

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE COSTOS DE OPERACIÓN EN LA
RECOLECCIÓN DE ACEITE VEGETAL USADO EN BOGOTÁ**

ANGIE JURANY BERNAL CARVAJAL

COD: 10274



**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.
2019**

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE COSTOS DE OPERACIÓN EN LA
RECOLECCIÓN DE ACEITE VEGETAL USADO EN BOGOTÁ**

ANGIE JURANY BERNAL CARVAJAL

COD: 10274

Trabajo de Grado para obtener el
título de Ingeniera Industrial

DIONISIO MALAGON

Ing. Qco, PhD. Ing. Química

HENRY CORTES

Ing Mco, M.Sc., Ph.D. Ing. Mecánica

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.
2019**

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Problema de Investigación.....	12
1.1.1 Descripción del problema	12
1.1.2 Formulación del problema	13
1.2 Justificación	13
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
2. MARCO TEORICO.....	16
2.1 Optimización	16
2.2 Optimización Combinatoria.....	17
2.3 Modelo Matemático	18
2.4 Etapas en el desarrollo de un modelo Matemático.....	18
2.4.1 Identificación del problema	18
2.4.2 Especificación Matemática y Formulación	19
2.4.3 Resolución	19
2.4.4 Verificación y validación	19
2.4.5 Análisis de los resultados	20
2.5 Técnicas de Optimización	20
2.5.1 Programación Lineal.....	20
2.5.2 Programación Entera	21
2.5.3 Programación Dinámica.....	21
2.5.4 Programación no lineal	21
2.6 Modelos de Optimización	22
2.7 Modelo del Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP)	23
2.7.1 Características y elementos del VRP	24
2.8 Heurísticas para la solución del problema VRP	26
2.8.1 Modelo de los Ahorros (Savings Criterion – Clarke and Wright 1958)	26
2.8.2 Heurísticas de Inserción	27
2.8.3 Algoritmo de Barrido	27
2.8.4 Algoritmo de Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound)	28
2.8.5 Algoritmo de los pétalos.....	29
2.8.6 Procedimientos de Búsqueda Local	29
2.11 MARCO CONCEPTUAL	30

2.11.1 Aceite Vegetal Usado (AVU)	30
2.11.2 Acopiador	30
2.11.3 Biodiesel	30
2.11.4 Disposición final	31
2.11.5 Establecimiento generador	31
2.11.6 Gestor de residuos	31
2.11.7 Logística Inversa	31
2.11.8 Planeación y Programación de Transporte	31
2.11.9 Planificación de la Demanda	32
2.11.10 Ruta	32
2.11.11 Ruteo	32
2.12 MARCO LEGAL	32
3. MODELAMIENTO MATEMÁTICO	35
3.1 Elementos a considerar en el modelo matemático	36
3.1.1 Depósito	36
3.1.3 Vehículo	40
3.1.4 Aceite por recolectar por punto	41
3.2 Parámetros utilizados en el modelo matemático	45
3.2.1 Contenedores de recolección	45
3.1.10 Horario	47
3.1.11 Tiempo de recolección por punto	47
3.2 Descripción del Modelo	48
3.3 Formulación del Modelo	49
3.3.1 Variables	49
3.3.2 Parámetros	49
3.3.3 Función objetivo:	50
3.3.4 Restricciones	51
4.OPTIMIZACIÓN MODELO MATEMÁTICO	52
4.1 VRP SOLVER	52
4.3 Componentes de la aplicación VRP Solver	53
4.3.1 Servidor de enrutamiento	53
4.3.2 R Studio	54
4.3.3 Lenguaje de Programación R	55
4.5 Programación modelo propuesto	56
4.6 Prueba Semanal	58
4.6.1 Datos	58
4.6.2 Matriz de Distancia	60
4.6.3 Matriz de Tiempo Semanal	62
4.6.4 Ruta Optima prueba semanal	63
4.6.5 Gráfica ruta óptima	64
4.7 Prueba Quincenal	70
4.7.1 Datos	70
4.7.2 Matriz de Distancia Quincenal	70
4.7.3 Matriz de Tiempo Quincenal	72

4.7.4 Ruta Optima prueba Quincenal	74
4.7.5 Gráfica ruta óptima	75
4.8 Prueba Mensual	79
4.8.1 Datos	79
4.8.2 Matriz de Distancia Mensual	82
4.8.3 Matriz de Tiempo Mensual	83
4.8.4 Ruta Óptima.....	86
4.8.5 Recorrido ruta óptima.....	86
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	90
4.1 Tiempo Total Recorrido.....	90
4.2 Costo Total Kilómetros Recorridos	91
4.3 Costo Total por aceite recolectado	91
4.4 Costos Ruta de Recolección Bogotá.....	93
6. CONCLUSIONES	97
7. BIBLIOGRAFIA.....	98
ANEXOS.....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad Colombia aceite vegetal usado.	33
Tabla 2. Tamaño de la muestra modelo propuesto	39
Tabla 3. Resultados de modelos.....	40
Tabla 4. Litros de aceite producido por punto de recolección.....	42
Tabla 5. Costo por litro de aceite recolectado.....	43
Tabla 6. Costos eficientes para calcular costo del kilómetro en Bogotá	44
Tabla 7. Clasificación de contenedores según su capacidad en litros.	45
Tabla 8. Frecuencia de recolección por punto.	47
Tabla 9 Asignación de tiempos por cantidad de recolección.	48
Tabla 10. Datos con frecuencia de recolección entre 5 y 7 días.....	58
Tabla 11. Matriz de Distancia prueba semanal.....	60
Tabla 12. Matriz de Tiempo prueba semanal.....	62
Tabla 13. Ruta optima prueba semanal.....	63
Tabla 14 Datos con frecuencia de recolección entre 10 y 15 días.....	70
Tabla 15. Matriz distancia prueba quincenal.....	71
Tabla 16. Matriz de tiempo prueba quincenal.	72
Tabla 17. Ruta optima prueba quincenal.	74
Tabla 18 Datos con frecuencia de recolección entre 20 y 30 días.....	79
Tabla 19. Matriz de distancia prueba mensual.	82
Tabla 20. Matriz de Tiempo prueba mensual.....	84
Tabla 21. Rutas optima prueba mensual.	86
Tabla 22. Resumen tiempo total recorrido.....	90
Tabla 23. Costo total kilómetros recorridos.....	91
Tabla 24. Costo total por litro de aceite recolectado.....	92
Tabla 25. Costos totales ruta optima de recolección.	93
Tabla 26. Costo optimó	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representación gráfica modelo VRP.....	23
Figura 2 Clasificación de las técnicas heurísticas.....	26
Figura 4 Algoritmo de Ramificación y Acotamiento.....	29
Figura 5 Planta de Almacenamiento y Tratamiento Biogras. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 6 Vehículo utilizado en el proceso de recolección de AVU..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 7 Latitud y longitud en Google Maps. ... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 8 Servidor de rutas.	54
Figura 9 Plataforma R Studio.....	55
Figura 10 Recorrido ruta optima prueba semanal..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 11 Recorrido ruta optima prueba quincenal..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 12 Recorrido ruta optima mensual..... ¡Error! Marcador no definido.	

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta utilizada en el estudio de prefactibilidad	102
Anexo 2. Datos programación modelo propuesto.....	110
Anexo 3 Matriz de Distancia clientes a programar.....	111

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para determinar el tamaño de la muestra.....	38
---	----

DEDICATORIA

A toda mi familia, quien con su apoyo y su amor me acompañaron y me animaron en todo mi proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios quien es el que me guio y me fortaleció cada día a seguir adelante y culminar este proyecto.

A mis padres Héctor Bernal y Jacqueline Carvajal quienes me han apoyado desde el inicio de mi formación universitaria, me han guiado y me han aconsejado en todas las decisiones que he tomado y siempre me han animado a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mis hermanos Andrea Bernal y Julio Bernal quienes siempre me han apoyado y animado a seguir y cumplir mis metas propuestas.

A mi director, el profesor Dionisio Malagón quien con su paciencia, orientación, motivación y aporte de su conocimiento me fue posible la culminación de este proyecto, así como también el gusto por la investigación.

Al profesor Henry Cortes, quien me dio su dirección y orientación para la construcción de este proyecto y además me dio todo su apoyo y ánimo para seguir adelante y culminar este proyecto.

A Paul León, el autor de la aplicación VRP Solver quien me ayudó y colaboró en la realización de la programación de este proyecto a pesar de la distancia.

A la universidad ECCI, quien me brindo las aulas de la institución y la formación de todos los docentes que durante el transcurso de la carrera me enseñaron y me llenaron de conocimiento para cumplir mi meta de convertirme en ingeniera industrial.

RESUMEN

El aceite vegetal usado, está clasificado como un residuo peligroso en Colombia, por lo que existe una normatividad que reglamenta la disposición final adecuada del mismo. Sin embargo, dentro de los residuos peligrosos, el aceite vegetal usado es el único que se puede tratar y reutilizar, sometiéndose mediante medios físicos, químicos o biológicos a un proceso de limpieza y tratamiento para la creación de productos ecológicos, entre ellos el biodiesel. Además, su correcta disposición permite disminuir impactos desfavorables al medio ambiente especialmente en los recursos hídricos.

Es por ello por lo que actualmente se han constituido empresas gestoras en Colombia, encargadas de la recolección y tratamiento del aceite vegetal usado en los puntos identificados como generadores según el Ministerio de Medio Ambiente. Sin embargo, las empresas gestoras en el proceso de recolección y transformación deben asumir altos costos logísticos en la programación de rutas para efectuar el proceso de recolección.

Por lo tanto, en la presente investigación se propuso el diseño de un modelo matemático basado en el problema de optimización combinatoria VRP (*Vehicle Routing Problem*) que permitió optimizar los costos operacionales implícitos en la recolección de aceite vegetal usado en Bogotá. A partir de la optimización se generaron rutas de recolección semanal, quincenal y mensual. Adicionalmente, se halló un costo óptimo del litro de aceite de \$1.658 para la recolección de aceite vegetal usado en Bogotá. Esta información es útil para las empresas gestoras ya que contribuye con la disminución de costos en la materia prima para la producción de biodiesel en Bogotá-región.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal usado se considera un residuo líquido que tiene su origen en un compuesto orgánico (Restrepo, 2012), el cual se convierte en un producto desnaturalizado por su utilización con altas temperaturas cambiando sus características organolépticas y fisicoquímicas del producto original, produciendo modificaciones en la composición de los ácidos grasos saturados que lo forman (Agüero, García, & Catalán, 2015). El aceite vegetal usado se obtiene de las plantas generadoras de los comúnmente conocidos como aceites domésticos (Valenzuela & Morgado, 2005).

A nivel mundial el aceite usado, es el segundo líquido más contaminante que genera mayores volúmenes luego de las aguas residuales (Preciado, 2017). El proceso de biodegradación y disolución de los aceites es muy lento, pues demandan entre 10 y 15 años para su eliminación (William et al., 2017). Es por ello por lo que los aceites al ser vertidos en el agua y en el suelo causan efectos perjudiciales para el ambiente y la salud humana (Valenzuela & Morgado, 2005). Según estudios realizados se ha demostrado que concentraciones de aceite usado en agua de 1 mg/l la convierten en no apta para el consumo humano, pero concentraciones de 0,01 mg/l ya alteran el sabor (Muñoz Ciro, Montoya Escobar, & Muñoz Rivera, 2017).

Sin embargo, el aceite vegetal usado es un insumo adecuado que logra diversificar la canasta energética de un país y colabora para un desempeño ambientalmente sostenible, ya que es considerado la principal materia prima para la producción del biodiesel (Restrepo, 2012). Es por ello por lo que, en Colombia, por medio de la Resolución 0316 del 2018 se reglamentó la disposición final del aceite, estableciendo las pautas para los generadores de aceite, así como también a las empresas gestoras quienes son las encargadas de recolectarlo, transportarlo y tratarlo para la producción de Biodiesel (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018b).

Por lo tanto, con el fin de disminuir la problemática ambiental del aceite vegetal usado y contribuir al desarrollo sostenible del país, en el presente trabajo se propone un modelo matemático que permite optimizar la ruta de recolección de aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá, la cual será de utilidad para las empresas gestoras, permitiendo a partir de la optimización de los costos operacionales y la generación de rutas estratégicas, recolectar la mayor cantidad de aceite en la ciudad ya que solo en Bogotá el consumo de aceite vegetal es de 720.000 litros al mes(Casallas, 2017).

1.1 Problema de Investigación

1.1.1 Descripción del problema

El aceite vegetal usado ha generado un impacto negativo en el ambiente, especialmente en los recursos hídricos y el suelo, ya que el aceite al ser vertido en los cuerpos de agua superficial afecta la capacidad de intercambio de oxígeno de esta (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018b). De la misma manera, el vertimiento en el suelo puede causar: erosión, pérdidas de fertilidad y destrucción de hábitats (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a). Por otro lado, también puede afectar la salud humana, ya que el aceite reutilizado tres veces o más es potencialmente cancerígeno por la producción de acrilamidas (Restrepo, 2012). Adicionalmente, a nivel urbano, al ser vertidos en el sistema de alcantarillado se obstruyen las redes y se ocasionan dificultades en la disposición y sobrecostos a las Plantas de Tratamiento (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a).

Sin embargo, existen alternativas para el aprovechamiento del aceite vegetal usado, por ejemplo, en la producción de biocombustibles como el biodiesel(López et al., 2015). Esta técnica se ha venido estudiando desde el primer tercio del siglo XX, y en la actualidad se presenta como una solución atractiva para los problemas de la reutilización y el vertimiento indiscriminado del aceite residual de origen alimentario (Gandón Hernandez, Torres Baratute,

& Garcia Diaz, 2017). Sin duda, es una alternativa para el uso del petróleo, ya que se abre la posibilidad de convertir grasas y aceites usados en biodiesel, el cual es un combustible renovable con múltiples beneficios ambientales y económicos (Torossi Baudino, 2006)

Según datos de Asograsas, en 2016 en Colombia el consumo aparente de aceite vegetal comestible fue de 621.000 toneladas (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a). No se cuenta con un estimado de la cantidad de aceite residual generado a nivel nacional. Sin embargo, en Bogotá el volumen generado de este residuo supera los 720.000 litros mensuales (Casallas Olaya, 2017).

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el costo de recolección de aceite vegetal usado al ser optimizada la ruta de recolección en Bogotá?

1.2 Justificación

A nivel mundial, entidades como la ONU, a través de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), plantea la necesidad de que los gobiernos adopten medidas tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas. Dentro de dichos objetivos se encuentran el agua limpia y saneamiento (6), producción y consumo responsables (12) y vida de ecosistemas terrestres (15) que de manera directa se ven impactados por el manejo inadecuado del aceite vegetal usado. Solo hasta el año 2018 en Colombia a través de la Resolución 0316 del Ministerio del Medio Ambiente se establecen las pautas y condiciones para la gestión de los aceites de cocina usados: toda persona, industria, comercio y servicios que genere aceite de cocina usado, y toda persona que sea gestor del mismo deberán inscribirse ante la autoridad ambiental competente en el área donde se realizará la actividad de generación, recolección, tratamiento y/o aprovechamiento del aceite (Ministerio Ambiente

y Desarrollo Sostenible, 2018a). Esto es un punto de partida importante en el acceso a la información de todos los actores, y en especial generadores, que solo en Bogotá superan los 17.000 puntos y que generan aproximadamente 720.172 litros al mes (Casallas Olaya, 2017).

Basados en esta cantidad de aceite generado, se podría planificar la recolección en cada uno de los puntos generadores para ser usado como materia prima para la producción de biodiesel. Se ha reportado que por cada 1.2 litros de aceite vegetal usado se puede producir un litro de Biodiesel (Fontanilla, 2012), con lo cual se lograría utilizar el aceite producido y ser integrado en un proceso industrial. Además, se podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte en un 8%, ya que por cada litro de aceite vegetal usado que se convierte en biodiesel se le entrega una reducción de 2.5 kg de CO₂ al ambiente (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a).

Sin embargo, realizar la recolección de aceite vegetal usado es una ardua y compleja tarea para las empresas gestoras, ya que se ven implicados altos costos asociados a la logística para la programación de rutas. Es por ello que la presente investigación se enfoca en el diseño de un modelo matemático para optimizar los costos operacionales que se presentan en la elaboración de la ruta de recolección de aceite vegetal usado en Bogotá, basado en el modelo clásico del problema de ruteo vehicular conocido como VRP (*vehicle route problem*), que describe el diseño de rutas donde a partir de un depósito del que sale cada vehículo y al que tiene que regresar, en donde debe visitar una sola vez a los clientes para satisfacer su demanda conocida, sin violar las restricciones de capacidad de carga de los vehículos, distancia máxima recorrida por éstos, y respetando el horario de trabajo logrando así cumplir su objetivo principal de buscar el costo mínimo al realizar la ruta de recolección (El-Sherbeny, 2010).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Optimizar los costos operacionales en la recolección de aceite vegetal usado en Bogotá.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las variables más importantes asociadas a las rutas de recolección de aceite vegetal usado.
2. Desarrollar un modelo matemático para minimizar los costos de operación en la recolección de aceite vegetal usado.
3. Optimizar el modelo matemático planteado aplicando un algoritmo de optimización.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO

Actualmente, las compañías han utilizado la logística como proceso estratégico para mantener su actividad y garantizar la eficiencia de sus operaciones en el mercado, lo que además les ha permitido tener ventajas competitivas asociadas a los costos y a la diferenciación(Ulloa Murcia, 2015). Sin embargo, el mercado exige cada día compañías fuertes y eficientes que puedan lidiar y controlar el sistema de recolección y distribución de productos, el cual presenta una complejidad debido a los múltiples destinos servidos por una red de distribución para llegar a un depósito(Gonzalez Alzate & Gonzalez Reyes, 2013). Es por ello por lo que se han diseñado herramientas computacionales, basadas en la optimización con el fin de encontrar soluciones óptimas a problemas complejos de gran tamaño, los cuales han permitido a las compañías solucionar los problemas de distribución y recolección logrando ser más eficientes en el mercado(Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009).

Basado en lo anterior, en el presente capitulo se realiza una introducción y revisión a la literatura sobre todas las herramientas computacionales y modelos asociados a la optimización del transporte, lo que permitirá conocer el enfoque para lograr la optimización de la ruta de recolección de aceite vegetal usado en Bogotá.

2.1 Optimización

La optimización consiste en la búsqueda de valores para unas determinadas variables de forma que, cumpliendo un conjunto de requisitos, representados mediante ecuaciones y/o inecuaciones algebraicas, proporcionan el mejor valor posible para una función que es utilizada para medir el rendimiento del sistema que se estudió (Kampf, 2018). La optimización se logra mediante estrategias matemáticas conocidas como métodos, los cuales sirven como una

herramienta para la toma de decisiones que maximizan o minimizan una función objetivo (Belavenutti, Romero, & Diaz-Balteiro, 2018).

Los modelos de optimización algebraica se componen de los siguientes tres elementos:

- **Función Objetivo** Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar)(Ramos, 1993).
- **Variables** Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo(Sanchez, Ferrer, Barquin, Linares, & Ramos, 2010). Las variables se pueden clasificar en variables independientes o principales y variables independientes o auxiliares, aunque matemáticamente todas son iguales(Sanchez et al., 2010).
- **Restricciones** Representan el conjunto de relaciones expresadas mediante ecuaciones o inecuaciones que ciertas variables están obligadas a satisfacer(Feitó Cespón, Cespón Castro, & Rubio Rodríguez, 2016).

2.2 Optimización Combinatoria

La optimización combinatoria es una rama de la optimización de las matemáticas aplicadas, en donde el óptimo se encuentra a partir de la enumeración de todas las soluciones posibles(Sanchez Garcia, 2005). Los algoritmos de optimización combinatoria resuelven problemas que se creen complejos, debido al gran tamaño de exploración de soluciones que puede tener, mediante la reducción del espacio de búsqueda y la exploración eficiente de la solución óptima(Castro, Castro, & Saldarriaga, 2005).

Un problema de optimización combinatoria puede ser uni-objetivo, cuando solo se construye una función objetivo en el espacio de configuraciones, y multi-objetivo cuando se construye más de una función objetivo(Ocaña & Ramirez, 2012). Los problemas de optimización combinatoria no presentan mucha dificultad en encontrar la solución óptima, pero si pueden demorar bastante

tiempo para ello, es por eso por lo que se necesitan de otros métodos para encontrar la solución en menor tiempo(Sanchez Garcia, 2005).

2.3 Modelo Matemático

Es un patrón teórico o experimental que permite interpretar mediante métodos matemáticos fenómenos reales o problemas técnicos para la toma de decisiones, cuyos resultados sean útiles y tangibles (Reddi, Elgowainy, & Sutherland, 2014). Además, permite organizar, estructurar y analizar datos para obtener un resultado a partir del uso de algoritmos (Seyyedhasani & Dvorak, 2018).

Es importante aclarar que un modelo matemático es una aproximación de un sistema real, por consiguiente, todas las variables pueden no estar incluidas en él ya que cualquier procedimiento aproximado está sujeto a algún error(Chediak Pinzón, 2013). La descripción de un sistema mediante un modelo matemático hace posible analizar y ensayar diferentes alternativas sin interrumpir el sistema real, además permite hacer más explícito el problema permitiendo aclarar las variables más importantes y los datos necesarios para su programación(Feitó Cespón et al., 2016)

2.4 Etapas en el desarrollo de un modelo Matemático

2.4.1 Identificación del problema

Esta etapa consiste en la recolección y el análisis de la información relevante para la construcción del problema(Sanchez et al., 2010).El proceso de identificación del problema es crucial, pues afectara de forma significativa la relevancia de las conclusiones del modelo.

La primera actividad a realizar en esta etapa es el estudio del sistema relevante y el desarrollo de un resumen bien definido del problema que será analizado(Ramos, 1993). Además, en la definición del problema es

fundamental determinar los objetivos apropiados, las restricciones sobre lo que es posible hacer, los diferentes cursos de acción posibles, los límites de tiempo para tomar una decisión entre otros(Hillier & Lieberman, 2014).

2.4.2 Especificación Matemática y Formulación

En esta etapa se realiza la escritura matemática definiendo sus variables, ecuaciones, su función objetivo y sus parámetros así mismo se analiza el tamaño del problema, la estructura de la matriz y el tipo de modelo a utilizar(Ramos, 1993).

Un paso importante en la formulación del modelo es la construcción de la función objetivo. Esta tarea requiere desarrollar una medida cuantitativa del desempeño asociado a cada objetivo, que el tomador de decisiones identifica cuando define el problema(Shamblin, 1982). En la etapa del desarrollo de la formulación es recomendable iniciar con una versión muy sencilla, y avanzar de manera evolutiva hacia paradigmas más elaborados que reflejen mejor la complejidad del problema real(Hillier & Lieberman, 2014).

2.4.3 Resolución

En esta etapa se trata de implantar un algoritmo de solución numérico óptimo o cuasi óptimo. Puede ser un algoritmo de propósito general (método simplex) o específico (Feitó Cespón et al., 2016). En la resolución del modelo matemático, es importante tener en cuenta que, si el modelo está bien formulado y verificado, la solución debe tender a constituirse en una buena aproximación de un curso de acción ideal en la realidad. Teniendo en cuenta que las soluciones solo pueden ser óptimas respecto al modelo planteado(Chediak Pinzón, 2013).

2.4.4 Verificación y validación

En esta etapa se realiza la eliminación de errores de codificación, logrando que el modelo logre realizar lo que se espera, por lo que es necesario comprobar la validez de las simplificaciones a partir de los resultados obtenidos (Rivera Cubides, 2016). Es fundamental que antes de usarse un modelo sea probado de manera exhaustiva para identificar y corregir la mayor cantidad posible de fallas, con el tiempo después de una larga serie de modelos mejorados, el modelo producirá resultados razonablemente válidos (Hillier & Lieberman, 2014).

2.4.5 Análisis de los resultados

En esta etapa se proponen las posibles soluciones de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo, así mismo permite conocer en detalle el comportamiento del modelo al hacer un análisis de sensibilidad en los parámetros de entrada, estudiar los diferentes escenarios posibles, así como detectar las soluciones alternativas que sean más atractivas (Adarme, Fontilla, & Arango, 2011).

2.5 Técnicas de Optimización

2.5.1 Programación Lineal

La programación lineal es un medio matemático que permite asignar una cantidad fija de recursos a la satisfacción de varias demandas en tal forma que mientras se optimiza algún objetivo se satisfacen otras condiciones definidas (Shamblin, 1982). Como lo sugiere el nombre de esta técnica todas las relaciones deben ser lineales. Realmente la programación lineal es la aplicación del álgebra matricial a la solución de estas ecuaciones, mediante la utilización de algunas reglas especiales para asegurar que la solución satisface todas las condiciones necesarias, y aun permite obtener los mejores resultados con respecto al objetivo (Hillier & Lieberman, 2014). Generalmente la labor más difícil de la programación lineal es la definición y formulación del problema, de forma que pueda desarrollarse y producir un objetivo deseable para poder optimizarlo, lo cual implica imaginación tanto del problema como de la técnica de solución (Delgado Hidalgo, Hernán, & Díaz, 2010).

2.5.2 Programación Entera

La programación entera es aquella que contiene restricciones y una función objetivo idénticas a las formuladas por planeación lineal, la diferencia es que en una o más de las variables de decisión se debe tomar un valor entero en la solución final(Ramos, 1993). Los algoritmos de programación entera se basan en el aprovechamiento del gran éxito computacional de la programación lineal(Chediak Pinzón, 2013).

2.5.3 Programación Dinámica

La programación dinámica es la técnica más adecuada para la resolución de problemas que requieren decisiones interrelacionadas, es decir, las decisiones que se deben tomar en forma secuencial y las que influyen en el futuro.(Hillier & Lieberman, 2014). Los conceptos desarrollados por Richard Belman permiten la optimización parcial de una parte de la secuencia y luego relacionan las unidades optimizadas con la siguiente en línea, hasta que toda la secuencia quede optimizada(Shamblin, 1982). La programación dinámica divide el problema en un conjunto de problemas más pequeños y fáciles de resolver, y luego reagrupa los resultados de análisis, lo que se denomina descomposición(Camac Gutierrez, 1994).

2.5.4 Programación no lineal

La programación no lineal es el conjunto de métodos utilizados para optimizar una función objetivo, que está sujeta a una serie de restricciones en las que una o más de las variables incluidas no es lineal, es decir, no existe una relación directa y proporcional entre las variables que intervienen(Hillier & Lieberman, 2010). En la programación no lineal no siempre la solución óptima se encuentra en un punto extremo de la región de factibilidad, hay casos en los que el óptimo puede encontrarse en la interior de la región factible(Castillo, Conejo, & Pedregal, 2002).

