

Modelo CVRPTW para recogida de cargas de café en la Vereda Cañaveral Bajo

Jorge Iván Romero-Gelvez; Juan Sebastián Urrego-Hernández

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia

jorgei.romerog@utadeo.edu.co

Resumen. Este trabajo presenta la aplicación del problema de enrutamiento de vehículos capacitados con ventanas de tiempo (CVRPTW) para recolectar cargas de café en algunas fincas con poca disponibilidad de vías, así como mala infraestructura en ellas, que no facilitan el paso de vehículos. El objetivo de este modelo es proporcionar la creación de un sistema de recolección y recorrido para el problema del transporte de las cargas de café desde las fincas hasta el centro de acopio. El paso inicial es el desarrollo del Excel para la obtención de los datos, luego se registran estos datos en las hojas de cálculo del programa LOGVRP para iniciar con el ruteo. El problema se resuelve con esta herramienta en línea utilizando como solución los algoritmos de Java Data Mining (JDMA) y el algoritmo Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS).

Palabras clave: Enrutamiento, Distribución, CVRPTW, Café, Modelo.

1. Introducción

La industria cafetera colombiana se constituyó desde el siglo XVIII por los sacerdotes jesuitas que introdujeron la planta del café al territorio colombiano, a partir de este hecho en el año 1835 se empezó a exportar y ser un producto de importancia para la economía del país. De este modo, al transcurrir el tiempo, en el año 1927 los caficultores crearon una institución para representarlos a nivel nacional e internacional, la cual es la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) (Café de Colombia, s.f.). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el café suave colombiano cada día aumenta considerablemente, ya que el país es el mayor exportador en el mundo de este producto y el tercero en producirlo, con la presente economía por la que el país atraviesa, se busca que los productos agrícolas desarrollen un rol cada vez más importante en el ámbito comercial.

A esto se le agrega que cuando los pequeños caficultores envían sus productos cosechados a la FNC, su transporte presenta algunos problemas entre los cuales están la difícil movilidad en las vías terciarias por donde se saca el producto porque no cuentan con una buena infraestructura, así mismo, existen las trochas que son caminos estrechos pero que en ocasiones sirven de atajo (Oxford, s.f.) que están distribuidas por todos los departamentos de Colombia.

El departamento de Santander, específicamente la Vereda de Cañaveral Bajo, cuenta con diferentes fincas distribuidas en este espacio, en la que los productores solo pueden sacar de 4 a 10 cargas de café. Estas cargas no generan una ganancia suficiente para tener un medio de transporte con el fin de transportar las cargas, por ello, los productores necesitan ayuda de terceros para enviar el producto a los centros de acopio ubicados en el municipio de San Gil, el cual se encuentra a 37 Kilómetros de las fincas productoras.

Por esta razón y para el desarrollo de este proyecto, se propone el uso del software LOGVRP, que tiene la disponibilidad de ser código abierto para resolver problemas de VRP. Asimismo, se emplearán las herramientas de ubicación geográfica llamadas Google Maps y Google Earth, con el fin de observar las coordenadas que representan a cada una de las 15 fincas a trabajar, así como del centro de acopio disponible.

2. Marco teórico

2.1 Café Suave

Fruto de la planta (cafeto arábigo). Es originario de los países africanos de Etiopía y Yemen, desde estos lugares se fueron llevando a diferentes países del mundo para realizar la introducción de esta planta y saber si era posible cultivarla de manera óptima como se está haciendo de manera silvestre en aquellos hábitats. De tal modo, se importó al país de Colombia por los sacerdotes jesuitas en el año 1730, por este motivo esta planta hasta el día de hoy es de vital importancia para la economía del país.

El café que es cosechado y producido en Colombia se presenta como tipo arábigo, este tiene un sabor más complejo y sutil, por ello se conoce coloquialmente como café tipo suave. Además, para que los granos de café molido obtengan este sabor tan particular, están expuestos a situaciones como: la altura del lugar de la finca, estar en un clima templado, a una altura de

más de 2000 metros sobre el nivel del mar, deben estar a la sombra de árboles para que las plantas crezcan con mayor producción y tengan varios frutos de donde se extrae la pepita de café.

