-71.5153	-16.4285	1

31	8	-71.5175	-16.4249	1
5	9	-71.5182	-16.4279	1
25	10	-71.5362	-16.4274	1
36	11	-71.5399	-16.4296	1
14	12	-71.5442	-16.4258	1
24	13	-71.5277	-16.3987	1
33	14	-71.5269	-16.3941	1
62	15	-71.5474	-16.3872	1
13	16	-71.5527	-16.3785	1
60	17	-71.5499	-16.3821	1
61	18	-71.5434	-16.3633	1
18	19	-71.5515	-16.3131	1
11	20	-71.6285	-16.3059	1
64	21	-71.5888	-16.3335	1
2	22	-71.5554	-16.3702	1
28	23	-71.557	-16.3731	1
22	24	-71.5711	-16.3821	1
3	25	-71.5639	-16.3911	1
34	26	-71.5639	-16.391	1
4	27	-71.5637	-16.3916	1
41	28	-71.5568	-16.3954	1
20	1	-71.5289	-16.435	2
8	2	-71.5357	-16.4506	2
35	3	-71.5199	-16.445	2
63	4	-71.5148	-16.4318	2
38	5	-71.5152	-16.43	2
39	6	-71.5156	-16.4299	2
53	7	-71.5132	-16.4221	2
1	8	-71.5128	-16.4228	2
30	9	-71.5104	-16.4221	2
50	10	-71.4954	-16.4287	2
45	11	-71.4983	-16.4154	2
49	12	-71.4977	-16.4176	2
21	13	-71.4865	-16.4166	2
46	14	-71.4892	-16.4071	2
9	15	-71.4918	-16.4031	2
47	16	-71.5051	-16.4117	2
54	17	-71.5064	-16.4163	2
48	18	-71.5095	-16.4089	2
16	19	-71.5095	-16.3984	2
32	20	-71.5108	-16.3919	2
12	21	-71.5084	-16.3823	2
40	22	-71.5154	-16.3876	2
51	23	-71.5175	-16.3898	2
10	24	-71.5222	-16.3853	2
43	25	-71.5255	-16.3817	2

17	26	-71.5255	-16.3835	2
42	27	-71.5262	-16.3673	2
55	28	-71.5396	-16.3825	2
15	-	-71.5596	-16.4414	POSPUESTO
26	-	-71.5727	-16.3982	POSPUESTO
29	-	-71.6161	-16.4203	POSPUESTO
37	-	-71.5651	-16.408	POSPUESTO
52	-	-71.5819	-16.4341	POSPUESTO
56	-	-71.5756	-16.4274	POSPUESTO
57	-	-71.5729	-16.4258	POSPUESTO
59	-	-71.5717	-16.4354	POSPUESTO

Tabla 152.

Rutas Pendientes día 31

NRO	Secuencia	LONGITUD	LATITUD	ruta
67	1	-71.5819	-16.4341	1
61	2	-71.5196	-16.4556	1
12	3	-71.521	-16.3502	1
13	4	-71.5725	-16.4353	1
14	5	-71.5787	-16.4128	1
15	6	-71.5293	-16.42	1
16	7	-71.5444	-16.3417	1
17	8	-71.591	-16.4492	1
18	9	-71.5286	-16.4	1
19	10	-71.5619	-16.3869	1
64	11	-71.5727	-16.3982	1
21	12	-71.6157	-16.3064	1
1	13	-71.5103	-16.3839	1
2	14	-71.5245	-16.4407	1
3	15	-71.5217	-16.3817	1
4	16	-71.5265	-16.408	1
5	17	-71.5876	-16.4262	1
6	18	-71.5095	-16.4089	1
7	19	-71.5651	-16.4268	1
8	20	-71.5124	-16.3907	1
9	21	-71.5077	-16.399	1
10	22	-71.5175	-16.3898	1
11	23	-71.5244	-16.3773	1
57	24	-71.4983	-16.4154	1
55	25	-71.5446	-16.3665	1
65	26	-71.6161	-16.4203	1
60	1	-71.5185	-16.4254	2
43	2	-71.5156	-16.4299	2

40	3	-71.5185	-16.4255	2
34	4	-71.5284	-16.4161	2
32	5	-71.5694	-16.4294	2
56	6	-71.5458	-16.3549	2
27	7	-71.5443	-16.3833	2
52	8	-71.557	-16.3731	2
33	9	-71.5512	-16.4441	2
50	10	-71.5124	-16.3907	2
59	11	-71.557	-16.4028	2
31	12	-71.5263	-16.4238	2
42	13	-71.4928	-16.4098	2
49	14	-71.5738	-16.3904	2
62	15	-71.5657	-16.4069	2
48	16	-71.5594	-16.378	2
47	17	-71.5628	-16.3666	2
51	18	-71.564	-16.3909	2
45	19	-71.5568	-16.3954	2
46	20	-71.5262	-16.3673	2
20	21	-71.5112	-16.3742	2
28	22	-71.5283	-16.3895	2
41	23	-71.5173	-16.4146	2
29	24	-71.5575	-16.3915	2
35	25	-71.5032	-16.4437	2
39	26	-71.5392	-16.4298	2
36	27	-71.5127	-16.4438	2
54	28	-71.5513	-16.3362	2
44	29	-71.5154	-16.3876	2
53	30	-71.5908	-16.4492	2
63	1	-71.5596	-16.4414	SUBCON
37	2	-71.5182	-16.4359	SUBCON
66	3	-71.5651	-16.408	SUBCON
38	4	-71.5404	-16.429	SUBCON
58	5	-71.5437	-16.3982	SUBCON
68	6	-71.5756	-16.4274	SUBCON
30	7	-71.553	-16.3717	SUBCON
22	8	-71.5565	-16.4273	SUBCON
69	9	-71.5729	-16.4258	SUBCON
25	10	-71.5659	-16.4281	SUBCON
26	11	-71.5153	-16.4026	SUBCON
24	12	-71.528	-16.4371	SUBCON
23	13	-71.5206	-16.3939	SUBCON
70	14	-71.5717	-16.4354	SUBCON



ANEXO 3. PRONÓSTICOS DE DEMANDA

Tabla 153.