2.6 Modelos de Optimización

Los modelos de optimización están diseñados como herramientas para la toma de decisiones que maximizan o minimizan una función objetivo a partir de un método de optimización que está sometido a un conjunto de variables y restricciones (Ulloa Murcia, 2015). Los modelos de optimización constituyen en la actualidad una parte de las matemáticas que cuenta con un gran número de aplicaciones (Chediak Pinzón, 2013). Muchos investigadores de diferentes áreas del saber buscan constantemente la manera de hacer funcionar los sistemas, por lo que en su búsqueda encuentran los modelos de optimización aptos y eficientes para la solución de problemas como: planificación de la producción, transporte de mercancías, asignación de tripulaciones, gestión de inventarios, tomas de decisiones en ambientes de certidumbres, incertidumbres y conflictos entre otros (Castillo et al., 2002). Distintos modelos de optimización se pueden encontrar en la literatura. Uno de los modelos de optimización, que tiene que ver con el ruteo, es el modelo del problema de enrutamiento de vehículos (VRP, *vehicle route problem*).

El VRP se ha aplicado extensivamente al dominio del transporte y la logística para resolver el problema genérico de satisfacer solicitudes de clientes dispersos espacialmente utilizando una flota de vehículos (Bouyahia, Haddad, Haddad, Nait, & Moh, 2018). Otro caso es el del modelo VRPTW (*vehicle routing problem with Time Windows*) el cual es factible y eficaz para resolver el problema de enrutamiento con ventanas de tiempo (Mazzuco et al., 2018), la factibilidad del modelamiento es tal que se puede aplicar incluso para rutas de vehículos eléctricos que añaden la variable del tiempo de recarga de energía, el cual es conocido como GVRP (*Green Vehicle Routing Problem*) (Feero, Paolucci, & Robba, 2018). Otros modelos como el ACO (*Ant Colony Optimization*) es usado para rutas de flotillas enteras de vehículos, e incluso aeronaves autónomas, en los cuales son programados y optimizados basándose en los principios de modelamiento (Yan, 2018), logrando determinar las rutas óptimas lo que permite minimizar el costo total dentro de un marco de tiempo razonable y de manera eficiente (Huang, Blazquez, Huang, Paredes-Belmar, & Latorre-Nuñez, 2018).

2.7 Modelo del Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP)

El origen del VRP se encuentra desde 1959 y es introducido por Dantzing y Ramser (Laporte, Toth, & Vigo, 2013), en donde representaron una aplicación real relacionada con la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron la formulación matemática a ese problema (Daza, Montoya, & Narducci, 2009). Dantzing y Ramser se basaron en el problema del Agente viajero en donde un vendedor debe visitar una serie de clientes y luego volver a su punto de origen (Hernandez Ortiz, 2016).

El modelo clásico del problema de ruteo vehicular conocido como VRP es un problema de optimización combinatoria complejo, el cual parte de un depósito y cuenta con una flota de vehículos que debe atender un conjunto de clientes dispersos en una zona geográfica (Toth & Vigo, 2000), como se muestra en la Figura 1.

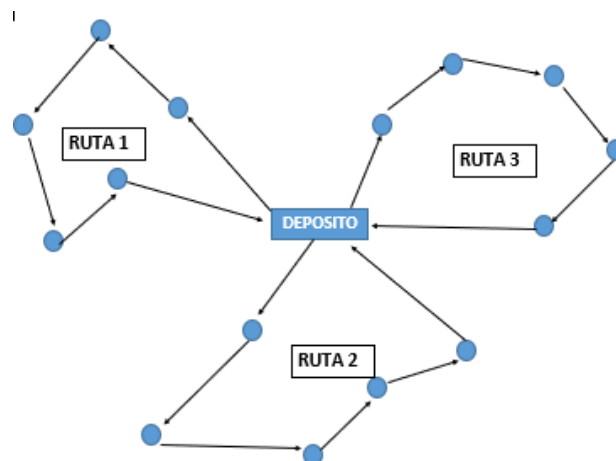


Figura 1 Representación gráfica modelo VRP.

Fuente: Elaboración propia autor.

En su forma general, el objetivo del VRP es diseñar un conjunto de rutas de costo mínimo que sirvan a varios lugares, geográficamente dispersos, y que cumplan con las restricciones específicas del problema (Sepúlveda, Escobar,

& Adarme-Jaimes, 2014). Para el diseño de rutas se derivan modelos VRP que atienden diferentes necesidades, e incluyen diversas restricciones o condiciones operativas impuestas por la dinámica de los mercados (Escobar, Linfati, & Jaimes, 2015). El VRP es un método matemático de gran complejidad, debido a que el número de soluciones crece exponencialmente de acuerdo con el número de nodos, que se representan por los clientes o depósitos (Toth & Vigo, 2000).

2.7.1 Características y elementos del VRP

Para el VRP se tienen en cuenta las siguientes características:

- Tiene un único depósito.
- El depósito cuenta con una flota de vehículos homogénea o heterogénea.
- Atiende una serie de clientes que están dispersos en una zona geográfica.
- Las demandas de los clientes son conocidas.
- Las rutas se inician y terminan en el depósito.
- Los vehículos tienen una capacidad máxima que no se puede exceder.
- Los clientes serán visitados solo una vez en su recorrido.

El modelo VRP cuenta con los siguientes elementos que son fundamentales para su desarrollo:

- **La red de transporte:** La red se considera como el grafo en donde los arcos representan las vías y los vértices corresponden con los nodos de la red, que es donde se encuentran los clientes y el depósito. A los arcos se les asocia un costo, el cual puede representarse por la longitud de la distancia, el tiempo de viaje o el costo monetario de realizar el recorrido (Medr & Santana, 2017).
- **Flota de vehículos:** En el VRP se puede conocer el número de vehículos o puede ser una variable de decisión. En el caso que todos

los vehículos comparten las mismas características, se conoce como flota homogénea, pero cuando hay alguna diferencia entre ellos se conoce como flota heterogénea(Bullnheimer, Hartl, & Strauss, 1999). Normalmente en el VRP cada vehículo realiza una sola ruta durante el horizonte del problema, en el cual tendrá que ir visitando a los clientes que hagan parte de la ruta además se puede asociar un costo fijo por el uso de los vehículos o un costo variable proporcional a la distancia recorrido(Ocaña & Ramirez, 2012).

- **Clientes o proveedores:** Los clientes o proveedores se representan como los nodos que cuenta con una demanda conocida que puede estar representada por un producto o servicio a realizar. Esta demanda es recogida por el vehículo asignado en la ruta con el fin de ser transportada hasta el depósito(Hillier & Lieberman, 2014).
- **Deposito central:** El depósito se representa como el nodo principal, del cual inicia la ruta asignada a cada vehículo y en donde debe terminar para el descargue del producto o la demanda recolectada(Laporte et al., 2013).
- **Ruta solución:** El problema del VRP pretende determinar la ruta para cada uno de los vehículos, logrando que se cumplan todas las restricciones y se logre cumplir la función objetivo, se suele tomar como objetivo la minimización de los costes, del número de vehículos totales, del tiempo total del transporte, de la distancia recorrida entre otros(Rocha, Gonzalez, & Orjueña, 2011). En general en el VRP se asume que un vehículo, durante el tiempo de planificación solo realizara una ruta, sin embargo, hay variantes del problema en las que un mismo vehículo puede participar en más de una ruta(El-Sherbeny, 2010).

Debido a la complejidad del modelo VRP, se han propuesto diferentes heurísticas que permiten generar aproximaciones a la solución óptima(Hernandez Ortiz, 2016).

2.8 Heurísticas para la solución del problema VRP

Las técnicas heurísticas son un conjunto de procedimientos que permiten resolver un problema en donde se explora el espacio de búsqueda de una forma limitada generando así soluciones aceptables en un tiempo corto de ejecución(Delgado Hidalgo et al., 2010). Las heurísticas se clasifican en tres métodos como se puede apreciar en la Figura 2. Entre los métodos constructivos se encuentran los algoritmos de los ahorros y las heurísticas de inserción(Rocha et al., 2011).



Figura 2 Clasificación de las técnicas heurísticas.

Fuente: (Rocha et al., 2011)

2.8.1 Modelo de los Ahorros (Savings Criterion – Clarke and Wright 1958)

El algoritmo de ahorros de Clarke and Wright es una de las heurísticas del VRP más conocida(Toth & Vigo, 2000). Este algoritmo se aplica generalmente en los problemas en donde se cuenta con un depósito central y un número de vehículos no limitado, para atender la demanda conocida de un número n de clientes, con el fin de encontrar las rutas que deben realizar dichos vehículos logrando satisfacer la demanda con el costo mínimo(Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009). El depósito se denota como 0 y los clientes van desde 1 hasta n . Los costes de ir desde el depósito a cada cliente (C_{0j}) y los costes

de desplazamiento entre cada pareja de clientes (C_{ij}) son conocidos y simétricos(Chica & Cord, 2009). Este algoritmo permite obtener muy buenos resultados mediante una exploración limitada del espacio de búsqueda, siendo su aplicación bastante simple y con un tiempo de resolución muy mínimo(Medr & Santana, 2017).

2.8.2 Heurísticas de Inserción

Las heurísticas de inserción crean soluciones mediante sucesivas inserciones de clientes en las rutas, en cada interacción se tiene una solución parcial cuyas rutas solo visitan un subconjunto de clientes y luego se selecciona un cliente no visitado para insertarlo en la última ruta creada(Castillo et al., 2002). Entre los métodos de dos fases se encuentran el algoritmo del barrido, el algoritmo de ramificación y acotamiento, el algoritmo de los pétalos y los procedimientos de búsqueda local(Castro et al., 2005).

2.8.3 Algoritmo de Barrido

Este algoritmo consiste inicialmente en hacer agrupamientos de clientes girando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando los clientes barridos por dicha semirrecta hasta violar la restricción de capacidad(Olivera, 2004). Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, en los que cada nodo se corresponde con un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como la distancia euclidiana(Toro, Escobar, & Granada, 2015).

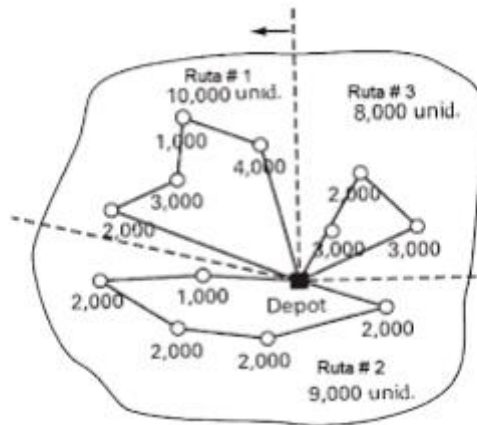


Figura 3 Ejemplo del algoritmo del barrido.

Fuente:(Medr & Santana, 2017)

Como se muestra en la Figura 3 se evidencia el proceso de formación de las diferentes rutas, en donde se supone una capacidad de 10.000 unidades para los vehículos y se va barriendo hasta alcanzar la capacidad máxima de los vehículos, en este caso cuando no se cumple la restricción de capacidad, se realiza una separación y forma una ruta(Medr & Santana, 2017).

2.8.4 Algoritmo de Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound)

El algoritmo de ramificación y acotamiento pertenece a una variedad de estrategias de partición para resolver modelos de optimización global. Este algoritmo se encarga de mantener un límite inferior y superior del valor óptimo de la función objetivo(Mediorreal, 2014). Este algoritmo consiste en ir construyendo un árbol con todas las posibles soluciones, pero cuando una rama ya no es la mejor se deja de construir el árbol por esa rama, con el fin de ahorrar recursos computacionales sin necesidad de explorar todas las posibles soluciones y así encontrar la solución óptima, así como se muestra en la Figura 4 (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009). En el caso del VRP se debe tener una solución inicial con una distancia total recorrida asociada y así realizar el árbol cortando las ramas que superen esa distancia(Sanchez et al., 2010).

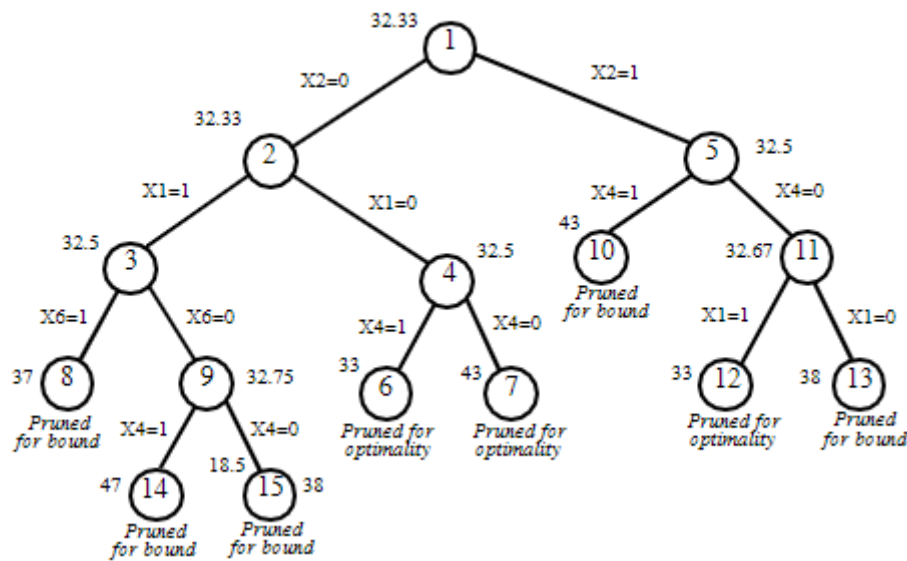


Figura 4 Algoritmo de Ramificación y Acotamiento.

Fuente: (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009)

2.8.5 Algoritmo de los pétalos

Este algoritmo es una extensión del algoritmo del barrido y se puede utilizar para generar varias rutas llamadas pétalos con el fin de hacer una selección final resolviendo un problema de partición (Feitó Cespón et al., 2016). Este algoritmo dispone de un conjunto de rutas R en la que cada cliente es visitado por varias rutas y se debe seleccionar un subconjunto de rutas R que visite exactamente una vez cada cliente (Toro et al., 2015).

2.8.6 Procedimientos de Búsqueda Local

Los procedimientos de búsqueda local se utilizan para mejorar una solución ya obtenida. En estos procedimientos se define un conjunto de soluciones vecinas y parte de una solución primaria para luego reemplazarla por una solución vecina con menor costo, el procedimiento se repite hasta que no se pueda mejorar la solución (Rocha et al., 2011). Los procedimientos de búsqueda local tienen tres ventajas importantes a diferencia de los otros: son ahorrativos ya que no usan tanta memoria porque no almacenan la secuencia de los estados; razonables, porque ofrecen soluciones posibles cuando el espacio de estados

es infinito y es óptimo, porque es capaz de encontrar el mejor estado en base a su función objetivo(Castillo Patarroyo, 2012).

2.11 MARCO CONCEPTUAL

Dentro del marco conceptual se encuentran conceptos fundamentales para el desarrollo del modelo de optimización enfocado en las rutas de recolección del Aceite Vegetal Usado.

2.11.1 Aceite Vegetal Usado (AVU)

Son Aceites que han sufrido un tratamiento térmico de desnaturalización en su utilización, cambiando así las características fisicoquímicas del producto de origen, y que provienen de todo establecimiento que genere en forma continua o discontinua residuos de este tipo(Preciado, 2017).

2.11.2 Acopiador

Persona natural o jurídica que cuenta con los permisos requeridos por la autoridad competente, y que en desarrollo de su actividad acopia y almacena temporalmente aceites vegetales de fritura usados provenientes de uno o varios establecimientos generadores(Schuchardt, Sercheli, & Matheus, 1998).

2.11.3 Biodiesel

Es un compuesto de ésteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales, o grasas animales denominado B100 y que cumple con los requerimientos de la ASTM D 6751 (*American Society for Testing and Materials*). El biodiesel (Ester metílico) se obtiene a través de un proceso industrial relativamente simple de transesterificación de lípidos. Tiene una viscosidad similar al diésel derivado del petróleo(Murcia Ordoñez, Chaves, & Rodríguez-pérez, 2013).

2.11.4 Disposición final

Utilización o aprovechamiento del aceite vegetal de fritura usado en procesos de sinergia de subproductos tales como producción de biocombustibles y jabones que cumplan con las normatividades y especificaciones técnicas, ambientales y de seguridad que existan o se impongan(Preciado, 2017).

2.11.5 Establecimiento generador

Lugar donde se realiza una actividad comercial, industrial o especial, generadora de residuos de aceite vegetal de fritura en el cual se evacúan continua o discontinuamente vertidos. Los mismos deben estar registrados como generadores ante la autoridad competente(Alcaldia de Bogota, 2003).

2.11.6 Gestor de residuos

Persona natural o jurídica que presta los servicios de recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento o disposición final de residuos de aceites vegetales de fritura usados dentro del marco de la gestión integral y cumpliendo con los requerimientos de la normatividad vigente(Fernando-navas & Echeverry-ibarra, 2012).

2.11.7 Logística Inversa

Proceso de retorno de las mercancías en la cadena de suministro por el que se recuperan y reciclan, envases, embalajes, residuos peligrosos, retornos de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales(González & González, 2015).

2.11.8 Planeación y Programación de Transporte

Especifica cómo, cuándo y dónde transportar los bienes. La planeación del transporte y la programación de las aplicaciones puede incluir restricciones de peso y medida, unión-en-tránsito, movimiento continuo, selección del modo o transportista, o planeación de la funcionalidad(Reyes, 2005).

2.11.9 Planificación de la Demanda

El proceso de pronosticar y manejar la demanda para productos y servicios hacia los usuarios finales, así como para miembros intermedios en la cadena de suministro(Pastor, 2013).

2.11.10 Ruta

Es la selección del camino o trayecto por el cual deberá ir determinado transportador y en el cual se realizarán las recolecciones de Aceite a los diferentes puntos generadores(Gonzalez Alzate & Gonzalez Reyes, 2013).

2.11.11 Ruteo

Es el proceso de selección vías en una red en la cual existe un tráfico de mercancía. Existen diferentes maneras de realizar este ruteo, y de la misma manera software que ayudan con este proceso. Se realiza además teniendo en cuenta distintos factores a considerar(Ramos, 1993).

2.12 MARCO LEGAL

Teniendo en cuenta que los aceites usados están clasificados como residuos peligrosos en Colombia, existe una normatividad que reglamenta la disposición final adecuada del mismo.

Sin embargo, dentro de los residuos peligrosos, el aceite usado es el único que se puede tratar y reutilizar, sometiéndose mediante medios físicos, químicos o biológicos a un proceso de limpieza de elementos tales como sedimentos, compuestos de cloro, metales pesados, solventes y otros elementos provenientes de aditivos y de usos originales por lo que sus generadores pueden venderlo a las empresas encargadas de tratarlo y de esta manera tener un aprovechamiento económico.

En Colombia a través de la historia, se han creado algunas resoluciones con el fin de reglamentar su uso y disposición con el fin de cuidar y preservar el medio ambiente:

Tabla 1. Normatividad Colombia aceite vegetal usado.

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
RESOLUCIÓN 415	1998	<i>Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005).</i>
RESOLUCIÓN 1188	2003	<i>Por la cual se establecieron normas y procedimientos para la gestión en el Distrito Capital, de aceites lubricantes usados (Alcaldía de Bogotá, 2003.).</i>
RESOLUCIÓN 2154	2012	<i>Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).</i>

RESOLUCIÓN 316	2018	<i>El presente acto administrativo establece las disposiciones para la adecuada gestión de los Aceites de Cocina Usados (ACU) y aplica a los productores, distribuidores y comercializadores de aceites vegetales comestibles, generadores (industriales, comerciales y servicios) y gestores de ACU (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).</i>
-----------------------	-------------	---

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3. MODELAMIENTO MATEMÁTICO

El presente capítulo está enfocado en el planteamiento de un modelo matemático que busca optimizar el proceso de recolección de aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá. Actualmente el proceso de recolección de aceite vegetal lo realizan las empresas gestoras quienes se encargan de recolectarlo, transportarlo y tratarlo para la producción de biodiesel. Por lo cual estas empresas realizan su proceso de planificación y programación de rutas en toda la ciudad de Bogotá, con el fin de recolectar la mayor cantidad de aceite posible.

En el presente capítulo se propone un modelo matemático enfocado en la empresa Biogras, la cual es una empresa gestora, de las más antiguas en la ciudad. Sin embargo, el modelo propuesto puede ser aplicado, con cambios en los valores de las variables, a otras empresas gestoras en la ciudad. Biogras es una empresa especializada en la recolección y reciclaje del aceite vegetal usado en Bogotá desde hace 5 años, la cual se encarga de prestar un servicio integral a sus clientes asegurando la correcta disposición del residuo, su traslado, almacenamiento y reciclado final.

Esta empresa permitió una visita para conocer su proceso de planificación y programación de rutas, en la cual se evidenció y comprobó que se realiza de forma manual sin utilizar ningún software de ruteo. Esta información de la empresa Biogras fue clave en el proceso de creación de este proyecto por lo que el modelo propuesto permitirá mejorar el proceso de recolección de estas compañías con el uso de la optimización y los modelos de programación que se expusieron en la revisión de la literatura expuestos en el capítulo anterior.

3.1 Elementos a considerar en el modelo matemático

Para el desarrollo del modelo matemático se tomaron en cuenta varios de los elementos fundamentales que intervienen en el modelo VRP así como también algunas variables que se asocian al proceso de recolección de aceite vegetal usado.

3.1.1 Depósito

El depósito es el punto de inicio de la ruta de donde saldrán los vehículos al inicio de la jornada y a donde deben retornar para descargar y almacenar el aceite recolectado al final de la jornada. El depósito se identifica como las empresas gestoras, quienes se encargan de almacenar y tratar el AVU para la producción de biocombustibles.

En este caso se realizó la programación contando como deposito a la empresa gestora Biogras, la cual cuenta con su planta de almacenamiento y tratamiento en la Cra. 18 A Bis # 58 - 78 Sur en la Zona Industrial de San Benito como se puede evidenciar en la Figura 5, la cual cuenta con una capacidad de almacenamiento superior a 280 toneladas y una capacidad de recepción y tratamiento diaria de 30 toneladas.

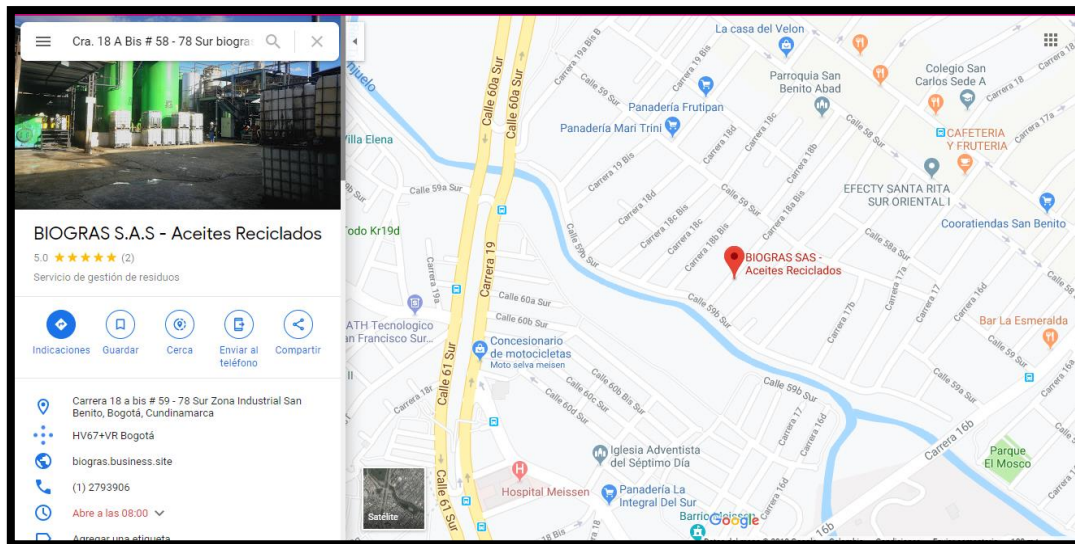


Figura 5. Ubicación geográfica de Biogras.

Fuente: Google maps

3.1.2 Puntos de Recolección

Los puntos de recolección, también llamados “generadores”, corresponden a los establecimientos que tienen por actividad económica la elaboración de productos, preparación, cocinado y condimento de alimentos a partir del aceite vegetal.

Los puntos de recolección que alimentaron el modelo matemático se obtuvieron del trabajo realizado por Casallas (Casallas, 2017). A partir de la información suministrada por la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB) bajo el código CIUU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) No. 561, se definieron en tres grupos de establecimientos generadores de aceite:

- 1. Comidas rápidas:** hamburguesería, arepas, empanadas, perros calientes, chorizos, pinchos entre otros.
- 2. Restaurantes:** asaderos, pollo broaster, fritanguerías restaurantes, entre otros.
- 3. Panaderías:** cafetería, pastelería, panadería, bizcochos, postres.

De acuerdo con esta clasificación se identificaron y localizaron 17.008 establecimientos que se encuentran ubicados en 19 localidades de Bogotá como se evidencia en las tres primeras columnas de la Tabla 3 .

Luego de conocer los establecimientos registrados en la ciudad de Bogotá, en el estudio realizado por Casallas se tomó una muestra la cual se determinó su tamaño por la ecuación reflejada en la Ecuación 1. De acuerdo con el tamaño de la muestra se seleccionaron los puntos, los cuales se utilizaron para realizar una encuesta sobre el consumo y disposición del aceite vegetal usado, la cual se puede evidenciar en el Anexo 1.

$$n = \frac{(k^2 * p * q * N)}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q}$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar el tamaño de la muestra.

Fuente: (Casallas, 2017)

Donde:

- **N:** Es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).
 - **k:** Es una constante que depende del nivel de confianza asignado. El que indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos, para el caso en particular el nivel de confianza empleado es del 95% de $Z = 1.96$
 - **e:** Es el margen de error permitido. El que para el caso en particular ha sido del 5%.
 - **p:** Proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Dado que este dato es desconocido se ha supuesto que $p = q = 0.5$ para garantizar como la opción más segura.
 - **q:** Proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.
- n:** Tamaño de la muestra (número de encuestas que se deben realizar).