2.2 VRP - CVRPTW

Los problemas de rutas de vehículos (Vehicle Routing Problem -VRP) consiste en determinar la agrupación de rutas de una flota de vehículos para prestar un servicio a un conjunto de clientes. Esta clase de problemas es uno de las más importantes, por tal motivo es uno de los más investigados y estudiados dentro de los problemas de optimización combinatoria. Dantzing y Ramser fueron los iniciadores en incluir esta clase de problemas en el año 1959, en ese momento se dio este desarrollo al descubrir una aplicación real del problema, a la distribución de gasolina para las estaciones de servicio.

El CVRP que incluye las ventanas de tiempo (CVRPTW) no le suma un objetivo adicional, pero esto genera una restricción con las llamadas “ventanas de tiempo” ya que esto representa que cada vehículo que realiza el recorrido de X punto a Y punto, debería llegar dentro de las ventanas de tiempo específicas que se presentan en el problema. Además que el depósito en el cual se almacenan los productos recogidos también está asociado a una ventana de tiempo, esto hace que se limite el tiempo total de un viaje de un vehículo, desde que sale del centro de acopio hasta cuando regresa de realizar los recorridos por los puntos ubicados en diferentes partes del mapa, todo esto con el fin de que las ventanas de tiempo represente una funcionalidad más óptima en el caso de minimizar tiempos entre rutas y minimizar costos entre el trayecto que el vehículo está realizando.

2.3 Descripción de las carreteras – vías terciarias

Las carreteras que comunican el municipio de San Gil, con el sector de la Vereda Cañaveral Bajo, lo cuales pertenecen al departamento de Santander, están en su mayor parte en condiciones mejorables con tramos de no más de 20 metros, hechos de hormigón y cemento, se crearon rieles de concreto que permiten el paso del transporte, dado que años atrás era arena la cual generaba deslizamientos y accidentes.

Lo más importante de este tramo de carreteras es la vía que conecta a los municipios de San Gil y Mogotes, es una carretera completamente pavimentada, con demarcación y con sus

respectivas señalizaciones, descripción del terreno por el cual se está pasando y los kilómetros que faltan para llegar a cada punto en este caso el municipio de San Gil.

Las vías terciarias que como se mencionó anteriormente, se llaman trochas, están presentes en toda la vereda de cañaveral, con pasos más elevados que otros por la naturaleza montañosa del departamento de Santander, además, tiene ciertas cunetas o zanjas por donde transita el agua que baja desde las montañas, esto genera que pocos automóviles, camiones, volquetas, motos y diferentes tipos de transporte terrestre puedan transitar con facilidad, todo esto se debe a la poca inversión del país por estos caminos olvidados por el gobierno.

La elevación es un punto importante en las vías de la Vereda Cañaveral, se observa que el total de sus caminos cuentan aproximadamente con el 46.5% de pendiente máxima, lo cual genera que los medios de transporte no tengan la suficiente fuerza para subir los pasos montañosos. También cabe destacar que desde el desvío que se presenta en la Vereda aldeaña llamada Boquerón, le otorga el paso a los diferentes caminos que desarrollan las venas de comunicación de la Vereda Cañaveral, este desvío presenta una elevación de 1603 metros sobre el nivel del mar.

2.4 Descripción del depósito

Los depósitos utilizados para la obtención final de las cargas de café deben ser espacios grandes para una mejor utilización dimensional del punto, deben estar cerrados para que el agua, el sol y la humedad no entren y causen estragos en el producto. El almacén debe tener una humedad relativa menor al 50% o en su defecto la humedad ambiente no debe superar el 12%, ya que algunas bacterias y hongos tales como el *Penicillium* y el *Aspergillus*, pueden dañar el producto, ocasionando cambios en el sabor y contraer toxinas que no son favorables para el consumo humano. Lo más recomendable es que el café permanezca en sus sacos de fique o en plataformas plásticas aisladas del suelo para conservar la pureza del café cosechado.

Las medidas de tales espacios pueden variar dependiendo de la capacidad de la zona para cosechar el café, pero un almacén promedio cuenta con AQUÍ VA UN DATO (Organización de las naciones unidad para la agricultura y la alimentación, s.f.), además tiene un centro de recolección y descarga del producto, y una oficina en donde se lleva el control de calidad e información de las cargas.

2.5 Descripción de los clientes

Los caficultores en Colombia cada día viven con más problemáticas que soluciones, tales como el manejo de las aguas que se necesitan para el cultivo de las plantas de café y la gran demanda que estas representan en este ámbito hídrico, también se puede hablar sobre el tema del transporte de las cargas de café ya que estas son la ganancia del cafetero al final de todo el ciclo productivo iniciado por la siembra del semillero de las plantas.