Pronóstico con el método de promedios móviles simples (n=3)

Año	Periodo	Y_real	Pronóstico	Error (Y - Pron)	Error abs.	Error % abs.	Error abs. Cuadrado
2022	1	1610	-	-	-	-	-
2022	2	1594	-	-	-	-	-
2022	3	1621	-	-	-	-	-
2022	4	1617	1608.33	8.67	8.67	54%	75.11
2022	5	1619	1610.67	8.33	8.33	51%	69.44
2022	6	1619	1619.00	0.00	0.00	0%	0.00
2022	7	1706	1618.33	87.67	87.67	514%	7685.44
2022	8	1640	1648.00	-8.00	8.00	49%	64.00
2022	9	1607	1655.00	-48.00	48.00	299%	2304.00
2022	10	1609	1651.00	-42.00	42.00	261%	1764.00
2022	11	1616	1618.67	-2.67	2.67	17%	7.11
2022	12	1614	1610.67	3.33	3.33	21%	11.11
2023	13	1641	1613.00	28.00	28.00	171%	784.00
2023	14	1580	1623.67	-43.67	43.67	276%	1906.78
2023	15	1589	1611.67	-22.67	22.67	143%	513.78
2023	16	1676	1603.33	72.67	72.67	434%	5280.44
2023	17	1616	1615.00	1.00	1.00	6%	1.00
2023	18	1636	1627.00	9.00	9.00	55%	81.00
2023	19	1636	1642.67	-6.67	6.67	41%	44.44
2023	20	1634	1629.33	4.67	4.67	29%	21.78
2023	21	1703	1635.33	67.67	67.67	397%	4578.78
2023	22	1656	1657.67	-1.67	1.67	10%	2.78
2023	23	1628	1664.33	-36.33	36.33	223%	1320.11
2023	24	1627	1662.33	-35.33	35.33	217%	1248.44
2024	25	1656	1637.00	19.00	19.00	115%	361.00
2024	26	1664	1637.00	27.00	27.00	162%	729.00
2024	27	1659	1649.00	10.00	10.00	60%	100.00
2024	28	1693	1659.67	33.33	33.33	197%	1111.11
2024	29	1721	1672.00	49.00	49.00	285%	2401.00

2024	30	1679	1691.00	-12.00	12.00	71%	144.00
2024	31	1673	1697.67	-24.67	24.67	147%	608.44
2024	32	1843	1691.00	152.00	152.00	825%	23104.00
2024	33	1681	1731.67	-50.67	50.67	301%	2567.11
2024	34	1680	1732.33	-52.33	52.33	312%	2738.78
2024	35	1728	1734.67	-6.67	6.67	39%	44.44
2024	36	1706	1696.33	9.67	9.67	57%	93.44
2025	37	1696.33	1705	-	-	-	-
2025	38	1704.667	1710	-	-	-	-
2025	39	1710.111	1702	-	-	-	-
2025	40	1702.333	1704	-	-	-	-
2025	41	1703.704	1706	-	-	-	-
2025	42	1705.704	1705	-	-	-	-
2025	43	1705.383	1704	-	-	-	-
2025	44	1703.914	1705	-	-	-	-
2025	45	1704.93	1705	-	-	-	-
2025	46	1705	1705	-	-	-	-
2025	47	1704.742	1705	-	-	-	-
2025	48	-	1705	-	-	-	-

Tabla 154.

Pronóstico con el método de promedios móviles simples

Año	Periodo	Y_real	Pronóstico	Error (Y - Pron)	Error abs.	Error % abs.	Error abs. Cuadrado
2022	1	1610	-	-	-	-	-
2022	2	1594	-	-	-	-	-
2022	3	1621	-	-	-	-	-
2022	4	1617	1610.70	6.30	6.30	39%	39.69
2022	5	1619	1613.60	5.40	5.40	33%	29.16
2022	6	1619	1618.80	0.20	0.20	1%	0.04
2022	7	1706	1618.60	87.40	87.40	512%	7638.76
2022	8	1640	1662.50	-22.50	22.50	137%	506.25
2022	9	1607	1655.60	-48.60	48.60	302%	2361.96
2022	10	1609	1636.70	-27.70	27.70	172%	767.29

2022	11	1616	1614.60	1.40	1.40	9%	1.96
2022	12	1614	1612.10	1.90	1.90	12%	3.61
2023	13	1641	1613.60	27.40	27.40	167%	750.76
2023	14	1580	1627.90	-47.90	47.90	303%	2294.41
2023	15	1589	1605.10	-16.10	16.10	101%	259.21
2023	16	1676	1596.70	79.30	79.30	473%	6288.49
2023	17	1616	1630.70	-14.70	14.70	91%	216.09
2023	18	1636	1628.60	7.40	7.40	45%	54.76
2023	19	1636	1638.00	-2.00	2.00	12%	4.00
2023	20	1634	1632.00	2.00	2.00	12%	4.00
2023	21	1703	1635.00	68.00	68.00	399%	4624.00
2023	22	1656	1668.90	-12.90	12.90	78%	166.41
2023	23	1628	1665.70	-37.70	37.70	232%	1421.29
2023	24	1627	1651.40	-24.40	24.40	150%	595.36
2024	25	1656	1633.10	22.90	22.90	138%	524.41
2024	26	1664	1641.70	22.30	22.30	134%	497.29
2024	27	1659	1654.20	4.80	4.80	29%	23.04
2024	28	1693	1659.90	33.10	33.10	196%	1095.61
2024	29	1721	1677.00	44.00	44.00	256%	1936.00
2024	30	1679	1700.20	-21.20	21.20	126%	449.44
2024	31	1673	1694.40	-21.40	21.40	128%	457.96
2024	32	1843	1684.40	158.60	158.60	861%	25153.96
2024	33	1681	1759.20	-78.20	78.20	465%	6115.24
2024	34	1680	1728.00	-48.00	48.00	286%	2304.00
2024	35	1728	1712.90	15.10	15.10	87%	228.01
2024	36	1706	1704.20	1.80	1.80	11%	3.24
2025	37	1704.2	1707	-	-	-	-
2025	38	1707.4	1710	-	-	-	-
2025	39	1709.5	1706	-	-	-	-
2025	40	1706.16	1708	-	-	-	-
2025	41	1707.81	1707	-	-	-	-
2025	42	1707.41	1708	-	-	-	-
2025	43	1707.653	1707	-	-	-	-
2025	44	1707.28	1708	-	-	-	-

2025	45	1707.612	1707	-	-	-	-
2025	46	1707.418	1708	-	-	-	-
2025	47	1707.52	1707	-	-	-	-
2025	48	-	1708	-	-	-	-