Con la ecuación utilizada y teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95% , en el estudio de Casallas (Casallas, 2017) se determinó realizar la encuesta a 1166 puntos distribuidos en las 19 localidades como se muestra en la columna 4 de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra de los 1166 establecimientos identificados según el estudio de Casallas (Casallas, 2017), para la programación del modelo matemático propuesto y de acuerdo al tiempo de ejecución de la aplicación utilizada en el capítulo 4, se determinó tomar una muestra del total de clientes seleccionados previamente. Para conocer el número de clientes a programar, se utilizó la misma ecuación de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** manejando un nivel de confianza del 91% con el fin de obtener 82 datos como se puede evidenciar en la Tabla 2 al igual que en el trabajo realizado por (Araujo, Hamacher, & Scavarda, 2010) con el cual se puede tener un acercamiento de la programación de rutas de diversos puntos que se encuentran geográficamente ubicados y conocer el tiempo computacional que se requiere.

Tabla 2. Tamaño de la muestra modelo propuesto.

NC	91%
Z	1,69
P	0,5
Q	0,5
N	1166
E	0,09
N	82

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el tamaño de la muestra obtenida, se realizó la distribución de los datos en las 19 localidades de Bogotá como se evidencia en la columna 5 de la Tabla 3, luego se realizó la selección de los datos que se programaron en el modelo matemático como se puede observar en el Anexo 2.

Tabla 3. Resultados de modelos.

Localidad	%	Establecimientos en Bogotá	Encuestas estudio Casallas	Optimización modelo
1. Usaquén	6%	1133	67	5
2. Chapinero	12%	1863	136	10
3. Santafé	4%	788	52	4
4. San Cristóbal	2%	455	29	2
5. Usme	1%	114	12	1
6. Tunjuelito	3%	456	33	2
7. Bosa	3%	467	33	2
8. Kennedy	9%	1730	104	7
9. Fontibón	6%	979	68	5
10. Engativá	11%	1665	132	9
11. Suba	13%	1932	148	10
12. Barrios Unidos	4%	1012	51	4
13. Teusaquillo	4%	580	41	3
14. Mártires	3%	648	40	3
15. Antonio Nariño	4%	654	43	3
16. Puente Aranda	9%	1417	106	7
17. Candelaria	1%	258	13	1
18. Rafael Uribe	4%	644	47	3
19. Ciudad Bolívar	1%	213	11	1
Total	100%	17008	1166	82

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Vehículo

Para el modelo matemático se consideró el uso de una flota de vehículos con una capacidad homogénea de 800 litros, similar a la que utiliza la empresa Biogras para realizar el proceso de recolección.



Figura 6 Vehículo tipo Van N300 Cargo.
Fuente:(General Motors Colmotores, 2018)

El vehículo de la Figura 6, cuenta con las siguientes características:

- Tipo de Combustible: Gasolina
- Potencia: 81 hp.
- Motor con cuatro cilindros.
- Precio de compra: \$50.140.000
- Capacidad de carga volumétrica :3,6 m³
- Pasajeros:2
- Dimensiones: 4 m de largo,1,62 m de ancho,1,90 de altura.
- Peso Bruto Vehicular: 1950 kg.

3.1.4 Aceite por recolectar por punto

Para el modelo matemático se tuvo en cuenta la cantidad de aceite que se puede obtener de los puntos de recolección. La información de la cantidad de aceite generada en cada punto de recolección se obtuvo del estudio de prefactibilidad elaborado por (Casallas, 2017), mediante la encuesta que se puede evidenciar en el Anexo 1. Por medio de la cual se parametrizaron por segmentos algunas cantidades con el fin de obtener el promedio de aceite producido en cada punto de recolección, como se evidencia en la Tabla 4:

Tabla 4. Litros de aceite producido por punto de recolección.

Litros producidos por punto	Promedio de litros por punto
1-30 litros	16
31-50 litros	41
51-70 litros	61
71-90 litros	81
91-100 litros	96
101-150 litros	126

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de aceite de acuerdo con el punto seleccionado se puede evidenciar en el Anexo 2. Datos programación modelo propuesto.

3.1.5 Distancia

Para el modelo matemático la distancia se determinó desde cada punto de recolección hasta el punto de origen (depósito). También se tuvo en cuenta la distancia entre los puntos de recolección que se encontraron en una ruta. En la programación del modelo, se utilizó la dirección de cada establecimiento que se obtuvo del estudio de prefactibilidad de (Casallas, 2017), luego se identificó por medio de Google Maps la información de longitud y latitud de cada punto.

Por medio del uso de la aplicación VRP Solver se realizó la determinación de la distancia de cada nodo al punto de origen por medio de un servidor de enrutamiento y de esta manera se obtuvo la matriz de enrutamiento que se

Anexo 3.

3.1.6 Costo del aceite recolectado

Para el modelo matemático se tuvo en cuenta el costo del litro de aceite recolectado debido a que este valor lo determina el punto generador. Acorde al trabajo realizado por Casallas (Casallas, 2017), el costo se organizó en un rango de valores por punto de acuerdo al resultado de las encuestas realizadas. En la Tabla 5 se puede observar que el menor costo por el que se puede comprar el aceite es de \$ 500 y el máximo valor es de \$2750. La asignación de los valores por punto se puede observar en el Anexo 2.

Tabla 5. Costo por litro de aceite recolectado.

Costo por litro	Promedio de costo por litro
500	500
\$ 501 - 1000	750
\$ 1001 - 1500	1250
\$ 1501 - 2000	1750
\$ 2001 - 2500	2250
\$ 2501 - 3000	2750

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Costo por Km recorrido

Para definir el costo del Kilómetro recorrido se utilizó información suministrada por el Ministerio de transporte por medio de la plataforma Sictac 2.0 la cual se puede acceder por medio de la dirección <http://sictac.mintransporte.gov.co:8080/sictacWeb/#!/ejecutar/costos-eficientes>. Esta plataforma permite calcular los costos eficientes para el transporte automotor de carga entre ciudades (Ministerio de Transporte, 2015) por lo que fue necesario realizar la adaptación para los recorridos dentro de la ciudad. Para ello fue necesario calcular el valor de movilización de carga por tonelada en Bogotá de \$23.310 y luego de contar con este dato se determinó el costo por Km teniendo en cuenta los porcentajes de participación de cada uno de los conceptos que se tuvieron en cuenta como se evidencia en la Tabla 6. Finalmente, el costo estimado por km en la ciudad de Bogotá es de \$ 3.468,49.

Tabla 6. Costos eficientes para calcular costo del kilómetro en Bogotá

Costo movilización de carga Bogotá (Km)

Tipo de Costo	Concepto	Valor por tonelada	Participación	Costo Km
VARIABLE	Combustible	\$ 5.317,0	22,8%	\$ 1.212,81
VARIABLE	Filtros	\$ 202,8	0,87%	\$ 1,76
VARIABLE	Lavado y engrase	\$ 237,8	1,02%	\$ 2,43
VARIABLE	Llantas	\$ 657,3	2,8%	\$ 18,54
VARIABLE	Lubricantes	\$ 338,0	1,5%	\$ 4,90
VARIABLE	Mantenimiento y Reparaciones	\$ 1.599,1	6,9%	\$ 109,70
OTRO	Comisiones y Factor Prestacional	\$ 5.428,9	23,3%	\$ 1.264,39
OTRO	Gastos de Administración	\$ 2.214,5	9,5%	\$ 210,37
OTRO	Imprevistos	\$ 345,0	1,5%	\$ 5,11
OTRO	RetelCA	\$ 557,1	2,4%	\$ 13,31
FIJO	Capital	\$ 2.871,8	12,3%	\$ 353,80
FIJO	Comunicaciones	\$ 373,0	1,6%	\$ 5,97
FIJO	Impuestos	\$ 97,9	0,42%	\$ 0,41
FIJO	Parqueaderos	\$ 191,1	0,82%	\$ 1,57
FIJO	Revisión Técnico-Mecánica	\$ 21,0	0,09%	\$ 0,02
FIJO	Salarios (1.5 SMV) + Prestaciones (55.69%)	\$ 2.442,9	10,5%	\$ 256,01
FIJO	Seguros	\$ 414,9	1,8%	\$ 7,39
Total		\$ 23.310,0	100%	\$ 3.468,49

Fuente:(Ministerio de Transporte, 2015)

3.2 Parámetros utilizados en el modelo matemático

3.2.1 Contenedores de recolección

Los contenedores se tuvieron en cuenta para la formulación del modelo y funcionaron como una restricción. Estos elementos son suministrados por la compañía recolectora con el fin de almacenar y transportar el aceite desde el punto generador hasta el depósito. Así mismo con este contenedor se identificó la cantidad de aceite que genera cada punto, determinar la frecuencia para recolectar y determinar las rutas de acuerdo con la capacidad de carga de los vehículos. Los contenedores se clasificaron en la Tabla 7 de acuerdo con la capacidad de aceite por litros que pueden almacenar.

Tabla 7. Clasificación de contenedores según su capacidad en litros.

Contenedor	Capacidad en litros	Dimensiones
	30 litros	Alto: 42 cm Ancho 27 cm Largo: 32 cm
	50 litros	Alto: 49 cm Ancho 30 cm Largo: 36 cm
	70 litros	Alto: 69 cm Ancho 41 cm Largo: 40 cm
	90 litros	Alto: 77 cm Ancho 41 cm Largo: 40 cm

	<p>120 litros</p>	<p>Alto: 80 cm Ancho 40 cm Largo: 49 cm</p>
	<p>150 litros</p>	<p>Alto: 96 cm Ancho 40 cm Largo: 49 cm</p>

Fuente:(Producciones generales S.A, 1968)

3.1.9 Frecuencia de recolección

La frecuencia de recolección es un factor indispensable para el modelo matemático ya que este permite identificar el tiempo de recolección de cada punto, información que será útil para diseñar y organizar el orden de las rutas de recolección. Esta información fue recolectada e identificada por el estudio de prefactibilidad realizado por (Casallas, 2017) en el cual se definieron los siguientes valores que se identifican en la Tabla 8.

Tabla 8. Frecuencia de recolección por punto.

Frecuencia	Promedio por punto
5 a 7 días	Semanal
10 a 15 días	Quincenal
20 a 30 días	Mensual

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con esta frecuencia de recolección se identificaron los puntos que se programaron en el modelo como se evidencia en el Anexo 2.

3.1.10 Horario

Para el modelo matemático, se asignó una jornada laboral de 8 horas. En donde la flota de vehículos inicia en el depósito y parte hacia los puntos de recolección, luego de terminada la recolección de todos los puntos programados retorna al depósito antes de finalizar la jornada para realizar el proceso de descargue del aceite recolectado.

3.1.11 Tiempo de recolección por punto

Para el proceso de recolección se asignó un tiempo promedio de acuerdo con la cantidad de aceite que se recolecta por punto, este tiempo se asignó para que el operario de recolección reciba el aceite, diligencie el certificado y cargue al vehículo. Esta información se determinó basándose en el modelo propuesto por (Guevara Parada & Vargas Saavedra, 2014), sin embargo se realizó una adaptación a la ruta del aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá.

Además según (Mejía, 2009), el tiempo está determinado según la habilidad del personal encargado de realizar la recolección así como también de los factores externos que se pueden presentar en los puntos de recolección. En la Tabla 9 se puede apreciar que las cantidades entre 30 y 70 litros se les asignó un tiempo promedio de recolección de 15 minutos, en donde se tuvo en cuenta la manipulación de carga según el tamaño de los contenedores de acuerdo con la Tabla 7, y el proceso de recepción de la documentación con el personal a

cargo del punto. Luego se puede evidenciar en Tabla 9 que para las cantidades entre 90 y 150 litros se les asignó un tiempo de 25 minutos, teniendo en cuenta que el levantamiento del tipo de contenedor utilizado exige un esfuerzo adicional en su carga lo que conlleva un mayor tiempo en su cargue al vehículo.

Tabla 9 Asignación de tiempos por cantidad de recolección.

Tiempo promedio de recolección	Cantidad que recolectar
15 minutos	30 litros
	50 litros
	70 litros
25 minutos	90 litros
	120 litros
	150 litros

Fuente: Elaboración propia

3.2 Descripción del Modelo

El modelo matemático planteado buscó optimizar la ruta de recolección de Aceite Vegetal usado en Bogotá realizado por las empresas gestoras a partir de una formulación matemática enfocado en el modelo de enrutamiento de vehículos de optimización combinatoria.

El objetivo del modelo es minimizar los costos operacionales implícitos en la recolección, definiendo los costos más relevantes en el proceso y las distancias que hay entre los diferentes nodos, para poder así diseñar la ruta óptima que permita recolectar la mayor cantidad de aceite a un bajo costo. En la formulación matemática se tuvieron en cuenta una serie de restricciones que influyen en el proceso de recolección del AVU, las cuales están sujetas en el modelo planteado.

3.3 Formulación del Modelo

Para la formulación matemática se tuvieron en cuenta las variables y parámetros que se describen a continuación:

3.3.1 Variables

i = Punto de Origen

$i = 1$

j = Puntos de recolección

$j = 1, 2, 3, \dots n.$

K = Vehículos

$K = 1, 2$

X_{ji} = Litros de aceite producidos en cada punto de recolección j para transportar hasta el punto de origen i .

Y_{ij} = Distancia desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j (teniendo en cuenta la distancia entre los puntos de recolección) .

CK_{ij} = Cantidad de vehículos que salen del punto origen i hacia los puntos de recolección j .

3.3.2 Parámetros

CX_{ij} = Costo del litro recolectado en cada punto de recolección j .

CK_{ij} = Costo por Km recorrido desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j .

CB_{ij} = Capacidad de cada vehículo B que sale del punto de origen i hacia los puntos de recolección j .

E_i = Capacidad en litros que puede procesar el punto de origen i .

F_j = Capacidad de los contenedores entregados en cada uno de los puntos de recolección j .

TRC_j = Tiempo promedio de recolección de carga por cada litro de aceite en cada punto de recolección j .

TM_{ij} = Tiempo máximo en horas de trabajo para el recorrido desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j .

TF_{ij} = Tiempo de frecuencia para realizar la recolección en cada punto de recolección j .

V_{ij} = Velocidad de recorridos (en kilómetros por hora) del medio de transporte desde el punto de origen a los puntos de recolección.

Modelo matemático:

El modelo matemático propuesto se diseñó y adaptó a partir de los modelos de optimización propuestos por (Araujo et al., 2010), (Guevara Parada & Vargas Saavedra, 2014) y (Bermeo Muñoz & Calderón Sotero, 2009) los cuales fueron diseñados a partir del método de optimización de transporte VRP y cumplen con la misma función objetivo que busca este proyecto, en donde se utilizaron de referencia algunas variables como la capacidad de los vehículos, el costo de vehículo en el cual se incluyen los costos de mantenimiento, mano de obra entre otros además el tiempo de viaje del nodo i hasta el nodo j el cual va en función de la distancia recorrida.

$$F. O. \min Z = \left\{ \sum_{j=1}^n X_{ji} \cdot CX_j + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot CK_{ij} \right\}$$

3.3.3 Función objetivo:

Minimizar los costos operacionales de la ruta de recolección de AVU en la ciudad de Bogotá.

[Litros de aceite producidos en cada punto de recolección j por el Costo por cada litro de aceite recolectado en los puntos de recolección j más la sumatoria de la distancia desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j por el costo por km recorrido desde el punto de origen hasta los puntos de recolección.]

Sujeto a:

3.3.4 Restricciones

- $\sum_{CB_{ij}=1}^n CB_{ij} \geq \sum_{j=1}^n X_{ij} \forall j = 1, 2, 3, \dots n$ (1)

La restricción (1) está sujeta a la capacidad de vehículos que salen del punto origen i hacia los puntos de recolección j siendo mayor o igual a la sumatoria de los litros de aceite producidos en cada punto de recolección j para transportar hasta el punto de origen i .

- $\sum_{CB_{ij}=1}^n CK_{ij} \leq E_i \forall i = 1$ (2)

La restricción (2) está sujeta a la cantidad de vehículos que salen del punto de origen i hacia los puntos de recolección j siendo menor o igual a la capacidad en litros que puede procesar el punto de origen i .

- $\sum_{j=1}^n T_j \times X_{ji} \leq T_{ij} \forall j = 1, 2, 3, \dots n$ (3)

La restricción (3) está sujeta al tiempo promedio de recolección por cada litro de aceite en cada punto de recolección j por los litros de aceite producidos en cada punto de recolección j para transportar hasta la planta origen i menor e igual al tiempo disponible para el recorrido desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j para todo punto de recolección.

- $\sum_{j=1}^n TF_{ij} \times X_{ji} \leq F_j \forall j = 1, 2, 3, \dots n$ (4)

La restricción (4) está sujeta al tiempo de frecuencia de recolección desde el punto de origen i hasta los puntos de recolección j por los litros de aceite producidos en cada punto de recolección j para transportar hasta al punto de origen i puede ser menor o igual a la capacidad del contenedor entregado a cada punto de recolección.

CAPÍTULO 4

4.OPTIMIZACIÓN MODELO MATEMÁTICO

Luego del modelo matemático planteado en el capítulo 3, basado en el problema de enrutamiento de vehículos de optimización combinatoria y según la revisión de la literatura expuesta en el capítulo 2, en el presente capítulo se buscará optimizar el modelo matemático propuesto a partir del uso de las técnicas heurísticas de construcción y de dos fases, con el uso del algoritmo del ahorro y el algoritmo de ramificación y acotamiento para solucionar el modelo con el cual se propondrá la ruta estratégica que permita optimizar el proceso de recolección de aceite vegetal usado en Bogotá.

Con el fin de utilizar los algoritmos que permitirán encontrar la ruta óptima, se utilizará una aplicación llamada VRP Solver, la cual permitirá encontrar una ruta óptima a partir de las variables utilizadas en el modelo y los datos que se recolectaron.

4.1 VRP SOLVER

VRP Solver es una aplicación que permite resolver problemas de optimización de rutas de recolección, fue diseñada por el Instituto de Energía y Eficiencia de Ecuador, por los ingenieros Geógrafos Paul León y Patricio Gallardo, para acceder a esta aplicación se puede hacer por medio de la dirección https://transporte-iner.shinyapps.io/cvrp_solver/. La aplicación se diseñó con el uso de programación lineal basado en el modelo VRP, utilizando dos metaheurísticas para la solución; una de ellas uso el método constructivo, con el algoritmo del ahorro y la otra una metaheurística de dos fases, utilizando el algoritmo de ramificación y acotamiento (León & Gallardo, 2015).

La aplicación VRP Solver permite el ingreso de la información por medio de un archivo en Excel, el cual debe contener la información del depósito y los puntos de recolección en coordenadas geográficas (Latitud y longitud), además debe indicar la demanda a recolectar por punto. La aplicación permite seleccionar el

tipo de optimización que se requiera ya sea basada en el tiempo o en la distancia.

4.3 Componentes de la aplicación VRP Solver

La aplicación funciona con cuatro componentes fundamentales que permiten optimizar el modelo propuesto. Para ello es necesario realizar su instalación.

4.3.1 Servidor de enrutamiento

La aplicación VRP Solver para su funcionamiento utiliza un servidor de enrutamiento OSRM ((Máquina de enrutamiento de código abierto) el cual permite la creación de matrices y geometrías para diseñar las rutas. Además, utiliza las bases de datos de OpenStreetMap para proporcionar una solución gráfica basada en información geoespacial(León & Gallardo, 2015).

Para hacer uso de la aplicación es necesario realizar la instalación del servidor de rutas en el ordenador, el cual se puede realizar por medio de la descarga de un paquete de datos que se elige de acuerdo al país en donde se vaya a realizar la programación, el archivo se puede descargar en la dirección <https://reckoningrisk.com/coding/2017/OSRM-server/> utilizando la opción de Suramérica y luego la subregión Colombia, este archivo debe guardarse en el Disco C del equipo.

```
C:/osrm/osrm-extract.exe C:/osrm-data/colombia-latest.osrm.pbf -p C:/osrm/profiles/foot.lua  
C:/osrm/osrm-contract.exe C:/osrm-data/colombia-latest.osrm.osrm  
C:/osrm//osrm-routed.exe C:/osrm-data/colombia-latest.osrm.osrm --port 5000
```

Figura 7. Direcciones para la programación del servidor de rutas.

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la instalación del archivo, se debe programar el servidor en el equipo por medio de las direcciones que se encuentran en la Figura 7 en la aplicación Windows Power Shell, la cual es una interfaz de consola suministrada por Microsoft en donde se ejecuta cada una de las direcciones y se configura el servidor de rutas en el equipo como se puede ver en la Figura 8.

```

Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

PS C:\Users\estefani.puertos> C:\osrm\osrm-extract.exe C:\osrm-datas\colombia-latest-osrm.pbf -o C:\osrm/profiles/foot.lua
[Info] Using script C:\osrm/profiles/foot.lua@()
[Info] Input file: colombia-latest-osrm.pbf@()
[Info] Profile: foot.lua@()
[Info] Threads: 4@()
[STXXL-WARNING] STXXL v1.4.09 (pre-release/Release) (git 786d7ecbe72d708ef1289e94fcb0e3759af5099) + gnu parallel_(G)IBXX_
[STXXL-WARNING] Warning: no config file found.
[STXXL-WARNING] Using default disk configuration.
[STXXL-WARNING] Disk: C:\Users\ESTEFANI\AppData\Local\Temp\stxxl.tmp' is allocated, space: 1000 MiB, I/O implementation: wincall delete_on_exit queue=0 device=0
[Info] Parsing in progress.@()
[Info] Input file generated by osmium/1.8.0@()
[Info] timestamp: 2019-02-16T21:15:02Z@()
[Info] Parsing finished after 36.5648 seconds@()
[Info] Raw input contains 1622908 nodes, 1598842 ways, and 13411 relations@()
[Info] Sorting used nodes ... ok, after 3.07267s@()
[Info] Erasing duplicate nodes ... ok, after 1.12237s@()
[Info] Sorting all nodes ... ok, after 19.2427s@()
[Info] Building mode ID map ... ok, after 10.8974s@()
[Info] Setting number of nodes ... ok@()
[Info] Confirming/writing used nodes ... ok, after 31.2702s@()
[Info] Processed 5732486 nodes@()
[Info] Sorting edges by start ... ok, after 31.3775s@()
[Info] Setting start coords ... ok, after 31.5296s@()
[Info] Sorting edges by target ... ok, after 19.6457s@()
[Info] Computing edge weights ... ok, after 36.8408s@()
[Info] Sorting edges by renumbered start ... ok, after 42.2242s@()
[Info] Writing used edges ... ok, after 10.7133s@()
[Info] Setting number of edges ... ok@()
[Info] Processed 6007221 edges@()
[Info] Sorting used ways ... ok, after 1.07427s@()
[Info] Sorting 0 restriction by from ... ok, after 3.4e-05s@()
[Info] Fixing restriction starts ... ok, after 0s@()
[Info] Sorting restrictions by to ... ok, after 5e-06s@()
[Info] Fixing restriction ends ... ok, after 0s@()
[Info] usable restrictions: 0@()
[Info] writing street name indexes ... ok, after 0.040965s@()
[Info] extraction finished after 272.583s@()
[Info] generating edge-expanded graph representation@()
[Info] - 0 restrictions.@()
[Info] Importing number_of_nodes node = 5732486 nodes @()
[Info] 416 hollard nodes, 644 traffic lights@()
[Info] and 6007221 edges @()
[Info] graph loaded ok and has 6007221 edges@()
[Info] : 10% . 20% . 30% . 40% . 50% . 60% . 70% . 80% . 90% . 100%@()
[Info] mode compression ratio: 0.159282@()
[Info] Edge compression ratio: 0.175171@()
[Info] generating edge expanded nodes ... @()
  
```

Figura 8 Servidor de rutas.

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 R Studio

Es un entorno de desarrollo integrado para lenguaje de programación R, está diseñado para la programación estadística y la creación de gráficas. R studio incluye una consola que se puede ver en la Figura 9, el cual contiene un editor de sintaxis que apoya la ejecución del código, así como herramientas para el trazado, la depuración y la gestión del espacio de trabajo. R studio se puede descargar por medio de la dirección <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/> e instalarlo directamente en el ordenador(Albukrek & Allaire, 2019).

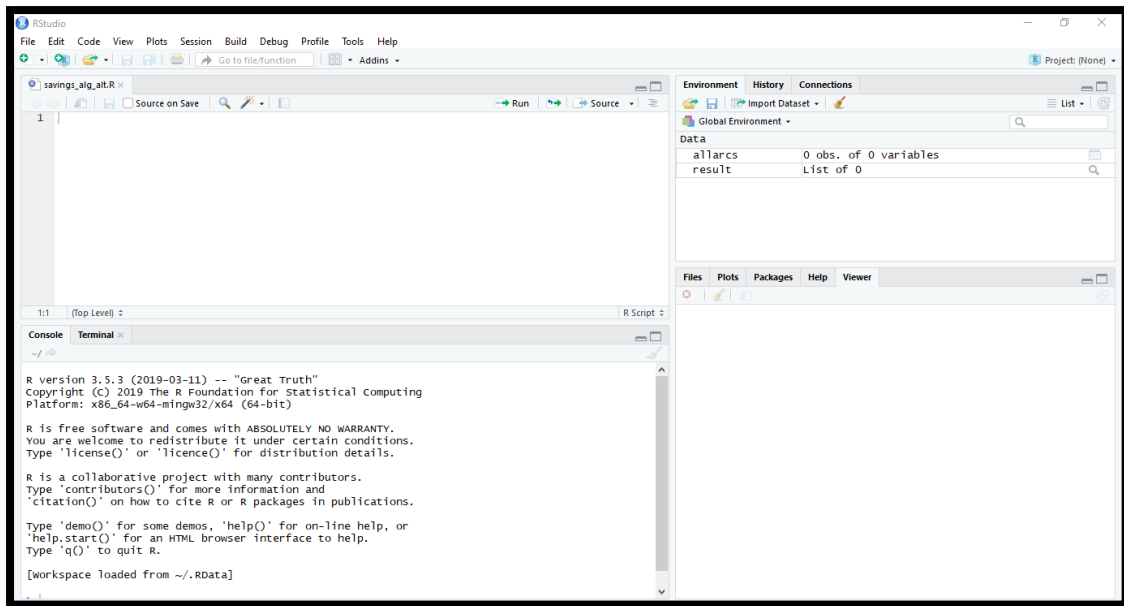


Figura 9 Plataforma R Studio

Fuente:(Albukrek & Allaire, 2019)

4.3.3 Lenguaje de Programación R

Es un lenguaje de programación orientada a objetos para cálculos estadísticos y la representación gráfica de los datos obtenidos. Este lenguaje está basado en comandos y a partir de una sucesión de comandos se crean los script o espacio de trabajo. R consta de un sistema base y de paquetes adicionales que extienden su funcionalidad(Albukrek & Allaire, 2019).

Basado en el lenguaje de programación R, la aplicación utiliza un código fuente en donde a partir del uso de comandos, funciones y variables se escribieron los algoritmos de ahorros y de ramificación y acotamiento, para que a partir de los datos ingresados y mediante el uso del servidor de rutas se creen las matrices que permiten identificar las distancia y los tiempos óptimos para la creación de rutas.