Cada finca cafetera de más de una hectárea puede generar entre 4-10 cargas de café, y el método que utilizan aquellos pequeños caficultores es enviar las cargas con terceros que si bien prestan un servicio proporcionalmente dado por la situación económica del sector agrícola colombiano que no está pasando por su mejor momento por consecuencias externas a este mismo, y que por tal motivo procede a generar una desconfianza por parte del caficultor y el tercero que lleva su producto, en algunos casos no es hecho en condiciones óptimas, mezclando el café con otros productos que también se cosechan en la región, tales como aguacates, plátanos y mandarinas, esto genera que el café tenga un sabor diferente y no sea de la calidad precisada por la Federación.

2.6 Descripción demanda del Café

Las fincas que tienen cultivos de café deben esperar de 3 a 5 años para que las plantaciones den sus mejores cosechas, por tal motivo, es de carácter cuantificable conocer el rendimiento que brindan las plantas en su mejor momento de recolección. Estos valores de rendimiento se obtuvieron dado la experiencia de los caficultores que, por el número de plantas, promedian cuántas cargas de café se pueden sacar en una cosecha de excelente calidad, estos datos son cuantificados con el fin de mirar cuánto rinde una hectárea de café y cuántas plantas se necesitan para cumplir con el saldo que se debe utilizar para la siguiente cosecha.

El dinero generado se gasta en abonos, fertilizantes y venenos para que las plantas desarrollen una cosecha óptima para el consumo final ya sea nacional o internacional.

| Hectárea (ha) | Plantas Sembradas | Cargas de Café |
|------------------|----------------------|----------------|
| 1 | 5556 | 24 |
| 1 | 5500 | 19 |

Tabla 1. Rendimiento de hectárea sembrada por planta de Café.

| Fi nca | Hectárea (ha) | Plantas Sembradas | Cargas de Café | Peso carga de Café (kilogramos) |
|-------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| 1 | 0,5 | 2700 | 9,5 | 1187 |
| 2 | 1 | 5500 | 19 | 2375 |
| 3 | 4,75 | 26125 | 90,25 | 11281 |
| 4 | 2,80 | 15400 | 53,2 | 6650 |
| 5 | 1,2 | 6600 | 22,8 | 2850 |
| 6 | 1,17 | 6435 | 22,33 | 2778 |
| 7 | 0,61 | 3355 | 11,59 | 1448 |
| 8 | 0,59 | 3245 | 11,21 | 1401 |
| 9 | 0,57 | 3135 | 10,83 | 1353 |
| 10 | 0,56 | 3080 | 10,64 | 1330 |
| 11 | 0,41 | 2255 | 7,79 | 973 |
| 12 | 0,24 | 1320 | 4,56 | 570 |
| 13 | 0,94 | 5170 | 17,86 | 2232 |
| 14 | 1,27 | 7003 | 24,19 | 3024 |
| 15 | 1,14 | 6270 | 21,66 | 2707 |

Tabla 2. Rendimiento de hectárea por cada finca y carga de Café.

2.7 Descripción de los vehículos

Para el transporte de las cargas de café es común que se utilicen vehículos tipo camioneta pequeña con platón o con estacas, con capacidad de carga de 820 kilogramos, que podrían llevar 6 cargas por viaje, estas brindan soluciones rápidas para llevar el café de un lugar a otro. Por otra parte, también se utiliza un camión con una capacidad de carga de 6.2 toneladas y puede llevar 49 cargas de café en un solo viaje, se puede observar que el camión lleva 8 veces más cargas que una camioneta pequeña de estacas.

3. Diseño del Modelo CVRPTW

La familia de modelos VRP y su estudio es extenso; El modelo más estudiado en su taxonomía es el problema de enrutamiento de vehículos capacitados CVRP, las restricciones de las ventanas de tiempo forman una generalización de este modelo llamado VRPTW. La aproximación en este trabajo incluye las restricciones de capacidad y las ventanas de tiempo simultáneamente. En primer lugar, describimos y mostramos la formulación matemática del

modelo, luego presentamos los algoritmos de solución y las herramientas para resolver el problema.