ANEXO 4. SCRIPTS DE PYTHON

```
# PROPUESTA DIA 1
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests

#
=====
=====
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
=====
=====

# Coordenadas proporcionadas
longitudes = [
    -71.5623949, -71.5247079, -71.5255045, -71.523812, -71.5250515,
    -71.5140559, -71.5426671, -71.5412926, -71.5324892, -71.5163535,
    -71.5339838, -71.5338687, -71.5325314, -71.5260925, -71.5790042,
    -71.5498956, -71.5401575, -71.5445867, -71.5605696, -71.5711202,
    -71.560645, -71.5642329, -71.5734868, -71.5694218, -71.5548308,
    -71.5627854, -71.5634514, -71.5701224, -71.5579375, -71.5643058,
    -71.5208577, -71.5199216, -71.5266872, -71.5155518, -71.5343441,
    -71.5181504, -71.5297985, -71.5255751, -71.5288942, -71.5301278,
    -71.5446777, -71.5171483, -71.5181537, -71.527193, -71.5083787,
    -71.5010339, -71.5145231, -71.5105127, -71.5173209, -71.5206037,
    -71.5136304, -71.4928006, -71.5126362, -71.5016588, -71.555882,
    -71.5658014, -71.533359, -71.5315893, -71.5378912, -71.565105,
    -71.5538382, -71.5513403, -71.5658701, -71.5401433, -71.545957,
    -71.5523824, -71.552369
]

latitudes = [
    -16.4057668, -16.3790123, -16.3817315, -16.3872418, -16.3666897,
    -16.3768027, -16.4025213, -16.4224638, -16.4116429, -16.4103192,
    -16.4103125, -16.4020602, -16.4107251, -16.4057307, -16.4149488,
    -16.3373604, -16.3824914, -16.3665199, -16.3817267, -16.382142,
    -16.3939757, -16.3878137, -16.3966864, -16.3271862, -16.3726383,
    -16.3666346, -16.3498984, -16.3854306, -16.4398515, -16.4454555,
    -16.4321227, -16.4237874, -16.4362075, -16.4299422, -16.4241356,
    -16.4241188, -16.4196233, -16.4208375, -16.4349864, -16.429892,
```

```

-16.4281493, -16.4245523, -16.4254568, -16.4298714, -16.4028345,
-16.4097708, -16.4064927, -16.4038857, -16.400473, -16.3896702,
-16.4146708, -16.4098622, -16.4142219, -16.4133453, -16.4012247,
-16.4272105, -16.4340131, -16.443135, -16.3868394, -16.4079544,
-16.3969338, -16.4009949, -16.4077103, -16.3849903, -16.3983992,
-16.3929813, -16.3912525
]

# Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito,
con demanda 0)
demandas = [
    0.0, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.4732,
    0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.5915, 0.5915,
    0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.5915,
    0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.3549,
    0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.3549,
    0.3549, 0.3549, 0.3549, 0.3549, 0.5915,
    0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549,
    0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.5915,
    0.4732, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.3549,
    0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.3549, 0.4732,
    0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915,
    0.3549, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.3549,
    0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.4732, 0.5915,
    0.4732, 0.4732
]

# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

clientes = pd.DataFrame(data)

#
=====
=====
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
#
=====
=====

def get_distance_matrix(locations):
    """

```

Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles usando OSRM.

La API ahora solicita la distancia en metros.

```
"""
coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

try:
    response = requests.get(url)
    response.raise_for_status()
    result = response.json()
    distance_matrix_meters = result['distances']
    return distance_matrix_meters
except requests.exceptions.RequestException as e:
    print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
    return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:
    dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
    dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
    print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()
```

```
#
```

```
=====
=====
```

```
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
```

```
#
```

```
=====
=====
```

```
ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
```

```
    ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones
#
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12

# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
# Bucle de Fusión
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

#Verificacion de condiciones
    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
```

```
ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
verificacion = ""

# Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
if ruta_i_id != ruta_j_id:

    # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
    es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
    es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])
    if es_extremo_i and es_extremo_j:

        # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
        demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
        if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:

            # Fusión de las rutas
            verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

            ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
            ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]

            # Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
            if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
                rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
            elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
                rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
            elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
                rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
            elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
                rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

            demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada
```

```
        for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
            clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

        rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
        demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})

# -----
# Asignación y clasificación de las rutas finales
# -----

rutas_con_metricas = []
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():
    if clientes_ruta:
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']

        distancia_total = 0
        for k in range(len(ruta_final) - 1):
            origen = ruta_final[k]
            destino = ruta_final[k+1]
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]

        demanda_total =
clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()

        rutas_con_metricas.append({
            'ruta_id': ruta_id,
```

```
        'clientes': ruta_final,
        'distancia': distancia_total,
        'demanda': demanda_total,
        'num_pedidos': len(clientes_ruta)
    })

rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)

unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]
subcontratadas = []
no_asignadas = []

for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:
        subcontratadas.append(ruta)
    else:
        no_asignadas.append(ruta)

# -----
# -----
# Imprimir los resultados clasificados en consola
# -----
# -----

print("\n=====")
print("Clasificación de Rutas Finales:")
print("=====")

print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)
```

```
# PROPUESTA DIA 2
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests

#
=====
=====
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
=====
=====

# Coordenadas proporcionadas
longitudes = [
    -71.5623949, -71.5790042, -71.5734868, -71.555882, -71.565105, -
    71.5513403, -71.5658701, -71.5001263,
    -71.5160067, -71.5215949, -71.5164569, -71.5508907, -71.501156, -
    71.5240713, -71.5180618,
    -71.5570255, -71.5149377, -71.5444492, -71.5441259, -71.5759312, -
    71.5379966, -71.5311975,
    -71.519001, -71.5078307, -71.5256293, -71.5543525, -71.512145, -
    71.5625894, -71.5010697,
    -71.5473415, -71.548133, -71.5170456, -71.5570129, -71.5168476, -
    71.5206268, -71.5821866,
    -71.5652638, -71.5506761, -71.4844972, -71.5364273, -71.519147, -
    71.569249, -71.5588061,
    -71.5507169, -71.5212409, -71.5631291, -71.4975046, -71.5202554, -
    71.5268806, -71.5288201,
    -71.5726197, -71.5264255, -71.5135013, -71.5560003, -71.5196099, -
    71.4928006, -71.5191212,
    -71.5434704, -71.5722933, -71.5391444, -71.5561996, -71.5199647, -
    71.5169191, -71.5527502,
    -71.4899902, -71.5205175, -71.5521904, -71.5437018, -71.525277, -
    71.5408987, -71.5805325,
    -71.5671686, -71.5217209, -71.5263056, -71.4849954, -71.5135009, -
    71.5067885, -71.6172858,
    -71.6241982, -71.5456982, -71.5288093, -71.5284673, -71.5412926, -
    71.5324892, -71.5163535,
    -71.5339838, -71.5325314, -71.5260925
```

```

]

latitudes = [
    -16.4057668, -16.4149488, -16.3966864, -16.4012247, -16.4079544, -
16.4009949, -16.4077103, -16.4157289,
    -16.4081744, -16.4611723, -16.4014609, -16.3825973, -16.4161858, -
16.4402854, -16.4360028,
    -16.4438552, -16.445137, -16.3417401, -16.364369, -16.4131955, -
16.4057832, -16.4535733,
    -16.3915352, -16.4085277, -16.3910773, -16.4463917, -16.3729254, -
16.3665121, -16.4643524,
    -16.3883434, -16.396552, -16.383384, -16.4027435, -16.3671678, -
16.3814102, -16.429103,
    -16.4272278, -16.3825019, -16.4319014, -16.4322645, -16.3804639, -
16.3765482, -16.3459754,
    -16.4098518, -16.4265777, -16.3493339, -16.3989296, -16.3988812, -
16.4315171, -16.4173293,
    -16.4277233, -16.3981279, -16.4124646, -16.406037, -16.4556113, -
16.4098069, -16.4319612,
    -16.4069834, -16.4257019, -16.406957, -16.4407333, -16.3920746, -
16.4296288, -16.4072662,
    -16.4290245, -16.4284909, -16.3798745, -16.4278976, -16.4678841, -
16.3817293, -16.3944746,
    -16.4251659, -16.4158085, -16.3853878, -16.4058086, -16.4111349, -
16.4203522, -16.445869,
    -16.4436514, -16.3576209, -16.414168, -16.4179825, -16.4224638, -
16.4116429, -16.4103192,
    -16.4103125, -16.4107251, -16.4057307
]