VRP Solver realiza el proceso de optimización en cuatros pasos para llegar a la optimización del modelo planteado. Los cuales se nombrarán a continuación:

- **Matriz de Distancia:** Para obtener la información de las rutas, la aplicación necesita identificar la información de latitud y longitud de cada punto con el fin de encontrar la distancia en kilómetros que hay desde el depósito i hasta cada uno de los puntos de recolección $j=1,2,\dots,82$, así como también la distancia que hay entre cada uno de los puntos de recolección $j=1,2,\dots,82$, posterior a esta información crea una matriz de distancia.
- **Matriz de Tiempo:** Basado en la misma metodología que se realiza en la matriz de distancia, la aplicación identifica el tiempo en minutos que tarda en recorrer cada uno de los nodos y posterior a esto realiza la matriz con cada uno de los datos encontrados.
- **Ruta Óptima:** Basado en la matriz de distancia y tiempo con la información en kilómetros y minutos identificados en cada uno de los puntos. La aplicación utiliza las heurísticas de solución para encontrar la mejor ruta que partiendo del depósito permita recolectar la demanda establecida en cada uno de los puntos y posteriormente llegue al depósito con toda la demanda recolectada. Adicional identifica el tiempo total de recolección y la distancia total recorrida.
- **Gráfica de la Ruta Óptima:** Luego de conocer la ruta óptima por el orden asignado de cada uno de los puntos en que debe iniciar y terminar la recolección, se identifica por medio de una gráfica proporcionada por OpenStreetMap el recorrido que debe realizar el vehículo recolector.

4.5 Programación modelo propuesto

De acuerdo con las características de la aplicación y luego de la instalación y adaptación de todos los componentes, se procedió a realizar la programación del modelo utilizando la base de datos del Anexo 2 en donde se evidencia todas las variables y parámetros descritos en el capítulo 3.

Sin embargo, realizando el análisis de los datos recolectados para la programación del modelo, se tuvo en cuenta la frecuencia de recolección como variable de decisión para la clasificación de los puntos según la Tabla 8 expuesta en el capítulo anterior. Con esta clasificación se realizó una simulación similar a la utilizada por la empresa Biogras, la programación se inició con los puntos que se deben recolectar en un periodo semanal entre 5 y 7 días, luego se programaron los puntos con un periodo quincenal entre 10 y 15 días y finalmente se realizó la programación de los puntos con un periodo mensual entre 20 y 30 días.

4.6 Prueba Semanal

El primer grupo asignado fue el semanal, en donde se incluyeron las frecuencias de recolección comprendidas entre 5 y 7 días. De acuerdo con esta información se realizó la primera prueba con 23 datos, con el fin de obtener la ruta óptima en este grupo seleccionado.

4.6.1 Datos

Tabla 10. Datos con frecuencia de recolección entre 5 y 7 días.

No.	Puntos de Recolección	Localidad	Dirección	Latitud	Longitud	Litros de aceite	Costo por cada litro de aceite	Costo total por litros	Tiempo promedio de recolección(mi n)	Tiempo de frecuencia para realizar la recolección
1	Burger King	Usaquen	Cll 140 #10 A	4,7184	-74,0340	61	\$ 1.250	\$ 75.625	15	7 días
2	Sepúlveda Bar- Restaurante	Usaquen	Cll 117 # 5a-13	4,6938	-74,0307	16	\$ 500	\$ 7.750	15	7 días
3	Dunkin Donats	Chapinero	Cra. 19a #77- 62	4,6652	-74,0600	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	7 días
4	Pan pa ya	Chapinero	Cll 97 #23-60	4,6850	-74,0571	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	7 días
5	Sabrosito	Santafe	Cra 7 # 22 - 85	4,6089	-74,0706	126	\$ 1.250	\$ 156.875	25	7 días

6	Dely Frito	Tunjuelito	Diag 53 # 49 A 20	4,5860	-74,1465	81	\$ 2.250	\$ 181.125	25	7 días
7	Mis carnitas	Antonio Nariño	Clle 18 #22-75sur	4,5851	-74,1010	81	\$ 2.250	\$ 181.125	25	7 días
8	El Imperio Del Pacifico	Antonio Nariño	Cll 21S #18-28, Bogotá	4,5832	-74,1035	41	\$ 750	\$ 30.375	15	7 días
9	Panadería Zulima	Ciudad Bolívar	Cra. 19 #64 Sur-57	4,5583	-74,1448	16	\$ 500	\$ 7.750	15	5 días
10	Tamales Buenos	Rafael Uribe	Cll 28a sur # 15 - 19	4,5771	-74,1083	81	\$ 500	\$ 40.250	25	7 días
11	Abierto Amigo Chino Ciudad Montes	Puente Aranda	Cra. 36 #0-21	4,6029	-74,1112	61	\$ 750	\$ 45.375	15	7 días
12	Restaurante La Piedra De Oreb	Puente Aranda	Cra. 66 #12-45	4,6349	-74,1179	41	\$ 750	\$ 30.375	15	7 días
13	Alondra	Suba	Cra 127 # 24-63	4,7353	-74,0854	61	\$ 750	\$ 45.375	15	5 días
14	Maxi tacos y broaster	Suba	Cra. 110b #136a-10	4,7416	-74,1027	126	\$ 2.750	\$ 345.125	25	5 días
15	Chopinar	Suba	Autopista Nte. #125-97	4,7063	-74,0546	96	\$ 2.250	\$ 214.875	25	7 días
16	PPC	Suba	Cra 104 # 148-07	4,7486	-74,0954	41	\$ 500	\$ 20.250	15	7 días
17	Lunch Express	Kennedy	Cll 6 Bis # 79-13	4,6337	-74,1501	61	\$ 750	\$ 45.375	15	7 días
18	Parador doña Olga	Kennedy	Cra 72 bis # 6-04	4,6226	-74,1439	16	\$ 750	\$ 11.625	15	5 días
19	Hot y french pizza	Kennedy	Dg. 5a # 73B-27, Bogotá	4,6270	-74,1425	41	\$ 750	\$ 30.375	15	7 días
20	Restaurante Don Jorge	Kennedy	Calle 43 Sur # 78n-10, Bogotá	4,6177	-74,1638	96	\$ 750	\$ 71.625	25	5 días
21	Empanadas Tolimax	Fontibón	Cra 97 # 23S-174	4,6798	-74,1328	41	\$ 750	\$ 30.375	15	7 días

22	El Fogón latino	Fontibón	Cra 100#24c-08	4,6823	-74,1330	16	\$ 1.750	\$ 27.125	15	5 días
23	Brown restaurante	Engativá	Cll. 51 #71-07	4,6678	-74,1072	41	\$ 1.750	\$ 70.875	15	7 días
						1262	\$ 26.750	\$ 1.708.375	415	

Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Matriz de Distancia

En la matriz de distancia generada de acuerdo con los datos de la frecuencia de recolección semanal en la Tabla 11, se evidenció que la mínima distancia es de 0,5 kilómetros la cual está ubicada entre el punto 18(Parador doña Olga) y el punto V19(Hot y french pizza), y la distancia máxima encontrada es de 27, 4 Kilómetros que se encuentran desde el punto V1(Burger King) hasta el punto 9(Panadería Zulima).

Tabla 11. Matriz de Distancia prueba semanal.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23
0	0,0	26,3	23,1	20,2	19,8	9,8	4,9	6,2	6,3	3,2	4,0	8,9	11,4	24,1	26,5	22,9	25,9	10,5	8,0	8,6	8,0	16,2	16,3	14,0
1	23,1	0,0	3,4	8,8	6,5	15,6	23,5	19,1	19,7	24,3	21,9	17,8	17,7	8,0	10,4	4,6	9,9	21,0	20,9	20,3	25,1	18,6	18,6	14,2
2	21,9	3,2	0,0	5,9	5,2	12,7	22,2	17,9	18,5	23,0	20,7	16,6	16,4	10,0	12,4	4,6	11,8	19,8	19,7	19,1	23,9	17,3	17,4	12,9
3	18,3	8,9	5,7	0,0	2,3	10,8	18,7	14,3	14,9	19,4	17,1	13,0	12,8	10,9	13,3	5,5	12,8	15,7	15,6	15,0	20,3	14,0	14,0	8,6
4	19,0	6,6	4,8	3,8	0,0	11,4	19,3	15,0	15,6	20,1	17,8	13,6	11,7	8,6	11,0	3,2	10,5	14,8	14,7	14,1	17,8	12,1	12,1	7,7
5	10,3	18,2	14,4	12,0	11,6	0,0	15,1	5,9	5,8	12,1	6,6	9,4	8,0	20,1	22,6	14,7	22,0	11,4	11,2	10,7	14,4	13,6	15,3	9,7
6	4,0	23,7	20,5	17,6	17,1	12,1	0,0	6,4	6,6	4,0	6,0	6,3	8,4	21,0	23,4	20,3	22,9	7,4	5,0	5,5	5,0	13,2	13,2	11,0
7	5,9	20,4	17,2	14,3	13,9	5,0	8,5	0,0	1,4	7,6	2,2	3,0	7,9	22,4	24,8	17,0	24,3	10,2	7,4	8,0	10,1	17,1	18,8	13,2
8	4,9	20,9	17,6	14,7	14,3	5,9	7,5	0,8	0,0	6,7	1,3	3,5	7,8	22,8	25,3	17,4	24,7	9,3	6,5	7,1	9,1	15,0	19,3	13,7
9	2,3	27,4	24,1	21,2	20,8	12,6	5,9	7,2	7,3	0,0	6,8	9,9	12,4	25,1	27,5	23,9	26,9	11,5	9,0	9,6	7,6	17,3	17,3	15,1
10	4,4	22,0	18,7	15,8	15,4	6,1	8,1	1,7	1,4	6,2	0,0	4,6	8,9	24,0	26,4	18,6	25,8	10,4	7,7	8,2	9,7	18,7	20,4	14,8
11	6,7	19,1	15,9	13,0	12,6	7,6	7,0	2,7	3,3	7,8	5,5	0,0	5,2	21,1	23,5	15,7	23,0	7,9	5,1	5,7	7,3	13,6	17,6	11,9
12	12,0	16,8	15,6	11,4	10,8	7,0	8,5	8,8	9,4	12,0	11,1	5,3	0,0	15,9	18,3	13,4	17,8	4,7	4,6	4,0	7,7	7,4	8,1	5,9
13	24,9	9,7	10,7	11,6	10,0	19,3	21,4	22,8	23,4	24,9	25,6	21,5	16,2	0,0	2,4	6,7	2,7	17,9	17,5	16,9	20,4	10,5	10,5	10,9
14	25,2	11,0	12,0	12,9	11,3	18,4	21,6	21,9	22,5	25,2	24,8	20,6	16,5	2,4	0,0	8,1	1,5	18,1	17,7	17,2	20,6	11,4	11,4	11,1
15	20,2	5,7	4,5	5,0	3,3	12,6	20,5	16,1	16,7	21,3	19,0	14,8	14,7	7,4	9,8	0,0	9,3	18,1	17,9	17,4	22,1	13,5	13,5	9,2
16	25,4	10,9	11,9	12,8	11,2	18,7	21,9	22,2	22,8	25,4	25,0	20,9	16,7	2,3	1,4	7,9	0,0	18,4	18,0	17,4	20,9	11,6	11,7	11,4
17	10,9	21,2	20,0	17,5	16,7	11,0	7,4	10,2	10,5	10,9	12,1	8,7	5,6	18,5	20,9	16,8	20,3	0,0	3,0	2,4	4,0	7,7	8,1	8,4
18	8,4	20,3	19,1	16,6	15,8	10,1	4,8	7,6	8,0	8,4	9,5	6,5	4,6	17,6	20,0	15,9	19,4	4,0	0,0	0,5	2,9	9,7	9,7	7,5
19	8,7	19,7	18,6	16,0	15,2	9,6	5,2	8,0	8,3	8,7	9,9	7,3	4,1	17,0	19,4	15,3	18,9	3,4	0,5	0,0	3,4	9,2	9,2	7,0
20	8,3	23,0	21,8	19,2	18,5	12,8	5,6	9,9	10,1	8,2	10,2	7,9	7,3	20,2	22,7	18,6	22,1	4,7	3,1	4,2	0,0	10,1	12,4	10,2

21	15,9	17,2	18,1	13,9	13,3	12,0	12,3	15,6	16,2	15,9	18,5	11,8	7,1	14,5	12,1	12,8	12,5	8,8	8,4	7,9	11,3	0,0	0,6	4,8
22	17,6	17,4	18,3	14,0	13,4	12,1	14,0	15,8	16,4	17,6	18,6	14,5	8,9	14,6	12,3	13,0	12,6	10,5	10,1	9,6	13,0	0,9	0,0	4,9
23	15,3	13,2	13,0	8,8	8,2	9,4	11,8	13,1	13,7	15,4	15,9	11,7	5,2	10,5	12,9	8,8	12,3	8,3	7,9	7,4	10,8	4,8	4,8	0,0

4.6.3 Matriz de Tiempo Semanal

En la matriz de tiempo de los datos semanal en la Tabla 12, se identificó que el menor tiempo de recorrido fue de 1,27 minutos el cual se obtuvo del recorrido del punto 18(Parador doña Olga) y el punto V19(Hot y french pizza, y el tiempo máximo encontrado es de 67,4 minutos el cual está entre el recorrido del punto 9 (Panadería Zulima) al punto V14(Maxi tacos y broaster).

Tabla 12. Matriz de Tiempo prueba semanal.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23
0	0,0	56,7	51,2	47,0	43,8	33,1	13,5	18,3	17,9	11,6	14,1	24,3	27,8	55,7	63,9	48,9	60,6	23,8	19,0	20,3	23,3	38,1	37,8	32,2
1	55,5	0,0	11,5	23,9	15,3	39,9	50,0	45,7	49,4	59,4	51,0	39,1	41,3	23,4	31,6	14,7	28,3	47,5	48,1	46,9	56,2	45,6	45,3	34,2
2	55,7	12,9	0,0	21,1	15,5	36,3	50,2	45,9	49,6	59,5	51,2	39,3	41,5	29,0	37,3	16,6	33,9	47,7	48,3	47,0	56,4	45,7	45,5	34,4
3	47,3	21,1	19,0	0,0	8,2	31,7	41,8	37,5	41,2	51,2	42,8	30,9	33,1	25,7	34,0	13,3	30,6	38,6	39,2	37,9	48,0	34,5	34,2	23,5
4	47,6	15,2	15,3	12,7	0,0	32,0	42,1	37,8	41,5	51,5	43,1	31,2	31,2	19,8	28,1	7,3	24,7	37,1	37,8	36,5	47,1	33,4	33,1	22,1
5	37,5	47,4	42,1	37,7	34,5	0,0	39,6	25,7	24,6	42,9	27,8	28,8	28,1	52,0	60,3	39,5	56,9	34,3	34,9	33,7	44,2	35,6	34,8	27,4
6	12,3	51,3	45,8	41,6	38,4	33,7	0,0	19,4	18,7	13,8	17,3	18,9	21,4	49,2	57,5	43,5	54,1	17,4	12,5	13,8	16,9	31,6	31,4	25,7
7	19,0	45,2	39,7	35,5	32,3	19,5	19,8	0,0	6,1	24,5	9,3	10,8	25,0	49,9	58,1	37,4	54,8	26,2	19,8	21,1	26,1	39,1	38,4	31,0
8	16,3	46,2	40,7	36,5	33,3	22,2	18,0	4,2	0,0	21,7	6,5	11,8	23,1	50,9	59,1	38,4	55,8	24,0	17,6	18,9	24,2	38,2	39,4	32,0
9	9,6	60,2	54,6	50,5	47,3	38,9	16,9	21,8	21,3	0,0	20,0	27,7	31,3	59,1	67,4	52,3	64,0	27,3	22,4	23,7	26,2	41,5	41,3	35,6
10	17,0	51,1	45,5	41,4	38,2	22,2	23,5	8,3	7,1	22,4	0,0	16,7	28,4	55,7	64,0	43,3	60,6	29,3	22,9	24,2	29,8	45,0	44,3	36,9

11	20,1	40,6	35,1	30,9	27,8	23,0	15,1	9,8	13,6	23,9	15,6	0,0	15,8	45,3	53,5	32,8	50,2	19,9	13,6	14,9	20,5	34,2	33,8	26,5
12	31,7	41,0	38,5	30,2	29,9	23,0	23,0	26,3	30,0	33,2	30,1	15,0	0,0	39,8	48,1	33,1	44,7	12,8	13,5	12,2	22,8	22,6	22,0	16,4
13	60,6	26,4	29,3	26,8	24,8	48,0	51,9	53,8	57,5	62,1	59,1	47,2	40,1	0,0	9,4	15,7	9,2	43,6	43,3	42,0	52,9	33,3	33,1	27,5
14	63,9	32,0	35,0	32,4	30,4	50,0	55,2	55,8	59,5	65,4	61,1	49,2	43,4	11,7	0,0	21,3	6,0	46,9	46,5	45,2	56,2	32,8	32,5	30,8
15	49,1	16,9	16,9	12,2	10,3	33,5	43,5	39,3	43,0	52,9	44,6	32,7	34,9	20,5	28,8	0,0	25,4	41,0	41,7	40,4	49,8	36,3	36,0	25,7
16	63,0	30,8	33,7	31,2	29,2	49,1	54,3	54,9	58,6	64,5	60,2	48,4	42,5	11,0	4,9	20,1	0,0	46,0	45,6	44,4	55,3	31,9	31,7	29,9
17	27,0	50,2	47,9	41,0	40,5	32,2	18,3	27,9	30,0	28,5	31,6	22,1	14,8	43,3	51,6	38,9	48,2	0,0	7,5	6,2	13,2	23,5	23,4	19,8
18	21,0	48,4	46,1	39,2	38,7	30,5	12,3	21,6	23,7	22,5	25,3	18,3	13,1	41,5	49,8	37,1	46,4	9,7	0,0	1,3	9,5	24,0	23,7	18,0
19	21,8	47,1	44,8	37,9	37,4	29,2	13,1	22,4	24,6	23,3	26,2	19,0	11,7	40,2	48,5	35,8	45,1	8,4	1,3	0,0	10,7	22,6	22,4	16,7
20	21,5	55,2	52,9	46,1	45,6	37,3	15,9	25,7	25,4	23,2	26,4	23,5	19,9	48,4	56,6	44,0	53,3	13,5	10,9	11,3	0,0	32,5	30,6	24,9
21	39,6	43,3	44,1	35,9	35,5	31,5	30,8	38,2	41,9	41,1	43,5	29,8	17,3	36,5	37,7	32,1	35,7	22,6	22,2	20,9	31,9	0,0	2,5	13,7
22	43,1	42,7	43,5	35,3	34,9	30,9	34,4	37,6	41,3	44,6	42,9	31,0	22,6	35,9	37,1	31,5	35,1	26,1	25,7	24,4	35,4	4,0	0,0	13,1
23	38,8	33,3	32,6	24,3	24,0	25,1	30,1	31,7	35,4	40,3	37,0	25,2	15,1	26,5	34,7	22,1	31,4	21,8	21,4	20,1	31,1	12,8	12,6	0,0

4.6.4 Ruta Optima prueba semanal

Tabla 13. Ruta óptima prueba semanal.

Ruta Optima	Demanda(lts)	Distancia (Km)	Tiempo (Min)
0-15-3-4-2-1-13-16-14-17-21-22-23-12-19-18-20-0	778	102,56	280,58
0-10-5-8-7-11-6-9-0	483,5	33,11	114,36
Total	1261,5	135,67	394,94

De acuerdo con las matrices de distancia y tiempo obtenidas de la aplicación VRP Solver, se obtuvo que para recorrer los 23 puntos fue necesario realizar dos rutas óptimas como se muestra en la Tabla 13, las cuales pueden realizarse por dos vehículos o en dos días si se utiliza el mismo vehículo. Con las rutas óptimas obtenidas se recolectaron 1261,5 litros de aceite, recorriendo 135,67 Kilómetros con un tiempo de duración de 394,94 minutos lo que equivale aproximadamente a 7 horas.

4.6.5 Gráfica ruta óptima

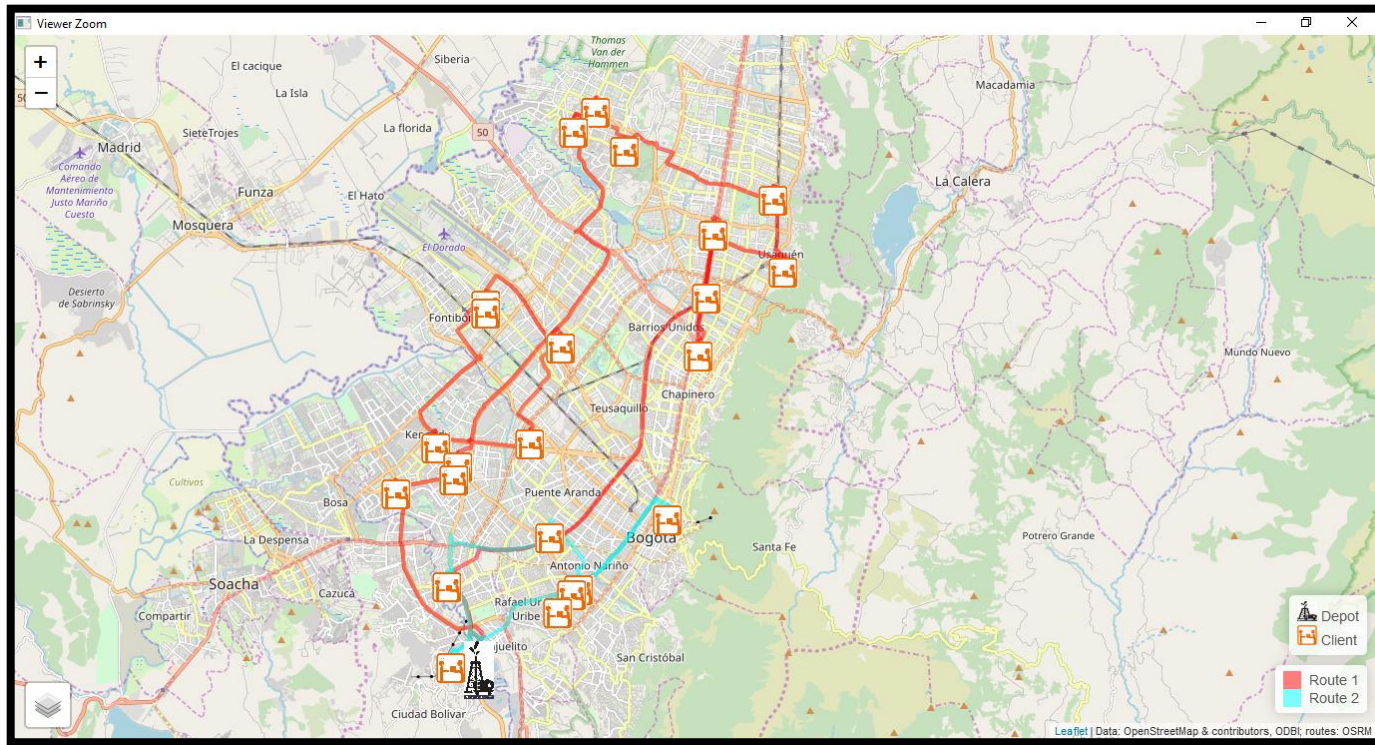


Figura 10. Ruta óptima frecuencia semanal.

Luego de obtener la información de las rutas óptimas y el orden para realizar la recolección, se obtiene la información gráfica de las rutas en las cuales el vehículo recorre cada uno de los puntos como se muestra en la Figura 10, así mismo es posible identificarlas de acuerdo a las convenciones que se pueden ver en la Figura 10.

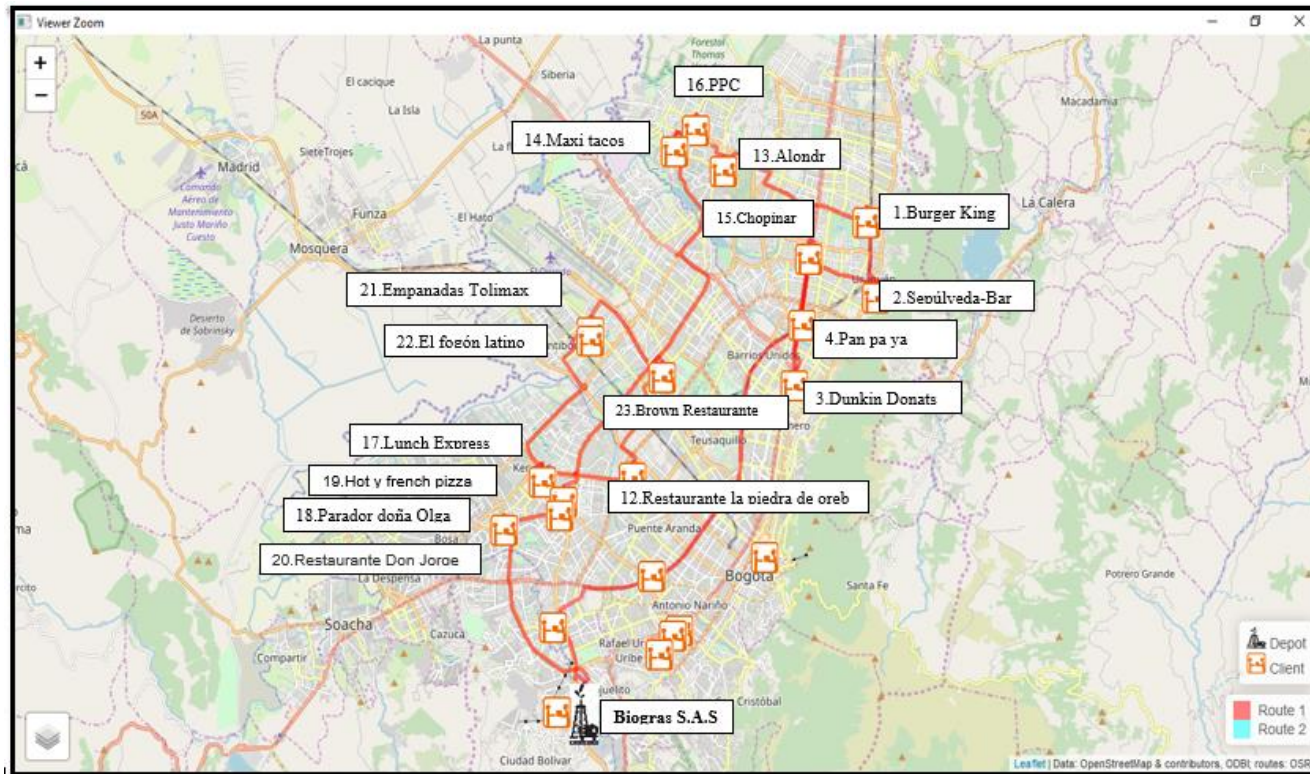


Figura 11. Descripción ruta óptima 1.