3.1 Formulación matemática para el CVRPTW

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in N, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(j)} x_{ijk} - \sum_{j \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in N, j \in N, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in N, \quad (5)$$

$$x_{ijk} (w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A \quad (6)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \quad \forall k \in N, i \in N \quad (7)$$

$$E \leq W_{IK} \leq L \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\}, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{jik} \leq C \quad \forall k \in K, \quad (9)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A, \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A. \quad (11)$$

La función objetivo 1, se refiere a minimizar el costo total expresado como unidades de distancia en la matriz de distancia. La restricción 2, restringe la asignación de cada cliente a una sola ruta de vehículos. Además, las restricciones 3-5 caracterizan el flujo en la ruta que debe seguir el vehículo k . Las restricciones 6-8-9 garantizan la viabilidad del programa con respecto a las preocupaciones de tiempo y los aspectos de tamaño, respectivamente. Nótese que, para una k dada, la restricción 7 exige $W_{ik} = 0$ cuando el cliente i no es visitado por el vehículo k . Finalmente, la condición 11 influye en las condiciones binarias de las variables de flujo.

3.2 Método de solución

3.2.1 GoogleMyMaps.

My Maps es una herramienta de software que parte desde el motor de búsqueda de Google Maps que permite la creación de mapas de autoría propia, proporcionando las coordenadas de varios sitios a la vez lo cual nos sirve para la ubicación de cada punto deseado.

3.2.2 Google Earth.

Google Earth es un software que permite ver ubicaciones, medir distancias, superficies y hacer otro tipo de acciones, este programa funciona con imágenes satelitales que muestran el globo terráqueo de forma virtual.

3.2.3 Opciones de enrutamiento.

Estrategia de primera solución, ruta más óptima, inserción mas barata, búsqueda desde software de LOGVRP.

3.2.4 LOGVRP.

LOGVRP es una herramienta y aplicación gratuita de internet, que sirve para realizar la planificación y optimización de la entrega y recolecta de productos, también muestra rutas de servicio de transporte de alimentos, personas y demás, que se pueden llevar de un punto X a un punto Y.

Esta herramienta funciona utilizando como características principales las ventanas de tiempo, los horarios de recolección, las rutas más fáciles de transitar, el máximo de peso que

puntos de acopio de la carga. Si el conjunto de datos es un punto de almacenamiento se procede a colocar en la columna “is active” VERDADERO y en la columna “is depot” VERDADERO también porque este es el punto de descarga, por consiguiente, a este lugar llegan todos los camiones con el producto.

Las órdenes que son necesarias para que el programa desarrolle el ruteo, son dadas para que se pueda digitar el punto donde es la recolección y el punto donde se debe llevar lo antes recogido. Además, el peso de la carga, la duración de la descarga del producto en el almacén y los datos de las ventanas de tiempo son un conjunto de pares, el tiempo inicial y el tiempo final para cada par de conjunto de datos, en este caso las ventanas de tiempo de las fincas.

Las capacidades del vehículo se agregan en el programa logvrp como un conjunto de datos, que para la precisión del resultado deben ser anteriormente consultados. Además, en esta se debe colocar el punto de acopio, el cual es de donde sale cada vehículo a los puntos de carga. También estas capacidades deben ser mayores que la suma de los nodos de carga de la demanda, ya que, si este valor no es mayor, el problema no tendría solución y el programa logvrp nos daría error.

La velocidad de cada camión se mide por la velocidad con la que se debe transitar en una vía no pavimentada (trocha), este valor esta entre 10 km/h a 25 km/h. En el programa logvrp en el apartado de flota o vehículos se debe poner el costo por kilómetro esto para brindar una solución con los costos que estos resultan.

La información de las coordenadas geográficas para los nodos de las cargas, así como la clasificación de los vehículos se encuentran a continuación (Ver Tabla 3. y Tabla 4. respectivamente).

| Nodo | Lat | Lon | Nodo | Lat | Lon |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| ACOPIO | 6,552151 | -73,130111 | F8 | 6,512318 | -73,058292 |
| F1 | 6,506537 | -73,06436 | F9 | 6,511838 | -73,057411 |
| F2 | 6,5068884 | -73,061962 | F10 | 6,511071 | -73,057641 |
| F3 | 6,511705 | -73,055723 | F11 | 6,508236 | -73,058356 |
| F4 | 6,507548 | -73,071183 | F12 | 6,509438 | -73,057911 |

| | | | | | |
|----|----------|------------|-----|----------|------------|
| F5 | 6,496486 | -73,068287 | F13 | 6,507565 | -73,060081 |
| F6 | 6,50047 | -73,06774 | F14 | 6,508351 | -73,069959 |
| F7 | 6,507987 | -73,06774 | F15 | 6,507413 | -73,06942 |