```

Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito, con demanda 0)

```

demandas = [
    0.0, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.5915,
0.5915, 0.3549, 0.3549,
    0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732,
0.5915, 0.5915,
    0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.4732,
0.5915, 0.4732,
    0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.3549,
0.4732, 0.4732,
    0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.4732,
0.4732, 0.5915,
    0.3549, 0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.4732,
0.3549, 0.4732,
    0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549,
0.3549, 0.3549,
    0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.4732,
0.5915, 0.5915,

```

```
    0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.4732
]

# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

clientes = pd.DataFrame(data)

#
=====
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
#
=====

def get_distance_matrix(locations):
    """
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles
    usando OSRM.
    La API ahora solicita la distancia en metros.
    """
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
    url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

    try:
        response = requests.get(url)
        response.raise_for_status()
        result = response.json()
        distance_matrix_meters = result['distances']
        return distance_matrix_meters
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
        return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:
    dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
    dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
```

```
    print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()

#
=====
=====
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
#
=====
=====

ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones
#
=====
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12

# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
```

```
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
    ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

    estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
    verificacion = ""

    # Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
    if ruta_i_id != ruta_j_id:
        # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
        es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
        es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])

        if es_extremo_i and es_extremo_j:
            # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
            demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
            if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
                # Fusión de las rutas
                verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

                ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
                ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]

                # Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
```

```
        if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
        elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

        demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

        for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
            clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

        rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
        demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})

# -----
# -----
# Asignación y clasificación de las rutas finales
# -----
# -----
```

```
rutas_con_metricas = []
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():
    if clientes_ruta:
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']

        distancia_total = 0
        for k in range(len(ruta_final) - 1):
            origen = ruta_final[k]
            destino = ruta_final[k+1]
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]

        demanda_total =
clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()

        rutas_con_metricas.append({
            'ruta_id': ruta_id,
            'clientes': ruta_final,
            'distancia': distancia_total,
            'demanda': demanda_total,
            'num_pedidos': len(clientes_ruta)
        })

rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)

unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]
subcontratadas = []
no_asignadas = []

for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:
        subcontratadas.append(ruta)
    else:
        no_asignadas.append(ruta)

# -----
# -----
# Imprimir los resultados clasificados en consola
# -----
# -----

print("\n=====")
print("Clasificación de Rutas Finales:")
print("=====")

print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
```

```
print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
print(f"  Clientes: {ruta['clientes']}")
print(f"  Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
print(f"  Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print("  No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f"  Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f"  Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f"  Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

# PROPUESTA DIA 3
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests

#
=====
=====
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
=====
=====

# Coordenadas proporcionadas
longitudes = [
    -71.5623949, -71.5790042, -71.565105, -71.5658701, -71.5759312, -
71.5652638, -71.5726197,
    -71.5671686, -71.5640428, -71.5261008, -71.5194359, -71.4983249, -
71.5447539,
    -71.5229833, -71.5875843, -71.5958908, -71.6177295, -71.5231644, -
71.5322951,
    -71.5264266, -71.5512926, -71.5156673, -71.5523143, -71.5428228, -
71.5092592,
```

```

-71.5159745, -71.4892008, -71.5285594, -71.5562213, -71.5051329, -
71.5160096,
-71.5984945, -71.5274156, -71.5094866, -71.5549318, -71.5622153, -
71.5702569,
-71.4976876, -71.4954031, -71.4917113, -71.5706024, -71.5547034, -
71.5249044,
-71.5650983, -71.5123748, -71.5562415, -71.5077357, -71.5174645, -
71.5818854,
-71.5507649, -71.5131782, -71.5676118, -71.5295092, -71.5063875, -
71.5395887,
-71.516712, -71.5755594, -71.538047, -71.5594973, -71.5444662, -
71.5511112,
-71.5548588, -71.5375465, -71.5128234, -71.5553732, -71.5639114, -
71.5637022,
-71.5181574, -71.5153853, -71.5477654, -71.5356542, -71.4917536, -
71.5221504
]