De acuerdo a la información de la Figura 11, se puede evidenciar que la ruta óptima 1 visito 16 puntos y obtuvo una demanda de 778 litros de aceite, en donde recorrió 102,56 Kilometros y lo realizó en 280,58 minutos.

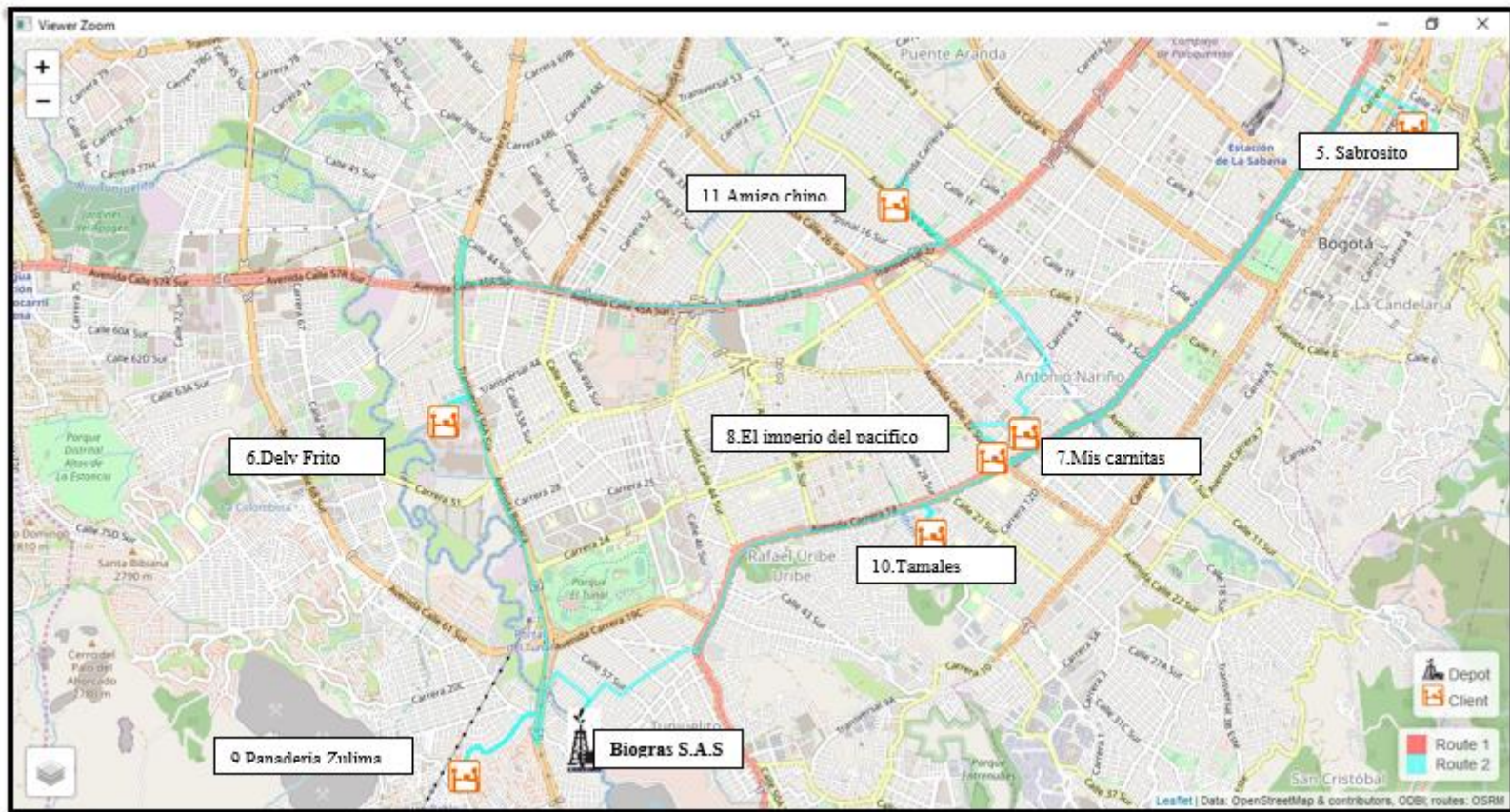


Figura 12. Descripción ruta óptima 2.

De acuerdo con la información de la Figura 12, se evidencia que la ruta óptima 2 recorrió 7 puntos y obtuvo una demanda de 483,5 litros de aceite en donde recorrió 33, 11 Kilómetros en 114, 36 minutos.

No.	Puntos de Recolección	Localidad	Dirección	Latitud	Longitud	Litros de aceite	Costo por cada litro de aceite	Costo total por litro recolectado	Tiempo promedio de recolección(min)	Tiempo de frecuencia para realizar la recolección
1	Delicias Gourmet	Usaquen	Cra 19 # 166-51	4,7464	-74,0418	41	\$ 1.250	\$ 50.625	15	15 días
2	Burguesa	Usaquen	Cll 140 #15a-38	4,7224	-74,0434	81	\$ 1.250	\$ 100.625	25	15 días
3	Provocaciones	Chapinero	AC 85 # 19A-42	4,6716	-74,0581	41	\$ 750	\$ 30.375	15	15 días
4	Pizza Gourmet	Chapinero	Cra11#71-36/40	4,6568	-74,0589	61	\$ 750	\$ 45.375	15	10 días
5	Pizza pizza castellana	Chapinero	Cll 100 # 31-05	4,6838	-74,0461	41	\$ 750	\$ 30.375	15	10 días
6	La divina comedia pizzería	Chapinero	Cll 71 # 5-75	4,6536	-74,0549	41	\$ 750	\$ 30.375	15	15 días
7	Restaurante Tasca Madrid	Santafe	Cra. 13 #12-23	4,6120	-74,0716	61	\$ 750	\$ 45.375	15	15 días
8	El caporal	San Cristóbal	Cll 26 # 6 30 sur	4,5943	-74,1155	96	\$ 750	\$ 71.625	25	15 días
9	Manantial del sabor	San Cristóbal	Cra 5 a # 35 07	4,5643	-74,0996	41	\$ 750	\$ 30.375	15	15 días
10	La Danza Del Chivo	Tunjuelito	Cra. 25 #53 Sur	4,5782	-74,1375	61	\$ 750	\$ 45.375	15	15 días
11	Bonaparte restaurante	Candelaria	Cra. 8 #11- 59	4,5990	-74,0762	16	\$ 500	\$ 7.750	15	15 días
12	Panadería Duquesa	Rafael Uribe	Av calle 22 sur # 20 - 53	4,5840	-74,1050	41	\$ 1.250	\$ 50.625	15	15 días
13	Humo Carbón y sabor	Puente Aranda	Cll. 3b #41-01, Bogotá	4,6137	-74,1117	41	\$ 1.750	\$ 70.875	15	10 días
14	El rey brasero	Puente Aranda	Cra. 52a #29 - 16	4,6053	-74,1275	41	\$ 2.750	\$ 111.375	15	15 días
15	Pare aquí cafetería	Puente Aranda	Cll. 1h #36-35	4,6060	-74,1092	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	15 días
16	Panadería La Bogotanita	Puente Aranda	Cll. 1f #32-13	4,6025	-74,1061	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	10 días

17	Torti pava	Puente Aranda	Cra. 31c N5-04	4,6070	-74,1014	16	\$ 500	\$ 7.750	15	10 días
18	David Broaster	Barrios Unidos	Cra. 64 #77-02	4,6782	-74,0798	41	\$ 1.250	\$ 50.625	15	15 días
19	Broaster Y Delicias	Barrios Unidos	Cll. 74 #20A-68	4,6626	-74,0626	16	\$ 1.750	\$ 27.125	15	10 días
20	Restaurante Kassata	Suba	Cra. 53 #134d 75	4,7224	-74,0576	126	\$ 1.250	\$ 156.875	25	15 días
21	La fogata roja	Suba	Trans. 91 # 136 - 60	4,7352	74,0853	41	\$ 750	\$ 30.375	15	15 días
22	CyS Cocina Colombiana	Suba	Cra 104 # 148-07	4,7486	-74,0954	16	\$ 500	\$ 7.750	15	15 días
23	Kapry broaster	Kennedy	Cll 57B#71D-70	4,5998	-74,1642	81	\$ 1.250	\$ 100.625	25	15 días
24	Comidas rápidas taty	Kennedy	Cll 5a 87a-14	4,6399	-74,1605	61	\$ 500	\$ 30.250	15	15 días
25	Arepas de Sofy	Fontibón	Cll 23D # 104-25	4,6830	-74,1398	81	\$ 750	\$ 60.375	25	15 días
26	Restaurante sazón y sabor	Engativá	Cll. 77 #112-33,	4,7162	-74,1236	81	\$ 2.750	\$ 221.375	25	10 días
27	Restaurante lucho gourmet Santijuana	Engativá	Cra. 73 #76-99	4,6938	-74,0923	126	\$ 2.750	\$ 345.125	25	15 días
28	Panadería la 66	Engativá	Cra. 69p #64-99	4,6740	-74,0980	81	\$ 2.250	\$ 181.125	25	15 días
29	Sanfermin	Engativá	Cll. 70a #87A-96	4,6949	-74,1092	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	10 días
						1505	\$ 34.750	\$ 1.998.625	515	

4.7 Prueba Quincenal

El segundo grupo asignado fue el quincenal, en donde se incluyeron las frecuencias de recolección comprendidas entre 10 y 15 días.

De acuerdo con esta información se realizó la segunda prueba con 29 datos, con el fin de obtener la ruta óptima en este grupo seleccionado.

4.7.1 Datos

Tabla 14 Datos con frecuencia de recolección entre 10 y 15 días.

Fuente: Elaboración propia

4.7.2 Matriz de Distancia Quincenal

En la matriz de distancia generada de acuerdo con los datos de la frecuencia de recolección quincenal en la Tabla 15, se evidenció que la mínima distancia es de 0,6 kilómetros la cual está ubicada entre el punto 15(Pare aquí cafetería) y el punto V16(Panadería la bogotanita), y la distancia máxima encontrada es de 27, 9 Kilómetros que se encuentran desde el punto 1(Delicias Gourmet) hasta el punto V23(Kapry broaster).

Tabla 15. Matriz distancia prueba quincenal.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29
0	0,0	27,4	25,2	20,3	18,9	20,6	17,8	10,1	7,0	5,0	2,5	8,9	5,7	9,3	6,8	8,9	9,0	9,9	19,2	18,4	25,2	24,1	25,9	7,5	11,9	16,3	21,7	18,7	15,5	18,1
1	27,2	0,0	3,8	12,1	13,0	12,1	13,8	19,0	22,7	26,4	25,7	20,9	23,3	22,0	23,9	21,5	21,2	20,3	13,3	12,0	6,3	8,2	8,6	27,9	26,5	21,7	20,7	12,5	14,8	20,2
2	24,0	4,0	0,0	8,9	9,8	6,7	10,6	15,8	19,5	23,2	22,5	17,7	20,1	18,7	20,7	18,3	18,0	17,1	10,1	8,8	2,8	6,7	8,6	24,7	20,6	18,0	13,1	8,8	11,6	11,5
3	19,0	9,2	7,1	0,0	2,4	2,4	3,4	10,9	14,5	18,3	17,5	12,8	15,2	13,8	15,8	13,3	13,1	12,2	7,2	2,8	7,0	10,2	12,0	19,8	18,4	16,6	11,4	7,4	8,6	11,0
4	16,5	11,1	9,0	2,6	0,0	4,3	1,3	5,7	12,0	12,4	15,0	7,8	12,7	11,3	13,3	10,8	10,6	9,7	6,5	1,7	8,9	12,1	13,9	17,3	15,8	12,8	10,8	6,7	8,0	10,3
5	19,4	10,1	7,9	3,0	3,7	0,0	5,3	11,2	14,9	18,6	17,9	12,4	15,5	14,1	16,1	13,7	13,4	12,5	5,3	5,6	7,8	11,0	12,9	20,1	18,7	16,0	11,8	7,7	8,1	11,3
6	19,7	11,8	9,6	2,8	1,7	5,1	0,0	7,2	15,2	15,3	18,2	8,8	15,9	14,5	16,5	14,0	13,7	12,8	7,2	2,1	9,6	12,7	14,6	20,5	16,8	16,6	11,4	7,4	8,6	11,0
7	9,7	18,6	16,4	11,5	6,5	11,8	10,1	0,0	7,4	6,7	9,7	1,9	5,6	6,7	8,7	6,3	6,0	5,1	11,0	9,6	16,3	19,5	21,4	12,7	12,1	16,4	15,9	13,6	9,6	12,3
8	5,2	20,8	18,7	13,7	12,3	14,0	11,3	7,6	0,0	6,4	3,7	6,1	1,9	4,1	2,7	2,2	2,4	3,4	12,9	11,8	18,6	21,8	23,6	6,6	9,5	13,8	19,5	16,3	13,2	15,9
9	5,5	24,9	22,7	17,8	16,4	18,0	16,2	7,6	4,8	0,0	6,8	5,5	3,7	7,7	6,9	6,6	6,4	7,3	16,9	15,9	22,6	25,8	27,6	10,1	13,7	24,0	23,5	20,3	17,2	20,0
10	3,8	24,1	21,9	17,0	15,6	17,3	14,5	10,8	4,5	6,5	0,0	9,4	5,3	6,9	5,0	6,4	6,0	6,6	16,1	15,1	21,9	22,4	24,2	5,8	10,2	14,6	19,9	16,9	13,8	16,4
11	9,2	21,6	19,5	14,5	8,3	14,8	10,2	3,1	6,3	5,0	9,1	0,0	5,0	5,8	7,5	5,4	5,1	4,2	12,8	12,6	19,4	22,6	24,4	11,5	13,9	18,2	17,8	15,4	11,4	14,2
12	5,0	22,7	20,5	15,6	14,2	15,9	13,1	6,2	2,8	3,2	5,0	5,0	0,0	5,6	4,8	4,4	4,2	5,2	14,7	13,7	20,4	23,6	25,5	8,2	11,6	21,8	21,4	18,1	15,1	17,8
13	8,6	20,4	18,2	13,3	11,9	13,5	10,8	7,1	3,6	8,7	5,9	5,7	5,0	0,0	2,5	2,1	2,7	2,0	10,2	11,4	18,1	21,3	23,2	7,8	7,8	11,2	16,0	13,1	9,3	12,4
14	6,1	22,3	20,1	15,2	13,8	15,5	12,7	9,0	2,3	6,9	4,2	7,6	3,7	3,4	0,0	3,0	3,5	5,1	11,0	13,3	20,1	19,3	21,2	6,1	7,2	11,5	16,9	13,9	10,8	13,3
15	7,3	19,9	17,8	12,8	11,4	13,1	10,4	6,7	2,8	6,5	5,8	5,1	3,4	1,2	2,9	0,0	0,6	1,5	12,0	10,9	17,7	20,9	22,7	8,0	8,9	19,1	18,6	15,4	12,3	15,0
16	6,8	19,3	17,2	12,2	10,8	12,5	9,8	6,1	2,3	6,5	5,3	4,6	2,8	1,7	3,5	1,1	0,0	1,5	11,4	10,3	17,1	20,3	22,1	7,5	10,3	18,5	18,0	14,8	11,7	14,4
17	7,4	18,8	16,6	11,7	10,3	12,0	9,2	5,5	2,9	7,2	5,9	4,1	3,5	1,7	4,1	1,2	0,9	0,0	10,8	9,8	16,6	19,7	21,6	8,1	9,4	17,9	17,5	14,3	11,2	13,9
18	16,3	12,2	10,0	4,7	3,6	5,4	4,4	8,2	11,8	15,5	14,8	10,1	12,4	11,1	13,0	10,6	10,3	9,4	0,0	3,8	9,9	9,5	11,4	17,0	13,3	10,3	8,0	4,0	3,3	4,6
19	17,8	10,8	8,6	1,8	1,0	3,9	1,7	5,9	13,3	12,7	16,2	8,1	13,9	12,5	14,5	12,1	11,8	10,9	3,7	0,0	8,5	11,7	13,6	18,5	16,0	13,1	10,4	6,4	6,1	9,9

20	23,0	5,8	3,7	7,9	8,8	7,9	9,6	14,9	18,5	22,2	21,5	16,8	19,2	17,8	19,8	17,3	17,0	16,1	9,2	7,9	0,0	4,1	5,9	23,7	18,6	15,9	11,1	6,7	9,3	9,4
21	24,9	11,3	9,1	11,7	12,6	11,7	13,4	18,7	22,3	26,0	22,8	20,6	23,0	21,6	20,4	21,1	20,8	19,9	9,9	11,7	7,3	0,0	2,7	22,6	14,7	11,6	7,2	7,5	10,1	6,2
22	25,4	12,5	10,3	12,9	13,8	12,9	14,5	18,1	21,7	25,4	23,3	20,0	22,4	21,0	20,9	20,5	20,2	19,3	10,2	12,7	8,5	2,3	0,0	23,1	15,9	12,8	8,4	7,9	10,6	7,4
23	6,4	26,3	24,2	19,2	17,8	19,5	16,8	13,1	5,9	10,1	5,0	11,6	7,5	8,3	5,3	7,9	7,9	8,9	15,2	17,3	24,1	21,7	23,5	0,0	5,9	13,9	19,3	16,3	13,1	15,7
24	12,5	23,9	21,7	19,2	17,5	19,1	16,4	12,0	9,9	14,5	10,4	13,4	11,3	8,5	8,0	10,0	10,5	9,8	13,8	17,0	20,2	20,1	22,0	5,7	0,0	8,4	13,8	14,7	11,5	9,7
25	16,9	22,0	19,9	15,6	14,5	17,2	14,8	12,5	16,3	20,1	14,8	14,4	17,0	15,6	11,7	15,1	14,9	14,0	11,4	14,7	15,8	11,4	13,7	14,6	7,3	0,0	10,3	8,3	7,1	6,3
26	22,7	18,3	16,1	10,9	11,0	11,5	11,8	15,3	19,0	22,7	20,6	17,2	19,6	18,3	18,1	17,8	17,5	16,6	7,4	9,9	12,1	8,2	9,2	20,3	13,0	9,9	0,0	5,2	7,8	4,2
27	17,7	13,9	11,8	6,5	6,7	7,1	7,4	11,0	14,6	18,3	15,6	12,8	15,2	13,9	13,1	13,4	13,1	12,2	3,0	5,6	8,0	7,9	9,8	15,3	12,1	9,4	6,5	0,0	2,8	2,9
28	16,0	14,6	12,4	8,2	6,1	9,8	7,3	8,9	12,5	16,2	13,9	10,8	13,2	11,8	10,2	11,3	11,0	10,1	4,0	7,3	10,2	10,1	11,9	14,1	11,8	7,0	8,7	3,0	0,0	4,0
29	18,2	14,6	12,4	9,2	9,4	9,8	10,1	12,2	16,0	19,7	16,1	14,1	16,6	15,2	13,7	14,8	14,5	13,6	5,7	8,3	10,9	6,5	8,9	15,9	9,0	6,0	3,8	2,9	3,3	0,0

4.7.3 Matriz de Tiempo Quincenal

En la matriz de tiempo de los datos semanal en la Tabla 16, se identificó que el menor tiempo de recorrido fue de 1,9 minutos el cual se obtuvo del recorrido del punto 15(Pare aquí cafetería) al punto V16(Panadería la bogotanita), y el tiempo máximo encontrado es de 66 minutos el cual está entre el recorrido del punto 9 (Manantial del sabor) al punto V22(CyC Cocina colombiana).

Tabla 16. Matriz de tiempo prueba quincenal.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29
0	0	55	52	46	45	45	45	30	16	20	7,4	29	16	24	19	24	23	26	45	42	54	56	61	19	30	41	52	42	36	43
1	60	0	14	23	28	24	31	40	47	58	55	49	49	44	50	43	43	41	29	23	16	24	27	55	58	52	42	29	33	41

2	57	10	0	20	25	19	28	37	44	55	52	46	47	41	47	40	40	38	26	20	10	19	24	53	54	46	36	24	30	33
3	46	16	12	0	10	8,2	14	25	33	44	41	34	35	29	35	29	29	26	15	7,3	15	22	26	41	44	38	26	15	20	25
4	45	22	18	9,3	0	15	5,6	17	31	36	40	25	34	28	34	28	28	25	16	8,7	21	28	33	40	41	35	27	16	21	26
5	51	22	18	13	15	0	17	30	37	48	45	36	40	34	40	33	34	31	20	18	21	28	33	46	48	44	32	22	24	31
6	51	25	21	11	6,8	16	0	21	38	42	46	28	40	34	40	34	34	31	19	9,3	24	31	35	46	47	42	30	19	23	29
7	30	41	37	31	25	31	26	0	23	23	30	9	19	20	26	19	19	17	27	27	40	47	52	32	33	33	38	31	23	28
8	16	42	38	32	31	32	32	20	0	18	11	21	7	11	8,9	8,4	9	12	31	28	41	48	53	15	26	38	47	36	31	37
9	20	55	52	46	44	45	46	25	18	0	21	21	14	25	23	22	22	24	44	42	54	61	66	29	41	55	60	49	45	50
10	12	50	46	40	39	39	39	28	10	20	0	29	15	18	14	18	17	20	38	36	49	53	58	16	27	38	49	39	33	40
11	30	48	44	38	32	37	32	12	22	19	30	0	19	19	25	19	19	15	34	34	47	54	58	30	40	40	45	39	30	36
12	16	47	44	38	36	37	37	19	11	9,9	16	18	0	17	15	14	13	18	36	34	46	53	58	22	32	47	52	41	37	42
13	25	41	38	32	31	31	31	20	10	25	19	19	14	0	9,2	6,1	7,4	5,7	28	28	41	47	52	20	23	31	44	34	26	35
14	21	46	42	36	35	35	35	24	6,2	20	14	25	10	9	0	9,1	9,6	13	29	32	45	47	52	15	21	32	44	33	28	34
15	22	39	35	29	28	29	28	17	8,3	20	16	18	10	3,6	9,5	0	1,9	4,6	27	25	38	45	50	17	27	38	44	33	28	34
16	20	37	33	27	26	27	26	15	6,9	19	15	17	9,2	5,1	9,7	3,7	0	5,2	26	23	36	43	48	15	27	36	42	31	26	32
17	23	38	34	28	27	28	28	16	9,7	22	18	15	12	4,9	13	4,2	4	0	27	24	37	44	49	18	28	37	43	32	27	33
18	42	26	22	13	14	15	17	21	29	40	37	30	31	25	31	25	25	22	0	11	25	27	31	37	36	30	22	11	12	18
19	47	21	18	7,6	4,9	14	9,3	17	33	36	41	25	36	30	36	29	29	27	13	0	20	27	32	42	42	36	26	15	19	25
20	56	15	11	18	23	20	27	35	42	53	50	44	45	39	45	38	39	36	24	18	0	15	20	51	51	43	33	20	26	30
21	61	26	22	26	31	28	35	44	51	62	55	53	53	48	52	47	47	44	25	27	21	0	9,9	56	47	37	25	20	26	22
22	63	30	26	30	35	32	39	44	51	62	57	53	54	48	54	47	48	45	25	31	24	11	0	57	45	35	23	21	27	20
23	16	51	48	42	40	41	41	30	12	26	13	30	18	20	14	20	18	22	40	37	50	53	57	0	21	38	49	39	33	39
24	33	55	51	46	47	48	48	33	27	41	27	39	31	25	23	27	28	26	38	44	52	49	54	18	0	28	40	35	30	30
25	43	49	45	38	39	42	41	28	36	48	37	37	39	33	33	33	33	30	29	36	43	40	39	38	24	0	29	24	20	18

26	55	38	35	25	27	28	31	36	43	55	49	45	46	40	46	40	40	37	18	23	34	31	30	50	38	28	0	13	20	13
27	43	27	24	15	17	17	20	26	33	44	37	35	35	30	34	29	29	26	6,9	12	24	21	26	38	32	24	17	0	7,6	11
28	41	31	27	21	20	24	23	22	29	40	35	31	32	26	26	25	26	23	11	18	29	26	30	35	30	20	22	10	0	15
29	47	34	31	24	26	27	30	30	38	49	41	39	40	35	38	34	34	32	16	22	32	28	28	42	27	17	12	11	11	0

4.7.4 Ruta Optima prueba Quincenal

Tabla 17.Ruta óptima prueba quincenal.

Ruta Optima	Demanda(lts)	Distancia (Km)	Tiempo (Min)
0-6-4-19-3-5-1-2-20-21-22-26-29-27-18-17-0	777,5	84,32	246,13
0-10-23-24-25-28-7-11-16-15-13-14-8-12-9-0	727	63,23	212,19
Total	1504,5	147,55	458,32

De acuerdo con las matrices de distancia y tiempo obtenidas de la aplicación VRP Solver se obtuvo que, para recorrer los 29 puntos de la frecuencia de recolección quincenal, fue necesario realizar dos rutas óptimas como se muestra en la Tabla 17 teniendo en cuenta que la capacidad de los vehículos es de 800 litros. Con las rutas óptimas obtenidas se recolectaron 1504,5 litros de aceite, recorriendo 147,55 Kilómetros con un tiempo de duración de 458,32 minutos lo que equivale aproximadamente a 7 horas y 38 minutos.

4.7.5 Gráfica ruta óptima

Luego de obtener la información de las rutas optimas y el orden para realizar la recolección de los puntos de la frecuencia quincenal, se obtiene la información gráfica de las rutas obtenidas en la Tabla 17 en las cuales el vehículo recorre cada uno de los puntos como se muestra en la Figura 13.