```

```

latitudes = [
-16.4057668, -16.4149488, -16.4079544, -16.4077103, -16.4131955, -
16.4272278, -16.4277233,
-16.4251659, -16.3276644, -16.3811246, -16.4186402, -16.4153785, -
16.3885342,
-16.4604077, -16.426241, -16.3335601, -16.4465112, -16.4088733, -
16.3939578,
-16.4352622, -16.3361886, -16.4300479, -16.3891502, -16.4287165, -
16.3712429,
-16.4144464, -16.407148, -16.4441089, -16.4407268, -16.4117123, -
16.3787821,
-16.3311909, -16.4357598, -16.4088781, -16.4387406, -16.3734662, -
16.386096,
-16.4176439, -16.428665, -16.4236464, -16.3901387, -16.3721853, -
16.3027511,
-16.4267755, -16.3906816, -16.3929347, -16.3989513, -16.3898021, -
16.4341438,
-16.3827064, -16.4221245, -16.3892913, -16.4180848, -16.4163032, -
16.3824888,
-16.4308809, -16.4274144, -16.4305032, -16.3748426, -16.358516, -
16.4083645,
-16.3903076, -16.4342772, -16.4228317, -16.370189, -16.3911144, -
16.3916033,
-16.427931, -16.4285423, -16.3986045, -16.450638, -16.4031127, -
16.3853492
]

```

```

# Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito,
con demanda 0)
demandas = [

```

```

    0.0, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
0.5915, 0.3549, 0.3549,
    0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.3549, 0.3549,
0.4732, 0.4732,
    0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
0.4732, 0.3549,
    0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.5915,
0.5915, 0.3549,
    0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.4732,
0.5915, 0.4732,
    0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.5915,
0.4732, 0.3549,
    0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.5915,
0.3549, 0.3549,
    0.3549, 0.3549
]

```

```
# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
```

```

data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

```

```
clientes = pd.DataFrame(data)
```

```
#
```

```
=====
```

```
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
```

```
#
```

```
=====
```

```
def get_distance_matrix(locations):
```

```

    """
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles
    usando OSRM.

```

```
    La API ahora solicita la distancia en metros.
```

```

    """
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
    url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

```

```
    try:
```

```

        response = requests.get(url)
        response.raise_for_status()

```

```

        result = response.json()
        distance_matrix_meters = result['distances']
        return distance_matrix_meters
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
        return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:
    dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
    dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
    print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()

#
=====
=====
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
#
=====
=====

ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones

```

```
#
=====
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12

# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
    ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

    estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
    verificacion = ""

    # Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
    if ruta_i_id != ruta_j_id:
        # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
        es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
        es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])

        if es_extremo_i and es_extremo_j:
```

```
# Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
    # Fusión de las rutas
    verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

    ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
    ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]

    # Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
    if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
        rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
    elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
        rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
    elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
        rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
    elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
        rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

    demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

    for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
        clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

    rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
    demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

else:
    verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
```

```
'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
'Verificación de Fusión': verificacion,
'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
}))

df_iteraciones = pd.DataFrame(log_iteraciones)
print("\nLog de Iteraciones del Algoritmo:\n")
print(df_iteraciones)

# -----
# Asignación y clasificación de las rutas finales
# -----

rutas_con_metricas = []
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():
    if clientes_ruta:
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']

        distancia_total = 0
        for k in range(len(ruta_final) - 1):
            origen = ruta_final[k]
            destino = ruta_final[k+1]
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]

        demanda_total =
clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()

        rutas_con_metricas.append({
            'ruta_id': ruta_id,
            'clientes': ruta_final,
            'distancia': distancia_total,
            'demanda': demanda_total,
            'num_pedidos': len(clientes_ruta)
        })

rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)

unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]
subcontratadas = []
no_asignadas = []

for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:
        subcontratadas.append(ruta)
    else:
```

```
no_asignadas.append(ruta)

# -----
# -----
# Imprimir los resultados clasificados en consola
# -----
# -----
print("\n=====")
print("Clasificación de Rutas Finales:")
print("=====")

print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

# PROPUESTA DIA 4
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests
```

```

#
=====
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
=====

# Coordenadas proporcionadas
longitudes = [
    -71.5623949, -71.5714088, -71.5438243, -71.5729815, -71.5173063,
    -71.5588098, -71.5232124, -71.6285402, -71.5084433, -71.5526841,
    -71.5442122, -71.5595868, -71.5094843, -71.5254664, -71.5515196,
    -71.5473789, -71.5324892, -71.5241172, -71.5187815, -71.5492167,
    -71.522875, -71.5175007, -71.5297985, -71.5728936, -71.5703287,
    -71.5462312, -71.5267801, -71.5489632, -71.5649676, -71.5283088,
    -71.5137057, -71.5717369, -71.5288942, -71.4864559, -71.5711202,
    -71.5152556, -71.5277036, -71.5362205, -71.5726962, -71.5459295,
    -71.5570487, -71.6161322, -71.5103757, -71.5174683, -71.5108275,
    -71.5569812, -71.5375648, -71.5269311, -71.5639121, -71.5198883,
    -71.5399432, -71.565105, -71.5152096, -71.5155518, -71.5154053,
    -71.5567794, -71.5262078, -71.5255045, -71.544791, -71.5097105,
    -71.5297925, -71.5619739, -71.5016641, -71.5332433, -71.565591,
    -71.5063227
]

latitudes = [
    -16.4057668, -16.3942417, -16.4225611, -16.3900779, -16.4172145,
    -16.3812372, -16.3789144, -16.3059319, -16.3822735, -16.3785079,
    -16.4257843, -16.4414026, -16.3984089, -16.3835205, -16.3130973,
    -16.3985592, -16.4116429, -16.4388441, -16.4196901, -16.3994106,
    -16.4308001, -16.3643639, -16.4196233, -16.4258227, -16.3948567,
    -16.3821858, -16.4017431, -16.4226354, -16.3539673, -16.4162415,
    -16.3761758, -16.4354412, -16.4349864, -16.4165962, -16.382142,
    -16.4284655, -16.3987315, -16.4274286, -16.3981945, -16.410724,
    -16.3731151, -16.4202583, -16.4221197, -16.4249022, -16.391876,
    -16.4382771, -16.4350226, -16.3940649, -16.390961, -16.4449835,
    -16.429599, -16.4079544, -16.4299733, -16.4299422, -16.3876301,
    -16.3953798, -16.3673056, -16.3817315, -16.4095543, -16.4264159,
    -16.4170742, -16.3868752, -16.407343, -16.4128126, -16.4071896,
    -16.3719928
]

# Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito,
con demanda 0)
demandas = [
    0.0, 0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.4732, 0.5915,
    0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.4732,
    0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.3549,