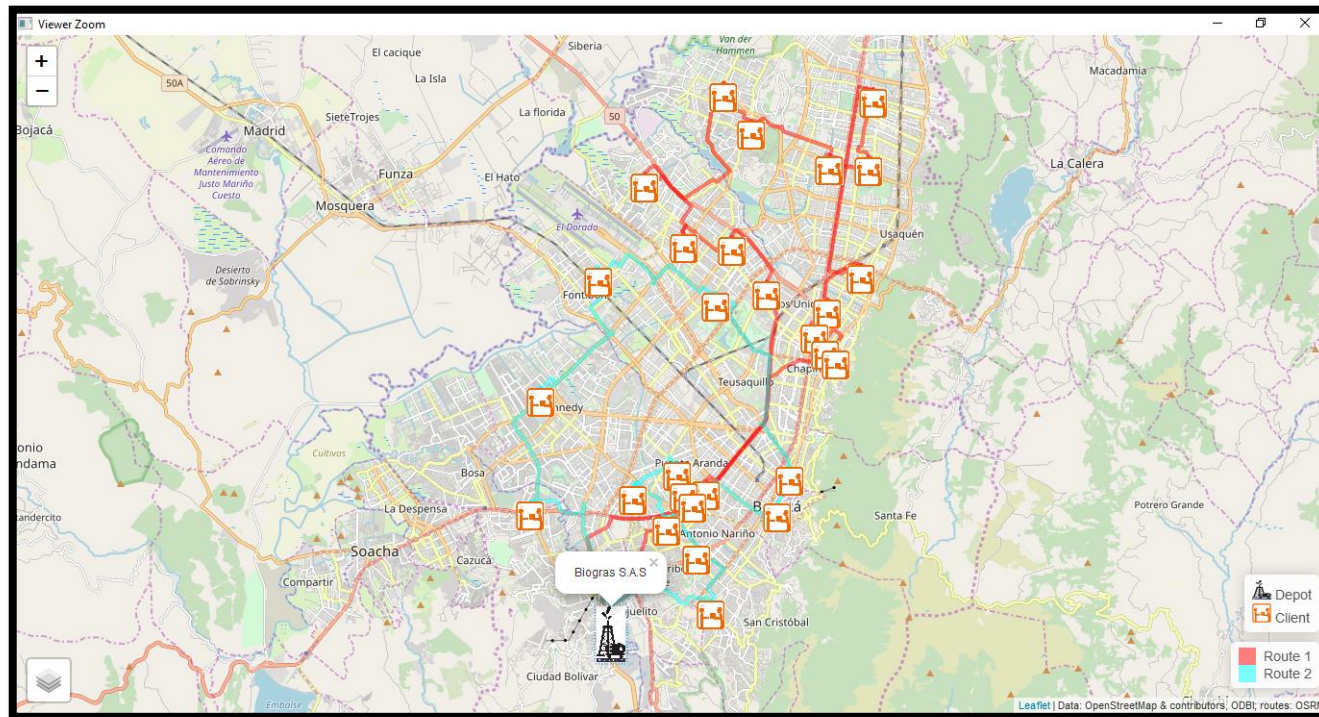


Figura 13. Ruta óptimas frecuencia quincenal.

De acuerdo a la información de la Figura 14, se puede evidenciar que la ruta óptima 1 la cual esta identificada con color rojo, se visitaron 15 puntos con lo que se obtuvo una demanda de 777,5 litros de aceite, en donde se recorrieron 84,32 Kilometros y se realizó en 246,13 minutos.

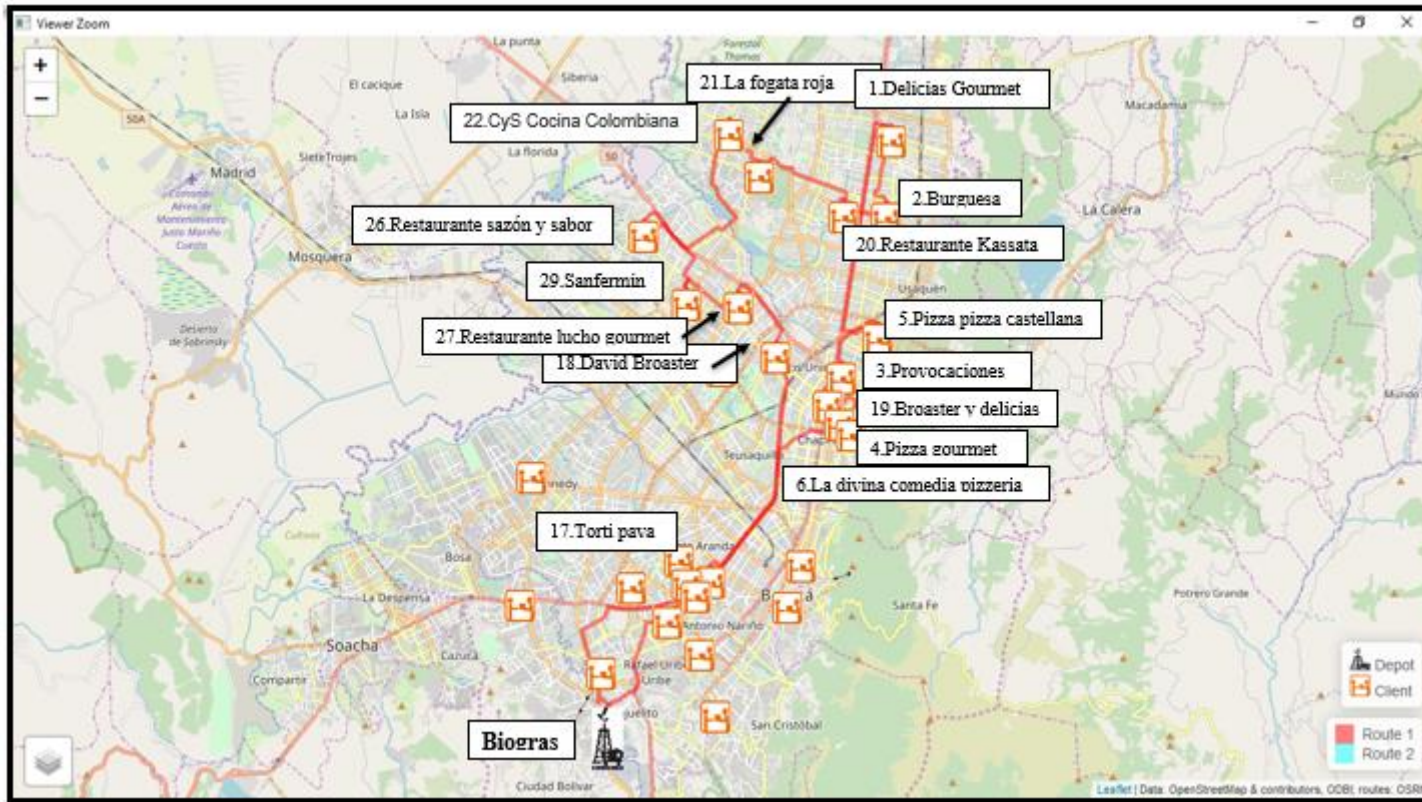


Figura 14. Recorrido ruta óptima 1 prueba quincenal.

En la Figura 15, se puede evidenciar que en la ruta óptima 2 identificada con el color azul, se visitaron 14 puntos con lo que se obtuvo una demanda de 727 litros de aceite, en donde se recorrieron 63,23 Kilometros y se realizó en 212,19 minutos.

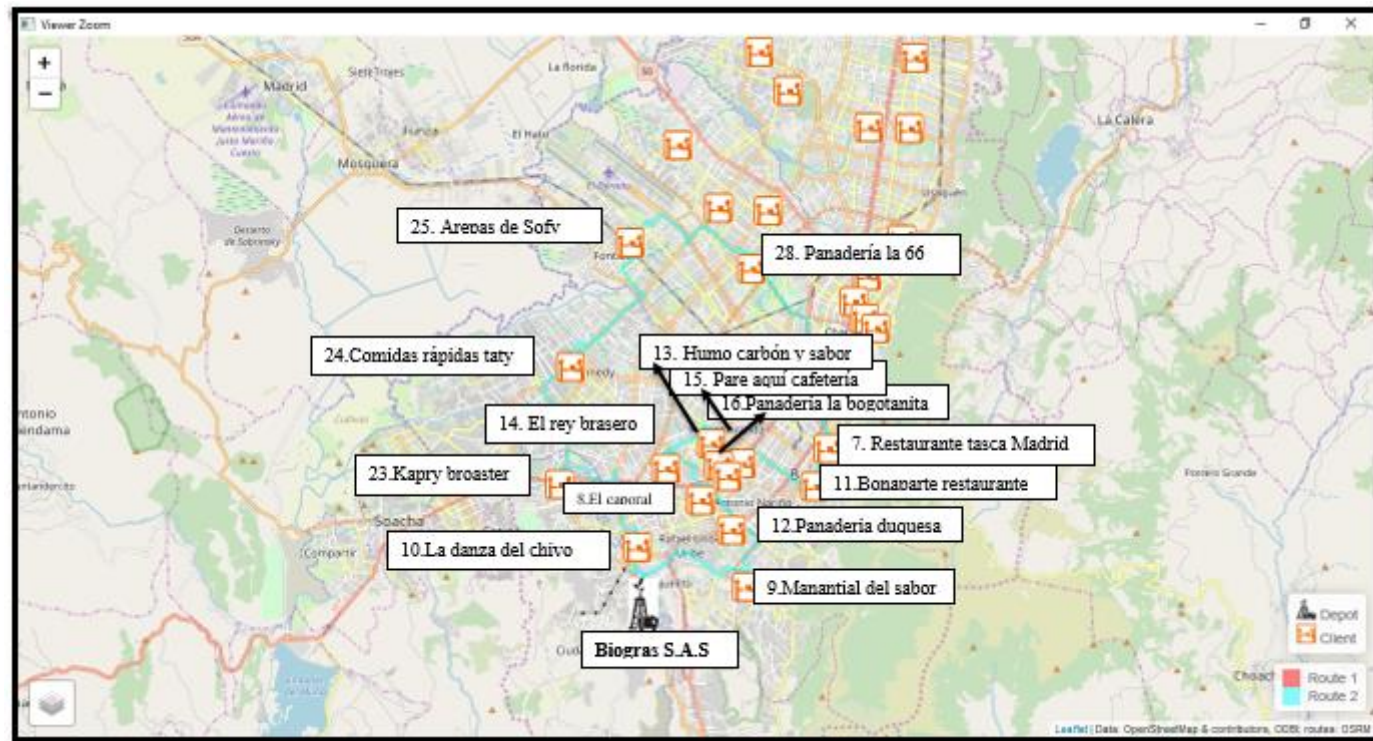


Figura 15. Recorrido ruta óptima 2 prueba quincenal.

4.8 Prueba Mensual

El tercer grupo asignado fue el mensual, en donde se incluyeron las frecuencias de recolección comprendidas entre 20 y 30 días. De acuerdo con esta información se realizó la tercera prueba con el fin de obtener la ruta optima en este grupo seleccionado.

4.8.1 Datos

Tabla 18 Datos con frecuencia de recolección entre 20 y 30 días

No.	Puntos de Recolección	Localidad	Dirección	Latitud	Longitud	Litros de aceite	Costo por cada litro de aceite	Costo total por litro recolectado	Tiempo promedio de recolección(min)	Tiempo de frecuencia para realizar la recolección
1	Archie's	Usaquen	Cll 116 # 17-13	4,6973	-74,0463	16	\$ 2.750	\$ 42.625	15	30 días
2	Gourmet 82	Chapinero	Cll 82 # 12 37	4,6678	-74,0533	96	\$ 500	\$ 47.750	25	20 días
3	Restaurante Don quijote	Chapinero	Cra. 9 #12-94	4,6011	-74,0760	16	\$ 750	\$ 11.625	15	20 días
4	Hamburguesas el Corral	Chapinero	Cra 6 #45-22	4,6315	-74,0634	61	\$ 2.750	\$ 166.375	15	30 días
5	Cafetería coffew fruit	Chapinero	Cll . 93b #16-89	4,6780	-74,0502	16	\$ 2.250	\$ 34.875	15	30 días

6	Café cms	Santafe	Cll. 18 # 8 33	4,6051	-74,0731	16	\$ 750	\$ 11.625	15	30 días
7	Dulce tentación	Santafe	Cll. 37 # 13 26	4,6252	-74,0679	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	20 días
8	Asadero Arde La Brasa	Usme	Ak. 1 #80 Sur-10	4,5097	-74,1141	81	\$ 750	\$ 60.375	25	20 días
9	Mr. Dogs restaurante	Bosa	Cll 49S # 88c-25	4,6312	-74,1798	81	\$ 1.250	\$ 100.625	25	30 días
10	Pastelería San Martin	Bosa	Cll 49S # 90 A -09	4,6354	-74,1805	16	\$ 2.750	\$ 42.625	15	30 días
11	Cigarrería y cafetería la 14	Teusaquillo	Cll 44 # 14-46	4,6319	-74,0685	41	\$ 750	\$ 30.375	15	30 días
12	Restaurante K7	Teusaquillo	Cra.16A # 49-70	4,6375	-74,0689	61	\$ 2.250	\$ 136.125	15	30 días
13	El camarón loco	Teusaquillo	Cll 52A # 25-65	4,6414	-74,0752	61	\$ 2.750	\$ 166.375	15	30 días
14	Restaurante Sabroso Chino	Mártires	Cll. 22 #15-23, Bogotá	4,6113	-74,0762	41	\$ 750	\$ 30.375	15	30 días
15	Restaurante El Rincón Boyacense	Mártires	Cra. 16 #20-46	4,6109	-74,0767	41	\$ 750	\$ 30.375	15	30 días
16	Barbacoa De La 20	Mártires	Cra. 20 #10-15,	4,6057	-74,0880	41	\$ 750	\$ 30.375	15	20 días
17	Mexitacos	Antonio Nariño	Cra 12B # 11-04 Sur	4,5845	-74,0935	16	\$ 2.750	\$ 42.625	15	30 días
18	Panadería Pijapan	Rafael Uribe	Cra 11b # 36 sur - 13	4,5678	-74,1056	41	\$ 1.250	\$ 50.625	15	30 días
19	La Silla Coja	Barrios Unidos	Cll. 79 #53-39	4,6743	-74,0719	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	20 días

20	Mama Leo Restaurante	Barrios Unidos	Cra. 57 #70-12	4,6686	-74,0795	16	\$ 1.250	\$ 19.375	15	20 días
21	Plancha y sabor	Suba	Cra 52 # 128- 12	4,7132	-74,0590	41	\$ 750	\$ 30.375	15	30 días
22	Mar Valdez	Suba	Cll. 129 #58-37, Bogotá	4,7185	-74,0696	41	\$ 500	\$ 20.250	15	30 días
23	Restaurante Exxus de Mar	Suba	Cll. 116 #71-39	4,6995	-74,0776	16	\$ 500	\$ 7.750	15	30 días
24	Restaurante la Hormiga	Kennedy	Carrera. 78b #38-39 Sur	4,6213	-74,1517	16	\$ 500	\$ 7.750	15	30 días
25	Pinocho Carbón	Fontibón	Cll 20 # 99-20	4,6748	-74,1427	16	\$ 750	\$ 11.625	15	30 días
26	Restaurante Mesa Gourmet	Fontibón	Cll. 25g #85c- 19, Bogotá	4,6755	-74,1205	16	\$ 750	\$ 11.625	15	30 días
27	Restaurante Sion	Engativá	Cra. 106 #80A- 78	4,7157	-74,1149	81	\$ 1.250	\$ 100.625	25	30 días
28	Restaurante la vecina	Engativá	Cra. 82a #80- 98,	4,7022	-74,0975	81	\$ 1.250	\$ 100.625	25	20 días
29	Panadería las acacias	Engativá	Cra. 69h #65-2	4,6756	-74,0948	81	\$ 500	\$ 40.250	25	30 días
30	Panadería y cafetería river pan	Engativá	Ac 72 #103 A - 39	4,7058	-74,1189	96	\$ 2.750	\$ 262.625	25	20 días
						1260	\$ 39.750	\$ 1.687.375	520	

4.8.2 Matriz de Distancia Mensual

En la matriz de distancia generada de acuerdo con los datos de la frecuencia de recolección mensual en la Tabla 19, se evidenció que la mínima distancia es de 0,3 kilómetros la cual está ubicada entre el punto 14(Restaurante sabroso chino) y el punto V15(Restaurante el rincón boyacense), y la distancia máxima encontrada es de 31 Kilómetros que se encuentran desde el punto 8(Asadero arde la brasa) hasta el punto V21(Plancha y sabor).

Tabla 19. Matriz de distancia prueba mensual.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30
0	0	22	21	9,8	15	21	9,5	15	7,9	11	11	15	15	14	9,3	9,3	11	5,8	5,2	19	18	24	22	19	8,9	16	15	22	19	16	20
1	20	0	4,9	14	10	3,8	14	12	26	22	23	9,4	11	9,4	12	13	14	17	19	5	6,3	3,9	6,6	4,1	20	17	14	12	9,1	7,9	13
2	20	5,7	0	10	6,2	2,9	10	7,7	25	21	21	5,3	4,6	8,8	10	11	13	14	17	4,3	5,6	7,2	9,9	7,8	18	16	13	10	7,7	7,9	12
3	9,6	14	13	0	4,1	13	0,6	3,6	15	16	16	4,7	4,8	6,6	1,5	1,5	4,1	5	6,3	11	9,9	16	19	15	13	17	12	18	15	11	16
4	13	11	5,1	5,4	0	9,5	5,1	1,4	19	15	16	1,1	1,3	2,4	3,7	4,1	7	7,5	9,5	7,6	6,7	13	15	11	13	16	10	13	11	8,1	14
5	19	4,4	1,9	12	7,8	0	12	9,2	24	21	21	6,9	6,6	7,8	11	11	12	15	18	3,4	4,7	6	8,7	7,2	18	15	12	10	7,5	7,6	11
6	9,4	14	12	0,7	3,9	12	0	3,4	15	16	16	4,5	4,6	6,4	1,3	1,3	3,9	4,8	6	11	9,7	16	18	15	13	17	11	18	15	11	15
7	12	12	6,3	3,7	1,4	9,9	3,4	0	18	15	15	1,5	1,7	2,8	2,5	2,9	6,4	6,8	8,4	8,1	7,1	13	16	14	12	16	10	15	13	9,7	14
8	8,1	29	27	18	22	27	18	22	0	18	18	22	22	21	18	18	18	14	9	26	25	31	29	26	16	22	22	29	26	23	27
9	11	21	22	15	16	21	15	14	18	0	0,6	16	16	15	15	14	13	15	16	19	17	22	20	17	4,6	9,9	9,4	20	17	14	15
10	11	21	22	15	16	22	15	15	18	0,8	0	16	16	15	15	14	13	14	14	19	17	22	20	18	4,9	10	9,6	20	18	15	15
11	13	11	5,7	4,5	0,9	9,4	4,3	1,3	19	15	15	0	1	2	2,8	3,2	6,2	6,6	9,2	7,5	6,6	13	15	12	12	16	10	15	12	8,9	14
12	13	9,8	8,1	5,3	1,8	8	5	1,9	19	15	15	1	0	1,1	3,5	4	6,8	7,3	10	6,2	5,3	11	14	11	12	15	10	13	11	7,5	14

13	13	9,1	7,4	6,3	2,4	7,3	6,1	2,6	18	15	15	2	1,5	0	4,8	5,3	6,4	9,2	12	5,5	4,6	11	13	10	12	15	9,7	13	10	6,8	14
14	9,7	13	11	2,3	3,2	11	2	2,3	15	15	15	3,4	3,5	4,8	0	0,8	4	4,4	7,1	9,1	8,1	14	17	14	12	16	10	16	14	9,8	14
15	9,3	13	11	2	3,3	11	1,7	2,3	15	14	15	3,4	3,6	4,8	0,3	0	3,6	4	6,7	9	8,1	14	17	14	11	16	11	16	14	10	15
16	9,2	14	12	3,3	6,3	12	3	4,6	15	14	14	6,4	6,3	5,8	2,6	2	0	3,5	6,1	10	9,1	15	18	15	9,4	12	12	17	15	11	16
17	6,1	17	15	4,2	7	15	3,8	6,1	12	15	14	7,1	7,3	9	4	4	3,8	0	3,1	13	12	18	21	18	8,7	16	15	20	18	15	19
18	5,1	19	17	6,5	9,2	17	6	8,3	9	15	14	9,4	9,5	11	6,3	6,3	6,1	2,8	0	15	14	21	23	20	9,6	17	17	23	20	17	21
19	16	6	3,9	9,9	7,8	4,2	9,6	7,9	22	18	19	6,2	5,9	5,4	8,4	8,8	9,9	13	15	0	1,6	7,6	7,3	4,7	16	13	9,6	7,1	4,6	4,8	8,6
20	15	6,9	5,3	8,9	6,8	5,1	8,6	7	21	16	16	6,2	5,7	4,5	7,4	7,8	8,9	12	14	1,4	0	8,5	11	6	13	10	8,1	8,4	5,9	3,1	6,4
21	22	3,9	6,9	15	11	6,6	15	11	27	21	21	10	9,8	11	14	14	15	18	21	6,5	7,8	0	1,7	3,7	18	15	11	9,3	6,8	8,5	11
22	23	5,1	8,5	17	13	8,2	17	13	30	20	21	12	11	13	15	16	17	20	23	8,1	9,2	1,9	0	3,9	17	15	11	9	6,5	8,2	10
23	20	4	8,3	14	12	8,7	14	12	27	17	17	11	10	9,9	13	13	14	17	20	5,5	5,8	5	3,6	0	14	11	7,7	5,6	3	4,7	7
24	8	17	18	12	12	18	11	11	15	4,8	5	12	12	12	11	10	9,6	8,6	11	15	13	18	16	14	0	10	9,9	16	14	11	15
25	15	16	17	13	13	18	12	12	22	8,8	9	14	13	12	12	11	11	15	17	14	13	17	15	13	8,2	0	3,8	10	9	9,5	9,4
26	15	13	12	11	10	14	11	9,8	22	9,7	10	10	9,8	8,6	9,8	10	12	14	17	9,4	8,3	12	10	7,8	9,8	3,9	0	7,4	6,3	5,3	6,7
27	22	12	10	16	14	10	16	14	29	15	15	12	12	12	15	15	16	19	22	7,3	7,6	8,9	7,4	6,4	16	9,1	6,8	0	3,5	6,8	1,3
28	20	10	8,1	14	12	8,4	14	12	27	15	15	10	10	9,7	13	13	14	17	20	5,3	5,5	7,8	6,4	4,3	14	8,9	6,6	3	0	4,8	4,4
29	18	8,6	7,6	11	8,8	7,9	11	8,9	25	15	15	7,8	7,3	6,1	9,3	9,8	11	14	16	4,8	3,2	8,7	7,3	4,6	12	7,6	5,3	7,2	4,7	0	5,4
30	20	13	11	16	15	11	15	15	27	14	14	13	13	12	14	15	16	19	21	7,8	8,1	9,3	7,9	6,9	13	7,8	5,5	1,5	4	5,1	0

4.8.3 Matriz de Tiempo Mensual

En la matriz de tiempo de los datos de la frecuencia mensual en la Tabla 20, se identificó que el menor tiempo de recorrido fue de 2 minutos el cual se obtuvo del recorrido del punto 9(Mr. Dogs restaurante) al punto V10(Pastelería san Martín) y también se obtuvo

en el recorrido del punto 15(Restaurante el rincón boyacense) al V14(Restaurante sabroso chino), el tiempo máximo encontrado es de 70 minutos el cual está entre el recorrido del punto 22 (Mar Valdez) al punto V8(Asadero arde la brasa).

Tabla 20.Matriz de Tiempo prueba mensual.

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V30
0	0	48	48	33	37	46	32	36	21	33	33	36	39	33	28	29	28	18	17	42	39	53	52	43	22	40	34	50	43	38	49
1	50	0	17	38	29	13	38	31	62	59	57	26	31	23	30	31	33	40	48	14	17	14	18	13	47	45	35	29	22	23	33
2	51	16	0	31	19	12	31	21	62	58	57	18	19	23	26	28	34	38	46	14	17	21	25	21	46	43	32	26	20	22	30
3	31	35	35	0	18	33	4	12	43	47	45	16	20	20	7	7	16	18	22	29	26	40	44	35	35	37	27	42	36	28	38
4	41	31	23	22	0	28	22	9	52	49	48	8	12	14	14	16	24	26	35	24	21	35	39	34	37	39	29	39	33	28	40
5	48	13	9	36	22	0	36	24	60	57	55	21	24	21	28	29	31	38	46	11	14	17	21	20	44	43	33	27	20	23	31
6	31	36	36	5	19	33	0	13	49	48	46	17	21	21	7	7	16	19	24	29	27	41	45	36	36	38	28	43	37	29	39
7	37	30	26	15	8	27	15	0	48	44	42	6	11	12	9	11	20	21	28	23	21	35	39	33	32	35	25	39	32	26	36
8	18	60	60	47	49	58	47	48	0	45	45	48	51	45	43	43	40	32	29	54	51	65	64	55	34	52	46	62	55	50	61
9	29	53	54	45	45	54	45	41	44	0	2	44	47	41	39	39	37	35	36	46	46	56	51	42	15	32	28	49	42	37	43
10	29	54	54	46	46	55	46	42	45	3	0	45	48	42	40	40	38	36	37	47	46	57	52	42	16	33	29	50	43	38	44
11	37	27	23	16	5	24	16	6	49	44	42	0	8	9	8	9	18	20	28	20	18	32	36	30	32	35	25	36	29	25	36
12	37	25	25	18	8	23	18	8	48	45	43	3	0	6	10	11	20	22	30	19	16	30	34	28	33	35	25	34	27	23	36
13	35	22	22	23	11	19	23	10	47	44	42	7	10	0	15	16	18	25	33	15	13	27	31	25	32	33	23	31	24	20	34
14	31	29	29	12	14	27	12	9	42	44	42	13	17	14	0	5	14	16	24	23	20	34	38	32	32	34	24	38	31	25	36
15	29	29	28	10	14	26	9	10	40	42	41	13	17	14	2	0	12	13	21	22	19	34	38	32	30	34	24	37	31	26	36
16	31	33	33	16	21	30	15	18	42	42	40	21	24	18	12	10	0	15	23	26	24	38	42	36	29	35	31	42	35	31	42

17	20	38	38	17	23	36	17	18	31	38	37	22	26	23	13	13	12	0	10	32	29	43	47	41	24	43	36	47	41	36	47
18	18	45	45	24	30	42	24	25	26	42	40	29	33	30	19	20	19	9	0	38	35	50	54	48	28	47	43	54	47	42	54
19	42	16	12	30	23	13	29	22	53	50	48	17	20	14	21	23	25	32	39	0	6	21	21	12	38	34	24	18	11	14	22
20	39	18	17	27	20	15	26	19	50	44	43	17	19	11	18	20	22	29	36	5	0	22	27	16	32	29	20	22	15	10	23
21	53	13	18	42	30	17	41	29	65	59	57	25	28	26	33	35	37	43	51	17	20	0	7	13	47	42	31	27	21	24	31
22	57	15	21	45	33	21	44	33	70	56	54	28	31	29	36	38	40	47	55	20	23	8	0	12	44	39	28	24	18	21	28
23	48	14	22	40	33	23	39	32	61	48	46	26	29	24	31	33	35	41	49	15	15	17	12	0	36	31	20	16	10	13	20
24	22	43	43	35	34	43	34	30	35	17	16	34	37	31	28	29	27	26	29	36	35	45	40	31	0	28	23	38	32	27	38
25	40	42	42	38	38	46	38	34	53	31	30	37	39	31	32	32	30	40	46	35	34	44	40	30	25	0	12	32	28	26	28
26	38	33	32	31	27	33	30	25	51	32	32	26	28	20	22	24	27	33	41	24	22	34	29	20	26	13	0	23	19	15	19
27	53	29	25	43	36	26	42	36	66	46	46	30	33	27	34	36	38	45	53	18	18	28	23	16	40	27	20	0	12	17	5
28	50	26	22	40	33	23	39	33	63	47	46	27	30	24	31	33	35	42	50	15	15	24	19	13	37	28	21	9	0	14	13
29	44	23	21	32	25	22	31	24	57	42	40	21	23	16	23	25	27	33	41	14	10	27	22	13	30	23	15	20	13	0	19
30	52	31	27	44	38	28	44	37	65	43	42	31	34	29	35	37	40	47	54	20	20	30	25	18	37	24	17	6	14	17	0

4.8.4 Ruta Óptima

De acuerdo con las matrices de distancia y tiempo obtenidas en la Tabla 19 y la Tabla 20, para recorrer los 29 puntos de la frecuencia de recolección quincenal, fue necesario realizar dos rutas óptimas como se muestra en la Tabla 21 teniendo en cuenta que la capacidad de los vehículos es de 800 litros. Con las rutas óptimas obtenidas se recolectaron 1260 litros de aceite, recorriendo 137,97 Kilómetros con un tiempo de duración de 446,63 minutos lo que equivale aproximadamente a 7 horas y 26 minutos.

Tabla 21. Rutas óptimas prueba mensual.

Ruta Optima Mensual	Demanda(lts)	Distancia (Km)	Tiempo (Min)
0-4-29-20-19-5-2-1-22-21-23-28-27-30-26-25-9-10-24-0	794	90,68	281,41
0-17-16-15-14-12-13-11-7-3-6-18-8-0	466	47,29	165,22
Total	1260	137,97	446,63

4.8.5 Recorrido ruta óptima

Luego de obtener la información de las rutas óptimas y el orden para realizar la recolección de los puntos de la frecuencia mensual en la Tabla 21. En la Figura 16 se evidencia el recorrido que debe realizar el vehículo en cada una de las rutas que se obtuvieron.

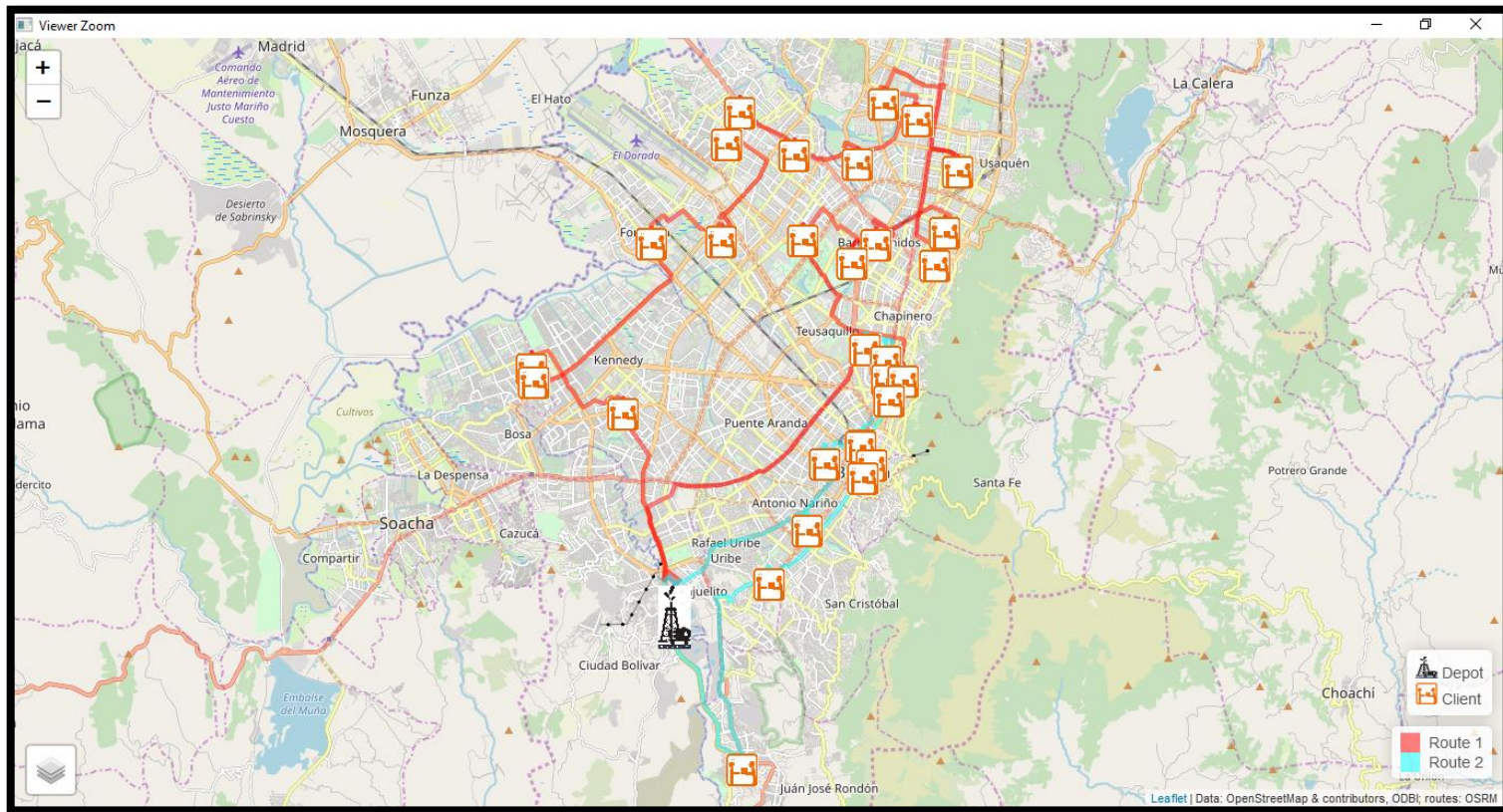


Figura 16. Ruta optima prueba mensual.

De acuerdo a la información de la Figura 17, se puede evidenciar que la ruta óptima 1 la cual esta identificada con color rojo, se visitaron 18 puntos con lo que se obtuvo una demanda de 794 litros de aceite, en donde se recorrieron 90,68 Kilometros y se realizo en 281,41 minutos.

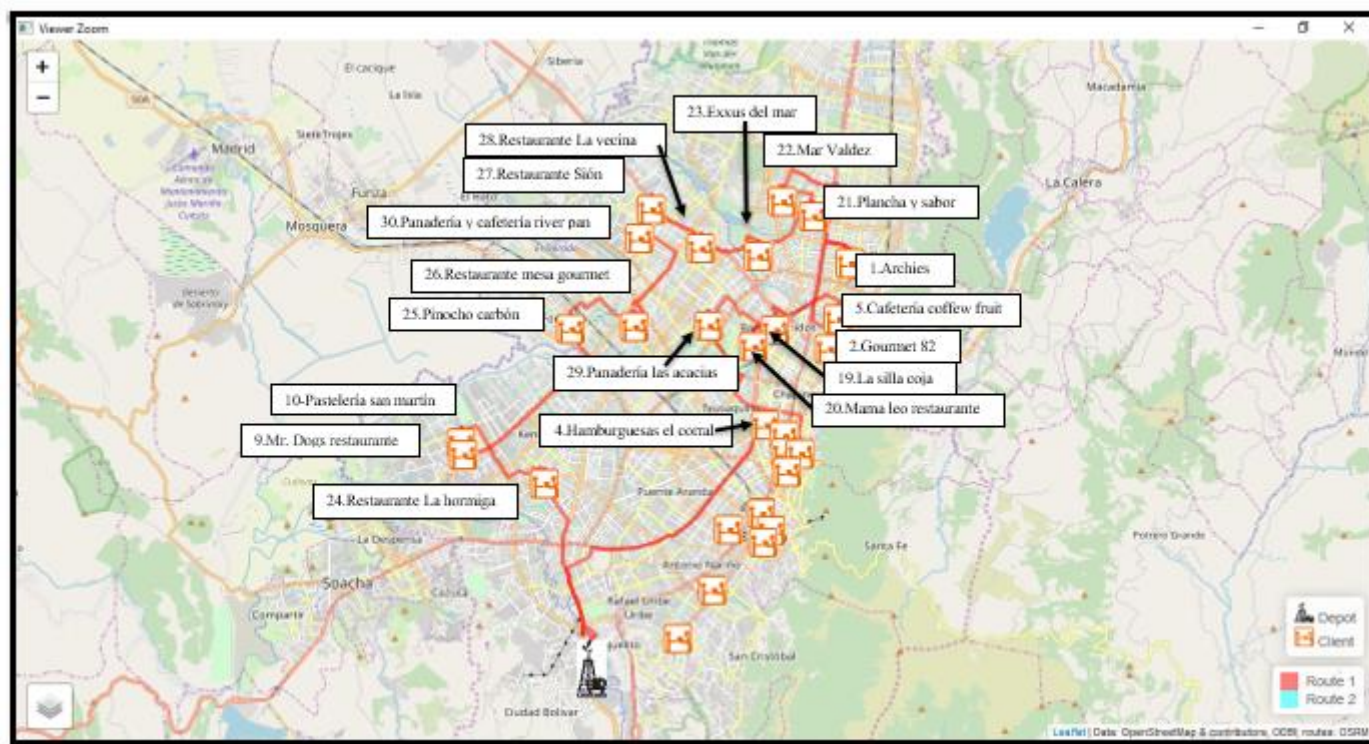


Figura 17. Ruta óptima 1 prueba mensual.

Según la Figura 18, se puede evidenciar que en la ruta optima 2 identificada con el color azul, se visitaron 18 puntos con lo que se obtuvo una demanda de 466 litros de aceite, en donde se recorrieron 47,29 Kilometros y se realizó en 165,22 minutos.

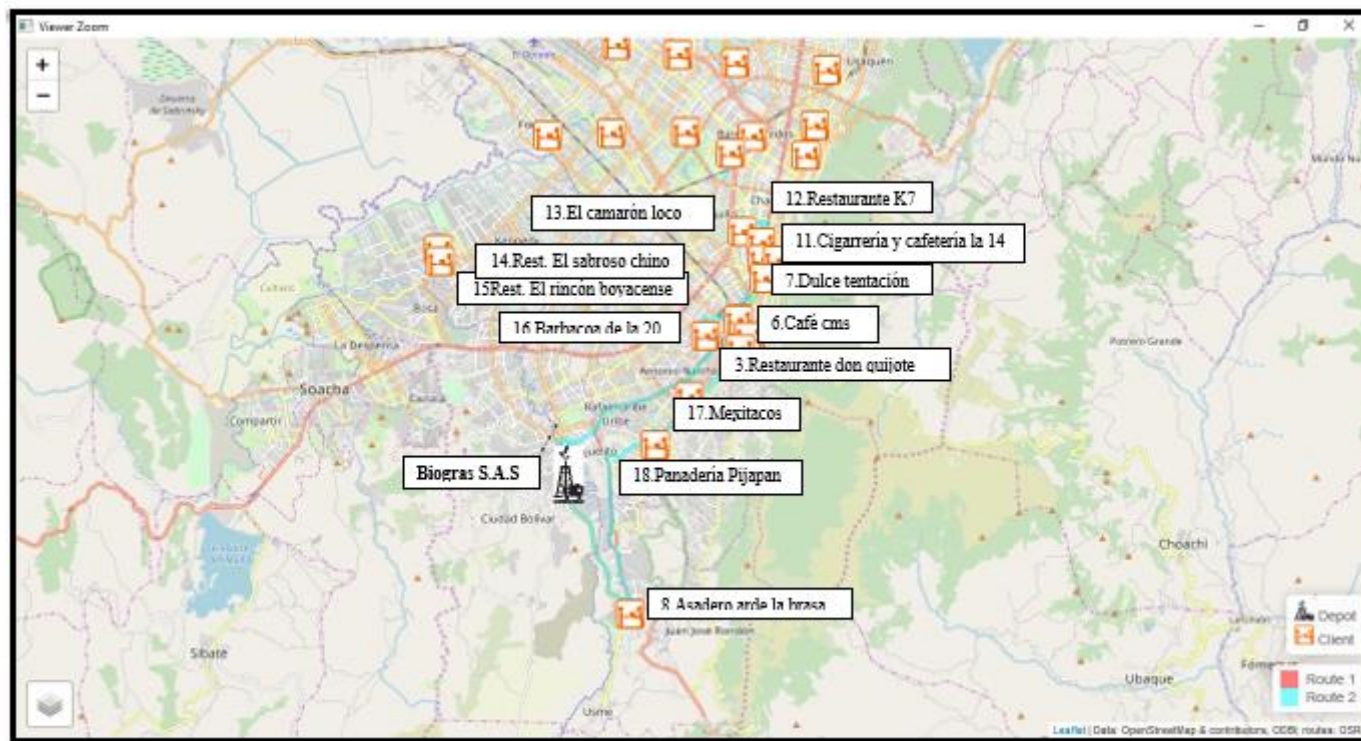


Figura 18. Ruta óptima 2 prueba mensual.

CAPÍTULO 5

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la información obtenida a partir de optimización realizada en este trabajo, se realizó el análisis de los resultados teniendo en cuenta que la función objetivo es minimizar los costos de recolección de la ruta de Aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá.

Inicialmente se realizó el análisis del tiempo de cada uno de las rutas y la duración total de acuerdo con la demanda obtenida de los 82 clientes.

4.1 Tiempo Total Recorrido

Tabla 22. Resumen tiempo total recorrido.

Frecuencia de Recolección	Ruta óptima	Demanda (Litros)	Tiempo de Ruta (min)	Tiempo de Recolección (min)	Tiempo Total (min)
Semanal	0-15-3-4-2-1-13-16-14-17-21-22-23-12-19-18-20-0	778	281,41	270	551,41
	0-10-5-8-7-11-6-9-0	483,5	165,22	145	310,22
Quincenal	0-6-4-19-3-5-1-2-20-21-22-26-29-27-18-17-0	777,5	246,28	265	511,28
	0-10-23-24-25-28-7-11-16-15-13-14-8-12-9-0	727	202,03	250	452,03
Mensual	0-4-29-20-19-5-2-1-22-21-23-28-27-30-26-25-9-10-24-0	794	281,41	330	611,41
	0-17-16-15-14-12-13-11-7-3-6-18-8-0	466	165,22	190	355,22
Total		4.026	848,12	910	2791,57

Fuente: Elaboración propia

Con la información obtenida en la Tabla 22 se identificó que para recolectar 4.026 litros de aceite se requieren 2.791,57 minutos lo que equivale aproximadamente a 47 horas y media. Para determinar este tiempo se tuvo en cuenta, el tiempo total que tarda un vehículo en recorrer todas las rutas

óptimas, más el tiempo identificado de acuerdo con la cantidad de aceite que se recolecto en cada punto. Esta información permitió concluir que Biogras podría realizar su programación semanal, teniendo en cuenta el número de datos que se utilizaron para la programación de este modelo, con estos datos podría realizar pronósticos de tiempo lo que le permitiría realizar la programación de las rutas en una semana y en un mes.

4.2 Costo Total Kilómetros Recorridos

Otro factor importante que se tuvo en cuenta fue el costo total por los 848,12 Kilómetros recorridos para obtener los 4.026 litros de aceite como se evidencia en la Tabla 23. Para obtener este costo, se utilizó el valor del kilómetro que se obtuvo en el capítulo 2 correspondiente a \$3468 con lo que fue posible calcular el costo total de \$ 1.460.687.

Tabla 23. Costo total kilómetros recorridos.

Frecuencia de Recolección	Ruta óptima	Demanda (Litros)	Distancia (Km)	Costo Km (\$)	Costo total Km (\$)
Semanal	0-15-3-4-2-1-13-16-14-17-21-22-23-12-19-18-20-0	778	102,56	\$ 3.468	\$ 355.678
	0-10-5-8-7-11-6-9-0	483,5	33,11	\$ 3.468	\$ 114.825
Quincenal	0-6-4-19-3-5-1-2-20-21-22-26-29-27-18-17-0	777,5	84,32	\$ 3.468	\$ 292.422
	0-10-23-24-25-28-7-11-16-15-13-14-8-12-9-0	727	63,23	\$ 3.468	\$ 219.282
Mensual	0-4-29-20-19-5-2-1-22-21-23-28-27-30-26-25-9-10-24-0	794	90,68	\$ 3.468	\$ 314.478
	0-17-16-15-14-12-13-11-7-3-6-18-8-0	466	47,29	\$ 3.468	\$ 164.002
Total		4026	848,12	\$ 3.468	\$ 1.460.687

Fuente: Elaboración propia

4.3 Costo Total por aceite recolectado

El costo total del aceite se calculó en la Tabla 24, de acuerdo a la información de la cantidad de aceite que produce cada punto y el valor del litro asignado por cada cliente, el cual se evidencia en el Anexo 2. Los valores correspondientes fueron calculados de acuerdo con la ruta generada en cada una de las frecuencias de recolección, con lo que se obtuvo un costo total de \$5.213.250 para obtener una demanda de 4026 litros.

Tabla 24. Costo total por litro de aceite recolectado

Frecuencia de Recolección	Ruta Optima	Demanda	Costo total de litros	Costo total por ruta
Semanal	0-15-3-4-2-1-13-16-14-17-21-22-23-12-19-18-20-0	778	\$ 1.065.500	\$ 1.527.250
	0-10-5-8-7-11-6-9-0	483,5	\$ 461.750	
Quincenal	0-6-4-19-3-5-1-2-20-21-22-26-29-27-18-17-0	777,5	\$ 1.154.125	\$ 1.998.625
	0-10-23-24-25-28-7-11-16-15-13-14-8-12-9-0	727	\$ 844.500	
Mensual	0-4-29-20-19-5-2-1-22-21-23-28-27-30-26-25-9-10-24-0	794	\$ 1.067.125	\$ 1.687.375
	0-17-16-15-14-12-13-11-7-3-6-18-8-0	466	\$ 620.250	
Total		4026	\$ 5.213.250	\$ 5.213.250

Fuente: Elaboración propia

El costo de recolección de aceite es el costo más significativo para el modelo, este costo esta dado por los puntos de recolección que se establecieron entre ellos restaurantes, cafeterías y puntos de comidas rápidas. El valor promedio de venta de aceite por los puntos utilizados en el modelo fue de \$.1235 con lo que además se determinó que el 100 % de estos puntos prefieren vender el aceite.

4.4 Costos Ruta de Recolección Bogotá

De acuerdo con la descripción de todos los factores que se tuvieron en cuenta en la programación del modelo, se obtuvo un costo total por un valor de \$6.673.937 como se observa en la Tabla 25, el valor se obtuvo de la programación de los 82 puntos ubicados geográficamente en las 19 localidades de la ciudad de Bogotá, recolectando 4.026 litros de aceite, recorriendo 8.848,12 Kilómetros en un tiempo de 279,57 minutos.

Tabla 25. Costos totales ruta óptima de recolección.

Grupos de Recolección	No. De puntos recolectados	Demanda total	Km Totales	Tiempo Total	Costo total
Semanal	23	1261,5	135,67	861,63	\$ 1.997.754
Quincenal	29	1504,5	147,55	963,31	\$ 2.510.328
Mensual	30	1260	137,97	966,63	\$ 2.165.855
Total	82	4026	848,12	2791,57	\$ 6.673.937

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado obtenido en la tabla 25, se logró identificar el costo total que se requiere para recolectar 4026 litros de aceite. Teniendo este dato fue posible calcular el costo óptimo de recolección de aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá, el cual se puede evidenciar en la Tabla 26.

Tabla 26. Costo óptimo.

Costo Total	Litros de aceite recolectados	Costo óptimo
\$ 6.673.937	4026	\$ 1.658

Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido en la Tabla 26 se obtuvo de los costos obtenidos de la relación del costo de recolección del aceite vegetal usado en los 82 puntos utilizados más el costo de los kilómetros recorridos para su recolección, dividiendo el resultado obtenido por la cantidad de litros que se recolectaron de acuerdo a los tres grupos de recolección que se conformaron, se obtuvo un costo de \$1658 como valor óptimo para la recolección.

Según (Araujo et al., 2010) el valor promedio de obtener el aceite en Rio de Janeiro es de \$814 y el valor por transportarlo es de \$407 con lo que determina un valor óptimo de \$1221 por la recolección de aceite vegetal usado hasta la planta de tratamiento, con lo que se puede determinar que el valor óptimo que se obtuvo en la presente investigación se encuentra acorde con el proceso de recolección realizado por Araujo y es un costo rentable para las empresas gestoras encargadas de realizar el proceso de recolección en la ciudad de Bogotá. Por otro lado, en estudio realizado en Cali por (Benavides & Lozano Moreno, 2018) se reporta un valor de \$966,83 en donde se recolectaron 52,09 galones en 12 puntos realizándolo en 2 días de la semana, de lo cual se puede deducir que al ser menos puntos y contando con una jornada laboral más amplia se aumenta el número de litros recolectados, así mismo se tiene en cuenta que la capacidad de los vehículos es mayor a la utilizada en la presente investigación.

Tabla 27. Comparación de precios con el aceite de palma crudo.

Periodo	Aceite de palma crudo	Aceite Vegetal usado
Primer semestre 2018	\$ 1.994	\$ 1.658
Segundo semestre 2018	\$ 1.913	
Primer semestre 2019	\$ 1.755	

Fuente:(Fedepalma, 2018)

Realizando una comparación del costo obtenido por el modelo propuesto y el costo del aceite de palma crudo como se puede ver en la Tabla 27, se puede indicar que el costo del modelo propuesto es menor al costo del aceite de

palma en el último año, por lo que se considera que este valor es rentable para las empresas gestoras que tienen el aceite como materia prima para la producción de Biodiesel(Benavides & Lozano Moreno, 2018).

De acuerdo con los resultados obtenidos en este capítulo, se puede concluir que el modelo propuesto permitió realizar la programación para la recolección de aceite vegetal usado en 82 puntos ubicados geográficamente en las 19 localidades de Bogotá, en donde se realizó la creación de tres grupos de recolección teniendo en cuenta la frecuencia. A partir de los grupos creados se utilizaron varios parámetros para encontrar los datos más importantes obtenidos de la ejecución de cada una de las rutas. Con lo que se encontraron datos promedios que resultaron de la programación del modelo propuesto, con lo que se permite tener un acercamiento a la realidad para la programación de los 17008 puntos identificados como generadores de aceite vegetal en la ciudad de Bogotá.

Es por ello por lo que según la Tabla 28 se resume la información de las rutas obtenidas del modelo propuesto, con lo que se puede determinar que el incremento del número de vehículos utilizados para la recolección permitirá el incremento de los litros que se quieran obtener, así como el aumento en el número de clientes que se quieran visitar por ruta.

Tabla 28. Resultados finales programación modelo propuesto.

Parámetros utilizados	Grupo Semanal	Grupo Quincenal	Grupo Mensual	Resultados promedio
Capacidad vehículo	800 Ltrs	800 Ltrs	800 Ltrs	800 Ltrs
No. De Vehículos	2	2	2	2
Litros obtenidos	1261,5	1504,5	1260	1342
Costo litros obtenidos	\$ 1.527.250	\$ 1.998.625	\$ 1.687.375	\$ 1.737.750
Kilómetros recorridos	135,67	147,55	137,97	140,3966667
Costo Km recorridos	\$ 470.503	\$ 511.704	\$ 478.480	\$ 486.896
Número de rutas	27	33	34	31
Número de clientes	23	29	30	27
Tiempo total de recolección(min)	861,63	963,31	966,63	930,52

Tiempo total de recolección(hr)	14,36	16,06	16,11	15,51
Costo total de ruta	\$ 1.997.754	\$ 2.510.328	\$ 2.165.855	\$ 2.224.646

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

- Para llevar a cabo la formulación del modelo matemático se logró identificar las variables más importantes que se encuentran asociadas en la ruta de recolección, entre ellas se encontraron: Punto de origen, puntos de recolección, vehículos, distancia, cantidad de vehículos, demanda, costo por litro, costo por Kilómetro, capacidad del vehículo, de los contenedores y del punto de origen, tiempo promedio de recolección, tiempo de horas de trabajo y tiempo de frecuencia de recolección.
- De acuerdo con la revisión de la literatura y la selección de métodos y técnicas de optimización, se desarrolló un modelo matemático para minimizar los costos operacionales de la ruta de recolección de aceite vegetal usado en la ciudad de Bogotá.
- Se realizó la optimización del modelo matemático planteado gracias al uso de la aplicación VRP Solver, la cual a partir del uso de dos metaheurísticas para la solución. En una de las metaheurísticas se emplea el método constructivo, con el algoritmo del ahorro y la otra una metaheurística de dos fases, utilizando el algoritmo de ramificación y acotamiento. Se encontró que el costo óptimo fue de \$1.658 por litro de aceite vegetal usado recolectado y transportado hasta la planta de Biogras en la ciudad de Bogotá.
- La aplicación utilizada para la programación del modelo matemático propuesto, basada en la técnica VRP, arrojó resultados significativos con lo cual se obtuvo la información de las rutas estratégicas y se determinaron factores importantes como la demanda recolectada,

kilómetros recorridos y tiempo utilizado, en la ejecución de cada una de las rutas.