```

```
0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.3549, 0.4732,
0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.5915,
0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.5915,
0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549,
0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732,
0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.4732,
0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.3549,
0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.3549,
0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.3549
]

# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

clientes = pd.DataFrame(data)

#
=====
=====
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
#
=====
=====

def get_distance_matrix(locations):
    """
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles
    usando OSRM.
    La API ahora solicita la distancia en metros.
    """
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
    url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

    try:
        response = requests.get(url)
        response.raise_for_status()
        result = response.json()
        distance_matrix_meters = result['distances']
        return distance_matrix_meters
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
```

```
        return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:
    dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
    dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
    print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()

#
=====
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
#
=====

ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones
#
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
```

```
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12

# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
    ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

    estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
    verificacion = ""

    # Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
    if ruta_i_id != ruta_j_id:
        # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
        es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
        es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])

        if es_extremo_i and es_extremo_j:
            # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
            demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
            if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
```

```
# Fusión de las rutas
verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]

# Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
    rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
    rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
    rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
    rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

    demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

    for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
        clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

    rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
    demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

else:
    verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
else:
    verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})
```

```
df_iteraciones = pd.DataFrame(log_iteraciones)
print("\nLog de Iteraciones del Algoritmo:\n")
print(df_iteraciones)

# -----
# -----
# Asignación y clasificación de las rutas finales
# -----
# -----

rutas_con_metricas = []
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():
    if clientes_ruta:
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']

        distancia_total = 0
        for k in range(len(ruta_final) - 1):
            origen = ruta_final[k]
            destino = ruta_final[k+1]
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]

        demanda_total =
clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()

        rutas_con_metricas.append({
            'ruta_id': ruta_id,
            'clientes': ruta_final,
            'distancia': distancia_total,
            'demanda': demanda_total,
            'num_pedidos': len(clientes_ruta)
        })

rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)

unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]
subcontratadas = []
no_asignadas = []


for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:
        subcontratadas.append(ruta)
    else:
        no_asignadas.append(ruta)

# -----
# -----
```

```
# Imprimir los resultados clasificados en consola
# -----
-----
print("\n=====")
print("Clasificación de Rutas Finales:")
print("=====")

print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)
```



```
###PROPUESTA DIA 5
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests

#
=====
=====
```

```
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
```

```
=====
=====
```

```
# Coordenadas proporcionadas
```

```
longitudes = [
    -71.5623949, -71.5473789, -71.5492167, -71.5728936, -71.5703287,
    -71.5717369, -71.5726962, -71.6161322, -71.565105, -71.5567794,
    -71.565591, -71.5514186, -71.5505549, -71.5288345, -71.524819,
    -71.5016849, -71.4920715, -71.512178, -71.5652881, -71.5382424,
    -71.5243504, -71.5210361, -71.5724665, -71.5463025, -71.5786937,
    -71.5457669, -71.5707122, -71.5100212, -71.5529293, -71.5292909,
    -71.506024, -71.5204866, -71.5152994, -71.5167961, -71.5531159,
    -71.5367679, -71.5281309, -71.4867761, -71.5543112, -71.556675,
    -71.51168, -71.5397684, -71.5700382, -71.5809332, -71.501424,
    -71.5465863, -71.5424916, -71.5593691, -71.5572975, -71.5185846,
    -71.5371777, -71.5224338, -71.5665868, -71.5214247, -71.5412556,
    -71.5563621, -71.5196872, -71.5667542, -71.5331736, -71.5499438,
    -71.5433549, -71.5474274, -71.5147725, -71.5888168, -71.5102665,
    -71.5245417, -71.5216753, -71.5264562
]
```

```
latitudes = [
    -16.4057668, -16.3985592, -16.3994106, -16.4258227, -16.3948567,
    -16.4354412, -16.3981945, -16.4202583, -16.4079544, -16.3953798,
    -16.4071896, -16.3856255, -16.334886, -16.4159071, -16.4332808,
    -16.4191552, -16.4183905, -16.3751288, -16.3888213, -16.4299761,
    -16.377331, -16.3502142, -16.4352807, -16.3776043, -16.4128131,
    -16.3548724, -16.3524886, -16.4155072, -16.3727468, -16.4200326,
    -16.3952454, -16.4269544, -16.3851467, -16.4023973, -16.4493758,
    -16.4321454, -16.4229165, -16.4661762, -16.3955117, -16.439507,
    -16.3819517, -16.4496676, -16.3918574, -16.3243263, -16.4612946,
    -16.3969251, -16.335377, -16.3779999, -16.4417793, -16.3741466,
    -16.4259282, -16.4365763, -16.3930258, -16.4290248, -16.3318683,
    -16.3786505, -16.3732628, -16.3893997, -16.4034717, -16.3821312,
    -16.3632638, -16.3872273, -16.4318437, -16.3334634, -16.3838632,
    -16.4406791, -16.3816825, -16.4079959
]
```

```
# Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito,
con demanda 0)
```

```
demandas = [
    0.0, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.4732,
    0.5915,
    0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
    0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
    0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.3549,
    0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.5915,
```

```

0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732, 0.3549,
0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.3549,
0.3549, 0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.3549,
0.5915, 0.4732, 0.3549
]

# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

clientes = pd.DataFrame(data)

#
=====
=====
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
#
=====
=====

def get_distance_matrix(locations):
    """
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles
    usando OSRM.
    La API ahora solicita la distancia en metros.
    """
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
    url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

    try:
        response = requests.get(url)
        response.raise_for_status()
        result = response.json()
        distance_matrix_meters = result['distances']
        return distance_matrix_meters
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
        return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:

```

```
dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()

#
=====
=====
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
#
=====
=====

ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones
#
=====
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12
```

```
# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
    ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

    estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
    verificacion = ""

    # Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
    if ruta_i_id != ruta_j_id:
        # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
        es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
        es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])

        if es_extremo_i and es_extremo_j:
            # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
            demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
            if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
                # Fusión de las rutas
                verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

                ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
                ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]
```

```
        # Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
        if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
        elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

        demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

        for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
            clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

        rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
        demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})

df_iteraciones = pd.DataFrame(log_iteraciones)
print("\nLog de Iteraciones del Algoritmo:\n")
print(df_iteraciones)
```

```
# -----  
-----  
# Asignación y clasificación de las rutas finales  
# -----  
-----  
  
rutas_con_metricas = []  
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():  
    if clientes_ruta:  
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']  
  
        distancia_total = 0  
        for k in range(len(ruta_final) - 1):  
            origen = ruta_final[k]  
            destino = ruta_final[k+1]  
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]  
  
        demanda_total =  
clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()  
  
        rutas_con_metricas.append({  
            'ruta_id': ruta_id,  
            'clientes': ruta_final,  
            'distancia': distancia_total,  
            'demanda': demanda_total,  
            'num_pedidos': len(clientes_ruta)  
        })  
  
rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)  
  
unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]  
subcontratadas = []  
no_asignadas = []  
  
for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:  
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:  
        subcontratadas.append(ruta)  
    else:  
        no_asignadas.append(ruta)  
  
# -----  
-----  
# Imprimir los resultados clasificados en consola  
# -----  
-----  
  
print("\n=====")  
print("Clasificación de Rutas Finales:")  
print("=====")
```

```
print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)
```

```
###PROPUESTA DIA 6
#
=====
=====
# Paso 0: Preparación del entorno y bibliotecas
#
=====
=====
# Instalar bibliotecas necesarias
!pip install pandas requests openpyxl

import pandas as pd
import requests

#
=====
=====
# Paso 1: Preparar los datos de entrada con coordenadas y demandas
#
=====
=====

# Coordenadas proporcionadas
longitudes = [
```

```
-71.5623949, -71.5305482, -71.5255081, -71.5726871, -71.5173103,
-71.5278079, -71.543015, -71.5215738, -71.5296664, -71.5282966,
-71.5243363, -71.5139194, -71.513832, -71.5561107, -71.535743,
-71.566509, -71.5469837, -71.5444492, -71.5909817, -71.528583,
-71.5619269, -71.5112132, -71.615703, -71.5565031, -71.5206392,
-71.5180972, -71.561483, -71.5003913, -71.6310772, -71.4935081,
-71.5544732, -71.5182808, -71.531997, -71.5722933, -71.5192078,
-71.5199892, -71.5395063, -71.5230941, -71.5671794, -71.5564737,
-71.5671686, -71.5481118, -71.5444554, -71.5244765, -71.5811251,
-71.4939604, -71.5838124, -71.5085537, -71.5127571, -71.5254699,
-71.5125331, -71.5136843, -71.5220422, -71.5058501, -71.5280363,
-71.5658664, -71.5152789, -71.5443027, -71.5283302, -71.5574714,
-71.5529681, -71.5262587, -71.5693653, -71.5251057, -71.5707966,
-71.5911997, -71.5169851, -71.530763, -71.5079253, -71.5590466,
-71.5312221
]
```

```
latitudes = [
-16.4057668, -16.4353239, -16.4094863, -16.3959446, -16.391141,
-16.4672235, -16.357849, -16.3996792, -16.4164048, -16.3800218,
-16.3775576, -16.4073209, -16.4029172, -16.4010429, -16.4045249,
-16.3935739, -16.3815, -16.3417401, -16.4491588, -16.4000258,
-16.3869048, -16.374198, -16.3063869, -16.4273407, -16.3939485,
-16.4282409, -16.3713542, -16.4296073, -16.3059264, -16.4197841,
-16.4426919, -16.4356192, -16.3999096, -16.4257019, -16.4449741,
-16.4587261, -16.3883413, -16.3801548, -16.4251646, -16.3732678,
-16.4251659, -16.444805, -16.3583822, -16.4086921, -16.3247132,
-16.4175822, -16.4051985, -16.3968004, -16.3752648, -16.44121,
-16.3907357, -16.3832327, -16.3763216, -16.3954778, -16.4371447,
-16.4280983, -16.4025528, -16.383278, -16.3894795, -16.391522,
-16.3716682, -16.4237874, -16.4294342, -16.3865624, -16.4275049,
-16.4508471, -16.4254176, -16.4389413, -16.4351604, -16.3829843,
-16.4174075
]
```

Demandas para cada cliente (el primer valor corresponde al depósito, con demanda 0)

```
demandas = [
0.0, 0.5915, 0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.3549,
0.5915, 0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.3549,
0.4732, 0.5915, 0.5915, 0.5915, 0.4732,
0.4732, 0.5915, 0.4732, 0.5915, 0.5915,
0.4732, 0.3549, 0.3549, 0.5915, 0.3549,
0.3549, 0.3549, 0.5915, 0.3549, 0.5915,
0.4732, 0.5915, 0.3549, 0.5915, 0.4732,
0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.3549, 0.3549,
0.5915, 0.4732, 0.4732, 0.3549, 0.3549,
0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.5915, 0.3549,
0.3549, 0.4732, 0.4732, 0.4732, 0.3549,
```

```

0.5915, 0.5915, 0.3549, 0.3549, 0.4732,
0.4732, 0.4732, 0.3549, 0.4732, 0.3549,
0.4732, 0.3549, 0.5915, 0.4732, 0.3549
]

# Crear un DataFrame con todos los clientes y el depósito
data = {
    'id': ['deposito'] + [f'cliente_{i}' for i in range(1,
len(latitudes))],
    'lat': latitudes,
    'lon': longitudes,
    'demanda': demandas
}

clientes = pd.DataFrame(data)

#
=====
# Paso 2: Obtener la matriz de distancias reales (en kilómetros)
#
=====

def get_distance_matrix(locations):
    """
    Función para obtener la matriz de distancias de la red de calles
    usando OSRM.
    La API ahora solicita la distancia en metros.
    """
    coords = ";".join([f"{loc[1]},{loc[0]}" for loc in locations])
    url = f"http://router.project-
osrm.org/table/v1/driving/{coords}?annotations=distance"

    try:
        response = requests.get(url)
        response.raise_for_status()
        result = response.json()
        distance_matrix_meters = result['distances']
        return distance_matrix_meters
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"Error al conectar con OSRM: {e}")
        return None

all_locations = clientes[['lat', 'lon']].values.tolist()
distance_matrix = get_distance_matrix(all_locations)

if distance_matrix:

```

```
dist_df = pd.DataFrame(distance_matrix, index=clientes['id'],
columns=clientes['id'])
dist_df = dist_df / 1000 # Convertir de metros a kilómetros
print("\nMatriz de Distancias (km) entre ubicaciones:\n",
dist_df.head())
else:
    print("No se pudo obtener la matriz de distancias. El script ha
terminado.")
    exit()

#
=====
=====
# Paso 3: Calcular la Matriz de Ahorros de Clarke & Wright
#
=====
=====

ahorros = []
n = len(clientes)
for i in range(1, n):
    for j in range(i + 1, n):
        id_i = clientes.iloc[i]['id']
        id_j = clientes.iloc[j]['id']
        ahorro = dist_df.loc['deposito', id_i] +
dist_df.loc['deposito', id_j] - dist_df.loc[id_i, id_j]
        ahorros.append({'cliente_i': id_i, 'cliente_j': id_j, 'ahorro':
ahorro})

ahorros_df = pd.DataFrame(ahorros)
ahorros_df = ahorros_df.sort_values(by='ahorro', ascending=False)

print(ahorros_df.head())

#
=====
=====
# Paso 4: Aplicar el algoritmo y registrar las iteraciones
#
=====
=====

# Capacidad del vehículo proporcionada
capacidad_vehiculo = 13.72
# Número de unidades propias de la empresa (puedes modificar este
valor)
num_unidades_propias = 2
# Mínimo de pedidos para subcontratar
min_pedidos_subcontratar = 12
```

```
# Estructura inicial: cada cliente en su propia ruta
# Ahora las rutas son listas ordenadas para saber los extremos
rutas_dict = {f'ruta_{c}': [c] for c in clientes['id'][1:]}
clientes_en_ruta = {c: f'ruta_{c}' for c in clientes['id'][1:]}
demanda_en_ruta = {f'ruta_{c}':
clientes[clientes['id']==c]['demanda'].iloc[0] for c in
clientes['id'][1:]}

# Lista para almacenar los detalles de cada iteración
log_iteraciones = []
contador_iteracion = 0

print("\n=====")
print("Iniciando la construcción de rutas (Clarke & Wright)...")
print("=====")

# Aplicar el algoritmo de Clarke y Wright para fusionar rutas
for _, row in ahorros_df.iterrows():
    contador_iteracion += 1
    cliente_i, cliente_j = row['cliente_i'], row['cliente_j']
    ahorro = row['ahorro']

    ruta_i_id = clientes_en_ruta.get(cliente_i)
    ruta_j_id = clientes_en_ruta.get(cliente_j)

    estado_rutas_inicial = str(rutas_dict)
    verificacion = ""

    # Condición 1: Los clientes deben estar en rutas diferentes
    if ruta_i_id != ruta_j_id:
        # Condición 2: Los clientes deben ser los extremos de sus rutas
        es_extremo_i = (cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][0] or
cliente_i == rutas_dict[ruta_i_id][-1])
        es_extremo_j = (cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][0] or
cliente_j == rutas_dict[ruta_j_id][-1])

        if es_extremo_i and es_extremo_j:
            # Condición 3: La capacidad del vehículo no debe ser
excedida
            demanda_combinada = demanda_en_ruta.get(ruta_i_id, 0) +
demanda_en_ruta.get(ruta_j_id, 0)
            if demanda_combinada <= capacidad_vehiculo:
                # Fusión de las rutas
                verificacion = "OK - Rutas fusionadas"

                ruta_i_list = rutas_dict[ruta_i_id]
                ruta_j_list = rutas_dict[ruta_j_id]
```

```
        # Definir cómo fusionar las rutas para mantener la
continuidad
        if cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(ruta_j_list)
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list + ruta_i_list
        elif cliente_i == ruta_i_list[-1] and cliente_j ==
ruta_j_list[-1]:
            rutas_dict[ruta_i_id].extend(reversed(ruta_j_list))
        elif cliente_i == ruta_i_list[0] and cliente_j ==
ruta_j_list[0]:
            rutas_dict[ruta_i_id] = ruta_j_list +
rutas_dict[ruta_i_id]

        demanda_en_ruta[ruta_i_id] = demanda_combinada

        for cliente in rutas_dict[ruta_j_id]:
            clientes_en_ruta[cliente] = ruta_i_id

        rutas_dict.pop(ruta_j_id, None)
        demanda_en_ruta.pop(ruta_j_id, None)

    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Capacidad excedida"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes no están en los
extremos de sus rutas"
    else:
        verificacion = "Fusión no válida: Clientes ya están en la misma
ruta"

estado_rutas_final = str(rutas_dict)

log_iteraciones.append({
    'Iteración': contador_iteracion,
    'Par de Clientes': f"{cliente_i} - {cliente_j}",
    'Ahorro': f"{ahorro:.2f}",
    'Estado de Rutas (Inicial)': estado_rutas_inicial,
    'Verificación de Fusión': verificacion,
    'Estado de Rutas (Final)': estado_rutas_final
})

df_iteraciones = pd.DataFrame(log_iteraciones)
print("\nLog de Iteraciones del Algoritmo:\n")
print(df_iteraciones)
```

```
# -----  
-----  
# Asignación y clasificación de las rutas finales  
# -----  
-----  
  
rutas_con_metricas = []  
for ruta_id, clientes_ruta in rutas_dict.items():  
    if clientes_ruta:  
        ruta_final = ['deposito'] + clientes_ruta + ['deposito']  
  
        distancia_total = 0  
        for k in range(len(ruta_final) - 1):  
            origen = ruta_final[k]  
            destino = ruta_final[k+1]  
            distancia_total += dist_df.loc[origen, destino]  
  
        demanda_total =  
        clientes[clientes['id'].isin(clientes_ruta)]['demanda'].sum()  
  
        rutas_con_metricas.append({  
            'ruta_id': ruta_id,  
            'clientes': ruta_final,  
            'distancia': distancia_total,  
            'demanda': demanda_total,  
            'num_pedidos': len(clientes_ruta)  
        })  
  
rutas_con_metricas.sort(key=lambda x: x['distancia'], reverse=True)  
  
unidades_propias = rutas_con_metricas[:num_unidades_propias]  
subcontratadas = []  
no_asignadas = []  
  
for ruta in rutas_con_metricas[num_unidades_propias:]:  
    if ruta['num_pedidos'] >= min_pedidos_subcontratar:  
        subcontratadas.append(ruta)  
    else:  
        no_asignadas.append(ruta)  
  
# -----  
-----  
# Imprimir los resultados clasificados en consola  
# -----  
-----  
  
print("\n=====")  
print("Clasificación de Rutas Finales:")  
print("=====")
```

```
print(f"\n--- Rutas Asignadas a Unidades Propias
({num_unidades_propias} vehículo/s) ---")
if not unidades_propias:
    print(" No se asignaron rutas a unidades propias.")
for ruta in unidades_propias:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)

print("\n--- Rutas Subcontratadas (>= 12 pedidos) ---")
if not subcontratadas:
    print(" No se asignaron rutas a subcontratistas.")
for ruta in subcontratadas:
    print(f"Ruta: {ruta['ruta_id']}")
    print(f" Clientes: {ruta['clientes']}")
    print(f" Distancia total: {ruta['distancia']:.2f} km")
    print(f" Número de pedidos: {ruta['num_pedidos']}")
    print("-" * 30)
```