7. BIBLIOGRAFIA

- Adarme, W., Fontilla, C., & Arango, M. D. (2011). Modelos logísticos para la optimización del transporte de racimos de fruto de palma de aceite en Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21, 89–114. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.03.007>
- Agüero, S. D., García, J. T., & Catalán, J. S. (2015). Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 11–19. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8874>
- Albukrek, F., & Allaire, J. (2019). R Studio. Retrieved from <https://www.rstudio.com/about/>
- Alcaldía de Bogotá. (2003). Resolución 1188 de 2003. Retrieved from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9846>
- Araujo, V. K. W. S., Hamacher, S., & Scavarda, L. F. (2010). Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. *Bioresource Technology*, 101(12), 4415–4422. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.101>
- Benavides, A. N., & Lozano Moreno, J. A. (2018). Waste cooking oil logistics and environmental assessment for biodiesel production in Cali. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (88), 9–15. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n88a02>
- Bermeo Muñoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y La Máquina*, 32(enero-junio), 52–67.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., & Strauss, C. (1999). *Applying the ant system to the vehicle routing problem. the vehicle routing problem*. University of Vienna, Vienna, Austria.
- Camac Gutierrez, J. D. (1994). Programación Dinámica Dual Determinística En El Despacho Hidrotermico.
- Casallas, I. D. (2017). *Estudio de prefactibilidad técnico económica para la instalación de una planta procesadora de aceite usado de cocina obtenido en la ciudad de Bogotá Colombia*. Universidad Santo Thomas.
- Castillo, E., Conejo, A. J., & Pedregal, P. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación matemática en Ingeniería y Ciencia*.
- Castillo Patarroyo, L. C. (2012). *Diseño de sistema logístico de transporte para la recolección de materiales reciclados en la localidad de engativá con la empresa compapeles milenium*. *Digital Times*. Retrieved from http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2012071302010531749001
- Castro, G. V. F. de, Castro, G. V. F. de, & Saldarriaga, J. G. (2005). Algoritmos de Optimización Combinatoria (AOC) aplicados al diseño de redes de distribución de agua potable. *Revista de Ingeniería*, 0(22), 116–123. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i22.393>
- Chediak Pinzón, F. A. (2013). *Investigación de operaciones* (Universida). Ibagué, Colombia.



- Chica, M., & Cord, O. (2009). Heurísticas constructivas multiobjetivo para el problema de equilibrado de líneas de montaje considerando tiempo y espacio, (1), 649–656.
- Daza, M., Montoya, J., & Narducci, F. (2009). Resolución Del Problema De Enrutamiento De Vehículos Con Limitaciones De Capacidad Utilizando Un Procedimiento Metaheurístico De Dos Fases. *Revista EIA*, 23–38. <https://doi.org/1794-1237>
- Delgado Hidalgo, L., Hernán, H., & Díaz, T. (2010). Aplicación de un modelo de programación lineal en la optimización de un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP) de dos escalones con restricciones de capacidad. *Ingeniería e Investigación*, 30(1), 168–173. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a29.pdf>
- El-Sherbeny, N. A. (2010). Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University - Science*, 22(3), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.03.002>
- Fedepalma. (2018). Federación Nacional de Biocombustibles en Colombia. Retrieved from <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-2994.htm>
- Feitó Cespón, M., Cespón Castro, R., & Rubio Rodríguez, M. A. (2016). Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24(1), 135–148. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000100013>
- Fernando-navas, D., & Echeverry-ibarra, D. F. (2012). Evaluación del uso de un aceite vegetal en transformadores de distribución, 20, 185–190. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052012000200005>
- General Motors Colmotores. (2018). Chevrolet, Van de carga N300. Retrieved from <https://www.chevrolet.com.co/vanes/n300-van-de-carga>
- Gonzalez Alzate, L. J., & Gonzalez Reyes, M. (2013). *Planeación, programación de rutas y gestión de inventarios para la comercializadora jg artipan eu*. Universidad Libre.
- González, I., & González, J. A. (2015). Aceites usados de cocina. problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. *Aguasresiduales.Info*, 1–8. Retrieved from <http://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/problematika-ambiental-incidencias-en-redes-de-saneamiento-y-coste-del-tratamiento-en-depuradoras-de-los-aceites-usados-en-cocina>
- Guevara Parada, J. A., & Vargas Saavedra, A. M. (2014). *Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios para la empresa edepsa s.a.s*. Universidad Industrial de Santander.
- Hernandez Ortiz, A. (2016). *Diseño de un sistema de ruteo de vehiculos con multiples depositos en Empresas de transporte de cargas*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (9th ed.). Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2014). *Fundamentos de Investigación de Operaciones* (McGraw-Hill). Mexico.
- Laporte, G., Toth, P., & Vigo, D. (2013). Vehicle routing: historical perspective and recent contributions. *EURO Journal on Transportation and Logistics*,

- 2(1–2), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s13676-013-0020-6>
- León, P., & Gallardo, P. (2015). Vehicle Routing Problem Solver. Retrieved from https://transporte-iner.shinyapps.io/cvrp_solver/
- López, L., Bocanegra, J., Malagón-romero, D., López, L., Bocanegra, J., & Malagón-romero, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 155–172. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq>
- Mediorreal, A. (2014). *Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios Callbest y Cosméticos Marliou Paris*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Medr, S., & Santana, A. E. (2017). Resolución heurística de un problema de rutado con aplicaciones para el comercio electrónico.
- Mejía, C. A. Z. (2009). Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: Sistemas de caja fija (SCF). *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 119–126.
- Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018a). Ministerio de Ambiente reglamenta disposición de aceites de cocina usados en el país. Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3673-ministerio-de-ambiente-reglamenta-disposicion-de-aceites-de-cocina-usados-en-el-pais>
- Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 316 de 2018-.pdf (2018).
- Ministerio de Transporte. (2015). Sistema de Información de Costos Eficientes para el transporte de carga. Retrieved from <http://sictac.mintransporte.gov.co:8080/sictacWeb/#!/auth/login>
- Muñoz Ciro, E., Montoya Escobar, D., & Muñoz Rivera, A. (2017). *Planteamiento y solución de la problemática de los aceites usados en Colombia*. Colombia. https://doi.org/https://issuu.com/fundacionconvida/docs/informe_aceites_usados_en_colombia_
- Murcia Ordoñez, B., Chaves, L. C., & Rodríguez-pérez, W. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 61–70. <https://doi.org/1078-0432.CCR-12-0452> [pii]r10.1158/1078-0432.CCR-12-0452
- Ocaña, R., & Ramirez, C. (2012). *Diseño de un Modelo matemático para resolver problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo, con la aplicación del algoritmo de Clarke & Wright. Caso de estudio: Empresa de servicios de courier de la ciudad de Guayaquil*. Escuela Superior Politecnica de Litoral.
- Olivera, A. (2004). *Heurísticas para el Problema de Ruteo -2004*. Universidad de la Republica Uruguay.
- Pastor, J. M. (2013). Optimización de la localización y recogida de residuos sólidos urbanos.
- Preciado, A. (2017). Evaluación del Aceite Reciclado de Cocina para su Reutilización.
- Producciones generales S.A. (1968). Progen. Retrieved from <https://www.progen.com.co/envasesplasticos>
- Ramos, A. (1993). Investigación Operativa y Optimización. *Universidad Pontificia Comillas Madrid*. Madrid. Retrieved from https://www.iit.comillas.edu/aramos/simio/transpa/t_mod1_ar.pdf

- Restrepo, J. E. (2012). El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano *, 7(1), 109–122.
- Reyes, R. (2005). Diseño del Programa de recolección de desechos sólidos domiciliarios para el Municipio de Atizapán de Zaragoza como aplicación del problema del Agente Viajero. *Tesis de Maestría, Mexico*.
- Rivera Cubides, L. (2016). Modelo matematico exacto del problema de ruteo de vehículos eléctricos considerando entrega y recogida de mercancía.
- Rocha, L., Gonzalez, E., & Orjueña, J. (2011). Una Revisión del estado del arte del problema de Ruteo de vehiculos: Evolución historica y metodos de solución. *Seventh International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation*, 8321(2), 83213U.
<https://doi.org/10.1117/12.905506>
- Sanchez Garcia, M. (2005). *Optimización Combinatoria*. Sociedad Canaria de Profesores de Matematicas.
- Sanchez, P., Ferrer, J. M., Barquin, J., Linares, P., & Ramos, A. (2010). *Modelos Matematicos de Optimización*. Universidad Pontificia ICAI.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., & Matheus, R. (1998). Transesterification of Vegetable Oils : a Review General Aspects of Transesterification Transesterification of Vegetable Oils Acid-Catalyzed Processes Base-Catalyzed Processes. *J. Braz. Chem. Soc.*, 9(1), 199–210.
<https://doi.org/10.1590/S0103-50531998000300002>
- Shamblin, J. (1982). *Investigación de Operaciones Un enfoque Fundamental*. (M.-H. de M. C.V, Ed.) (Operations). Mexico.
- Toro, E. M., Escobar, A. H., & Granada, M. (2015). Literature Review on the Vehicle Routing Problem in the Green Transportation Context. *Luna Azul*, (42), 362–387. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.21>
- Toth, P., & Vigo, D. (2000). The Vehicle routing problem. In H. Peter, RUTCOR, & Rutgers (Eds.), *The Vehicle routing problem* (Society fo). Bologna, Italy: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Ulloa Murcia, J. M. (2015). *Estado del arte de los modelos de optimización en la logistica urbana de mercancías*. *Journal of Visual Languages & Computing*. Universidad Industrial de Santander.
- Valenzuela, A., & Morgado, N. (2005). Las Grasas Y Aceites En La Nutricion Humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 32(2), 187.
<https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.00657.x>
- William, Jayawickreme, E., Jones, A. B. A. P., Brown, N. A., Serfass, D. G., Sherman, R. A., ... Matyjek-, M. (2017). *Evaluación de diferentes estrategias de recolección de aceite usado de cocina para producir biodiesel en la ciudad de Cali*. *Journal of Personality and Social*.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02280.x>

ANEXOS

ANEXO 1. ENCUESTA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

No Formulario													
													
ENCUESTA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE COCINA USADO EN BOGOTÁ													
<small>LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN TODOS LOS FORMULARIOS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, YA SEA EN PAPEL O POR MEDIO MAGNÉTICO, SE TRATARÁ DE MANERA CONFIDENCIAL Y SE UTILIZARÁ EXCLUSIVAMENTE CON FINES ESTADÍSTICOS, ACADÉMICOS Y CIENTÍFICOS</small>													
Buenos días/tardes, mi nombre es _____, soy estudiante de la universidad Santo Tomás. Estamos realizando una práctica académica sobre PRODUCCIÓN DE ACEITE DE COCINA USADO EN BOGOTÁ. Por favor permítame preguntarle:													
INFORMACIÓN RESTAURANTE													
NOMBRE DEL RESTAURANTE	<input style="width: 100%;" type="text"/>												
NOMBRE DEL ENTREVISTADO	<input style="width: 100%;" type="text"/>												
DIRECCIÓN DEL RESTAURANTE	<input style="width: 100%;" type="text"/>												
TELÉFONO	<input style="width: 100%;" type="text"/>												
TIPO DE RESTAURANTE	<input type="checkbox"/> 1.CR <input type="checkbox"/> 2.Caf <input type="checkbox"/> 3.Rest												
PREGUNTAS													
1. ¿Cuántos litros de aceite usado genera al mes? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>1-30 litros</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>31-50 litros</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td>51-70 litros</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td>71-90 litros</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td>91-100 litros</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td>101-150 litros</td></tr> </table>	1	1-30 litros	2	31-50 litros	3	51-70 litros	4	71-90 litros	5	91-100 litros	6	101-150 litros	5. Valor por litro \$ <input style="width: 80%;" type="text"/>
1	1-30 litros												
2	31-50 litros												
3	51-70 litros												
4	71-90 litros												
5	91-100 litros												
6	101-150 litros												
2. ¿Realizan la separación de los residuos del aceite en su establecimiento? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>Si</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>No</td></tr> </table>	1	Si	2	No	6. ¿La entidad recolectora le expide un certificado de uso final del aceite? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>Si</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>No</td></tr> </table>	1	Si	2	No				
1	Si												
2	No												
1	Si												
2	No												
3. ¿Qué hace con el aceite después de usalo en la cocina? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>Verterlo por el lavaplatos</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>Arrojalo a la basura con otros residuos</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td>Reenvarsalo y llevarlo a un lugar de acopio</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td>Reenvarsalo y venderlo a quien lo recoja</td></tr> </table>	1	Verterlo por el lavaplatos	2	Arrojalo a la basura con otros residuos	3	Reenvarsalo y llevarlo a un lugar de acopio	4	Reenvarsalo y venderlo a quien lo recoja	7. ¿Cada cuánto la empresa realiza la recolección del aceite? <input style="width: 80%;" type="text"/>				
1	Verterlo por el lavaplatos												
2	Arrojalo a la basura con otros residuos												
3	Reenvarsalo y llevarlo a un lugar de acopio												
4	Reenvarsalo y venderlo a quien lo recoja												
4. Nombre de la empresa que lo recoge <input style="width: 80%;" type="text"/>	8. ¿Tiene conocimiento sobre los productos que se pueden obtener a partir de aceite de cocina usado? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>Si</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>No</td></tr> </table>	1	Si	2	No								
1	Si												
2	No												
	9. Permitiría que se llevara a cabo la Recolección del aceite de cocina usado, con fines de reciclaje en su establecimiento? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td>Si</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>No</td></tr> </table>	1	Si	2	No								
1	Si												
2	No												

Anexo 1. Encuesta utilizada en el estudio de prefactibilidad.

Fuente:(Casallas, 2017)

ANEXO 2. BASE DE DATOS PUNTOS GENERADORES PARA PROGRAMACIÓN MODELO PROPUESTO

No .	Puntos de Recolección	Localidad	Dirección	Latitud	Longitud	Litros de aceite	capacidad de los contenedores	Costo por cada litro de aceite	Tiempo promedio de recolección(min)	Tiempo de frecuencia para realizar la recolección
0	Biogras S.A.S	Tunjuelito	Crr. 18 A Bis # 58 - 78 Sur	4,5623	- 74,1355					
1	Archies	Usaquen	Cll 116 # 17-13	4,6973	- 74,0463	16	30 litros	\$ 2.750	15	30 días
2	Burger King	Usaquen	Cll 140 #10 A	4,7184	- 74,0340	61	70 litros	\$ 1.250	15	7 días
3	Delicias Gourmet	Usaquen	Cra 19 # 166-51	4,7464	- 74,0418	41	50 litros	\$ 1.250	15	15 días
4	Sepúlveda Bar-Restaurante	Usaquen	Cll 117 # 5a-13	4,6938	- 74,0307	16	30 litros	\$ 500	15	7 días
5	Burguesa	Usaquen	Cll 140 #15a-38	4,7224	- 74,0434	81	90 litros	\$ 1.250	25	15 días
6	Gourmet 82	Chapinero	Cll 82 # 12 37	4,6678	- 74,0533	96	120 litros	\$ 500	25	20 días
7	Restaurante Don quijote	Chapinero	Cra. 9 #12-94	4,6011	- 74,0760	16	30 litros	\$ 750	15	20 días
8	Hamburguesas el Corral	Chapinero	Cra 6 #45-22	4,6315	- 74,0634	61	70 litros	\$ 2.750	15	30 días

9	Provocaciones	Chapinero	AC 85 # 19A-42	4,671 6	- 74,0581	41	50 litros	\$ 750	15	15 días
10	Pizza Gourmet	Chapinero	Cra11#71-36/40	4,656 8	- 74,0589	61	50 litros	\$ 750	15	10 días
11	Pizza pizza castellana	Chapinero	Cll 100 # 31-05	4,683 8	- 74,0461	41	50 litros	\$ 750	15	10 días
12	Dunkin Donats	Chapinero	Cra. 19a #77- 62	4,665 2	- 74,0600	16	30 litros	\$ 1.250	15	7 días
13	Cafetería Coffe fruit	Chapinero	Cll . 93b #16-89	4,678 0	- 74,0502	16	30 litros	\$ 2.250	15	30 días
14	Pan pa ya	Chapinero	Cll 97 #23-60	4,685 0	- 74,0571	16	30 litros	\$ 1.250	15	7 días
15	La divina comedia pizzería	Chapinero	Cll 71 # 5-75	4,653 6	- 74,0549	41	50 litros	\$ 750	15	15 días
16	Sabrosito	Santafe	Cra 7 # 22 - 85	4,608 9	- 74,0706	126	150 litros	\$ 1.250	25	7 días
17	Restaurante Tasca Madrid	Santafe	Cra. 13 #12-23	4,612 0	- 74,0716	61	70 litros	\$ 750	15	15 días
18	Café cms	Santafe	Cll. 18 # 8 33	4,605 1	- 74,0731	16	30 litros	\$ 750	15	30 días
19	Dulce tentación	Santafe	Cll. 37 # 13 26	4,625 2	- 74,0679	16	30 litros	\$ 1.250	15	20 días
20	El caporal	San Cristóbal	Cll 26 # 6 30 sur	4,594 3	- 74,1155	96	120 litros	\$ 750	25	15 días
21	Manantial del sabor	San Cristóbal	Cra 5 a # 35 07	4,564 3	- 74,0996	41	50 litros	\$ 750	15	15 días

22	Asadero Arde La Brasa	Usme	Ak. 1 #80 Sur-10	4,509 7	- 74,1141	81	90 litros	\$ 750	25	20 días
23	La Danza Del Chivo	Tunjuelito	Cra. 25 #53 Sur	4,578 2	- 74,1375	61	70 litros	\$ 750	15	15 días
24	Dely Frito	Tunjuelito	Diag 53 # 49 A 20	4,586 0	- 74,1465	81	90 litros	\$ 2.250	25	7 días
25	Mr. Dogs restaurante	Bosa	Cll 49S # 88c- 25	4,631 2	- 74,1798	81	90 litros	\$ 1.250	25	30 días
26	Pastelería San Martin	Bosa	Cll 49S # 90 A - 09	4,635 4	- 74,1805	16	30 litros	\$ 2.750	15	30 días
27	Cigarrería y cafetería la 14	Teusaquillo	Cll 44 # 14-46	4,631 9	- 74,0685	41	50 litros	\$ 750	15	30 días
28	Restaurante K7	Teusaquillo	Cra.16A # 49-70	4,637 5	- 74,0689	61	70 litros	\$ 2.250	15	30 días
29	El camarón loco	Teusaquillo	Cll 52A # 25-65	4,641 4	- 74,0752	61	70 litros	\$ 2.750	15	30 días
30	Restaurante Sabroso Chino	Mártires	Cll. 22 #15-23, Bogotá	4,611 3	- 74,0762	41	50 litros	\$ 750	15	30 días
31	Restaurante El Rincón Boyacense	Mártires	Cra. 16 #20-46	4,610 9	- 74,0767	41	50 litros	\$ 750	15	30 días
32	Barbacoa De La 20	Mártires	Cra. 20 #10-15,	4,605 7	- 74,0880	41	50 litros	\$ 750	15	20 días
33	Mexitacos	Antonio Nariño	Cra 12B # 11-04 Sur	4,584 5	- 74,0935	16	30 litros	\$ 2.750	15	30 días
34	Mis carnitas	Antonio Nariño	Clle 18 #22-75sur	4,585 1	- 74,1010	81	90 litros	\$ 2.250	25	7 días

35	El Imperio Del Pacifico	Antonio Nariño	Cll 21S #18-28, Bogotá	4,583 2	- 74,1035	41	50 litros	\$ 750	15	7 días
36	Panadería Zulima	Ciudad Bolívar	Cra. 19 #64 Sur-57	4,558 3	- 74,1448	16	30 litros	\$ 500	15	5 días
37	Bonaparte restaurante	Candelaria	Cra. 8 #11-59	4,599 0	- 74,0762	16	30 litros	\$ 500	15	15 días
38	Tamales Buenos	Rafael Uribe	Cll 28a sur # 15 - 19	4,577 1	- 74,1083	81	90 litros	\$ 500	25	7 días
39	Panadería Duquesa	Rafael Uribe	Av calle 22 sur # 20 - 53	4,584 0	- 74,1050	41	50 litros	\$ 1.250	15	15 días
40	Panadería Pijapan	Rafael Uribe	Cra 11b # 36 sur - 13	4,567 8	- 74,1056	41	50 litros	\$ 1.250	15	30 días
41	Humo Carbón y sabor	Puente Aranda	Cll. 3b #41-01, Bogotá	4,613 7	- 74,1117	41	50 litros	\$ 1.750	15	10 días
42	El rey brasero	Puente Aranda	Cra. 52a #29 - 16	4,605 3	- 74,1275	41	50 litros	\$ 2.750	15	15 días
43	Abierto Amigo Chino Ciudad Montes	Puente Aranda	Cra. 36 #0-21	4,602 9	- 74,1112	61	70 litros	\$ 750	15	7 días
44	Restaurante La Piedra De Oreb	Puente Aranda	Cra. 66 #12-45	4,634 9	- 74,1179	41	50 litros	\$ 750	15	7 días
45	Pare aquí cafetería	Puente Aranda	Cll. 1h #36-35	4,606 0	- 74,1092	16	30 litros	\$ 1.250	15	15 días
46	Panadería La Bogotanita	Puente Aranda	Cll. 1f #32-13	4,602 5	- 74,1061	16	30 litros	\$ 1.250	15	10 días

47	Torti pava	Puente Aranda	Cra. 31c N5-04	4,607 0	- 74,1014	16	30 litros	\$ 500	15	10 días
48	La Silla Coja	Barrios Unidos	Cll. 79 #53-39	4,674 3	- 74,0719	16	30 litros	\$ 1.250	15	20 días
49	David Broaster	Barrios Unidos	Cra. 64 #77-02	4,678 2	- 74,0798	41	50 litros	\$ 1.250	15	15 días
50	Broaster Y Delicias	Barrios Unidos	Cll. 74 #20A-68	4,662 6	- 74,0626	16	30 litros	\$ 1.750	15	10 días
51	Mama Leo Restaurante	Barrios Unidos	Cra. 57 #70-12	4,668 6	- 74,0795	16	30 litros	\$ 1.250	15	20 días
52	Restaurante Kassata	Suba	Cra. 53 #134d 75	4,722 4	- 74,0576	126	150 litros	\$ 1.250	25	15 días
53	Alondra	Suba	Cra 127 # 24-63	4,735 3	- 74,0854	61	70 litros	\$ 750	15	5 días
54	Maxi tacos y broaster	Suba	Cra. 110b #136a-10	4,741 6	- 74,1027	126	150 litros	\$ 2.750	25	5 días
55	Plancha y sabor	Suba	Cra 52 # 128-12	4,713 2	- 74,0590	41	50 litros	\$ 750	15	30 días
56	La fogata roja	Suba	Trans. 91 # 136 -60	4,735 2	- 74,0853	41	50 litros	\$ 750	15	15 días
57	Chopinar	Suba	Autopista Nte. #125-97	4,706 3	- 74,0546	96	120 litros	\$ 2.250	25	7 días
58	CyS Cocina Colombiana	Suba	Cra 104 # 148-07	4,748 6	- 74,0954	16	30 litros	\$ 500	15	15 días
59	PPC	Suba	Cra 104 # 148-07	4,748 6	- 74,0954	41	50 litros	\$ 500	15	7 días
60	Mar Valdez	Suba	Cll. 129 #58-37, Bogotá	4,718 5	- 74,0696	41	50 litros	\$ 500	15	30 días

61	Restaurante Exxus de Mar	Suba	Cll. 116 #71-39	4,699 5	- 74,0776	16	30 litros	\$ 500	15	30 días
62	Lunch Express	Kennedy	Cll 6 Bis # 79-13	4,633 7	- 74,1501	61	70 litros	\$ 750	15	7 días
63	Parador doña Olga	Kennedy	Cra 72 bis # 6-04	4,622 6	- 74,1439	16	30 litros	\$ 750	15	5 días
64	Kapry broaster	Kennedy	Cll 57B#71D-70	4,599 8	- 74,1642	81	90 litros	\$ 1.250	25	15 días
65	Comidas rápidas taty	Kennedy	Cll 5a 87a-14	4,639 9	- 74,1605	61	70 litros	\$ 500	15	15 días
66	Hot y french pizza	Kennedy	Dg. 5a # 73B-27, Bogotá	4,627 0	- 74,1425	41	50 litros	\$ 750	15	7 días
67	Restaurante Don Jorge	Kennedy	Calle 43 Sur # 78n-10, Bogotá	4,617 7	- 74,1638	96	120 litros	\$ 750	25	5 días
68	Restaurante la Hormiga	Kennedy	Carrera. 78b #38-39 Sur	4,621 3	- 74,1517	16	30 litros	\$ 500	15	30 días
69	Arepas de Sofy	Fontibón	Cll 23D # 104-25	4,683 0	- 74,1398	81	90 litros	\$ 750	25	15 días
70	Pinocho Carbón	Fontibón	Cll 20 # 99-20	4,674 8	- 74,1427	16	30 litros	\$ 750	15	30 días
71	Empanadas Tolimax	Fontibón	Cra 97 # 23S-174	4,679 8	- 74,1328	41	50 litros	\$ 750	15	7 días
72	El Fogón latino	Fontibón	Cra 100#24c-08	4,682 3	- 74,1330	16	30 litros	\$ 1.750	15	5 días
73	Restaurante Mesa Gourmet	Fontibón	Cll. 25g #85c-19, Bogotá	4,675 5	- 74,1205	16	30 litros	\$ 750	15	30 días

74	Restaurante sazón y sabor	Engativá	Cll. 77 #112-33,	4,716 2	- 74,1236	81	90 litros	\$ 2.750	25	10 días
75	Restaurante Sion	Engativá	Cra. 106 #80A-78	4,715 7	- 74,1149	81	90 litros	\$ 1.250	25	30 días
76	Restaurante lucho gourmet San Tijuana	Engativá	Cra. 73 #76-99	4,693 8	- 74,0923	126	150 litros	\$ 2.750	25	15 días
77	Restaurante la vecina	Engativá	Cra. 82a #80-98,	4,702 2	- 74,0975	81	90 litros	\$ 1.250	25	20 días
78	Panadería las acacias	Engativá	Cra. 69h #65-2	4,675 6	- 74,0948	81	90 litros	\$ 500	25	30 días
79	Panadería la 66	Engativá	Cra. 69p #64-99	4,674 0	- 74,0980	81	90 litros	\$ 2.250	25	15 días
80	Panadería y cafetería river pan	Engativá	Ac 72 #103 A - 39	4,705 8	- 74,1189	96	120 litros	\$ 2.750	25	20 días
81	Brown restaurante	Engativá	Cll. 51 #71-07	4,667 8	- 74,1072	41	50 litros	\$ 1.750	15	7 días
82	Sanfermin	Engativá	Cll. 70a #87A-96	4,694 9	- 74,1092	16	30 litros	\$ 1.250	15	10 días

Anexo 2.Datos programación modelo propuesto.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3. MATRIZ DE DISTANCIA CLIENTES PROGRAMACIÓN

The image shows an Excel spreadsheet with the following characteristics:

- Title Bar:** 'matriz distancia 82 datos - Excel' and 'ANGIE Bernal Carvajal AB'.
- Menu Bar:** Archivo, Inicio, Insertar, Disposición de página, Fórmulas, Datos, Revisar, Vista, Programador, Ayuda, Buscar, Compartir.
- Formula Bar:** Shows 'AS27' and '10,6316'.
- Grid:** Columns A to BN, Rows 1 to 39. Contains numerical data.
- Sheet Tab:** 'Hoja1'.
- Status Bar:** 'Listo' and '87%' zoom level.

Anexo 3 Matriz de Distancia clientes a programar.