Tabla 3. Coordenadas geográficas de los nodos de carga. Lat = Latitud, Lon = Longitud.

| Código | Marca | Clase | Capacidad (kg) |
|--------|-----------------|--------|----------------|
| V-1 | FUSO-MITSUBISHI | CAMIÓN | 6200 |
| V-2 | FUSO-MITSUBISHI | CAMIÓN | 6200 |
| V-3 | FUSO-MITSUBISHI | CAMIÓN | 6200 |

Tabla 4. Clasificación de los vehículos.

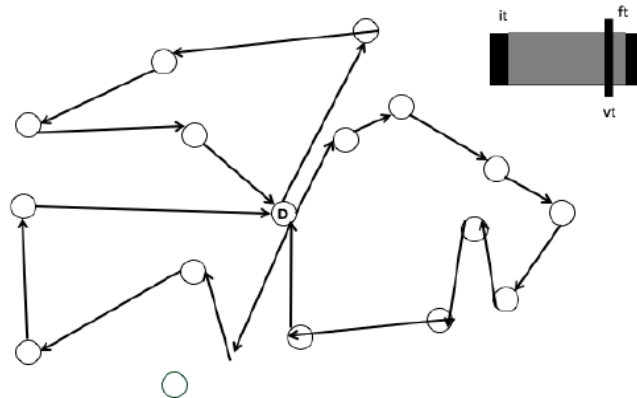


Figura 2. Representación VRPTW de ventanas de tiempo.

El problema de las rutas de los vehículos con ventanas de tiempo CVRPTW se refleja en la Figura 2. Una flota de vehículos de transporte con igual capacidad debe atender a clientes con demanda y horarios conocidos para un producto en particular. En un nodo de depósito D , los coches comienzan y terminan sus rutas, sólo un coche puede atender a cada cliente. Los propósitos son minimizar las unidades de la flota y asignar una secuencia de clientes a cada camión, minimizando a su vez la distancia recorrida para que todos los clientes sean atendidos y la demanda total atendida por cada camión no exceda su límite. Las franjas horarias se representan como el intervalo de tiempo vt de it a ft en el que cada cliente puede recibir las entregas.

4. Discusión de Resultados

La solución de este problema se realizó con la herramienta interactiva LOGVRP la cual incluye las restricciones de las ventanas de tiempo de las fincas, los días en las que las fincas tiene apartado para la recogida de las cargas, el transporte de ellas al centro de acopio de

almacenamiento y las restricciones de la capacidad que los vehículos pueden cargar entre punto y punto. Se midió el desempeño del software, dando una solución en un tiempo de realización de 57 segundos.

Como la herramienta que se utilizó tiene una plataforma de pago y no se tiene una cuenta en dicho programa, se procede a utilizar la versión gratuita, la cual tiene restricciones para su uso, tales como un máximo de 10 ubicaciones, un máximo de 10 órdenes de recolección, un máximo de 5 vehículos para la realización del ruteo, por tal motivo se decidió agrupar en perímetros de ubicación geográfica las fincas que estaban más cerca, buscando que las restricciones del programa no afecte el objetivo principal de este trabajo. Se conoce que 15 fincas están ubicadas en la Vereda Cañaveral Bajo y cuentan con cosechas de café, se decidió reunir 5 fincas por ruteo para que se pueda efectuar de manera óptima la recolección de las cargas de café.

Se realizó en total 3 tipos de ruteo con las fincas que se eligieron por su ubicación geográfica, a su vez como se tiene 3 vehículos se mostrara en figuras los recorridos de estos y los detalles que arrojo el resultado del ruteo.

Se tiene en cuenta que por restricciones del programa la primera, segunda y tercera ruta están hechas por fechas, por tal motivo están separadas por fechas de recolección, las cuales son el 13, 14 y 15 de octubre, ya que por este método es más fácil la obtención de un resultado concreto y entendible.

| Nodo (cliente) | Tiempo de descarga de café (en minutos) | Demanda |
|-----------------------|--|----------------|
| D | 0 | 0 |
| F1 | 47,5 | 1187 |
| F2 | 95 | 2375 |
| F3 | 451,25 | 11281 |
| F4 | 266 | 6650 |
| F5 | 114 | 2850 |
| F6 | 111,15 | 2778 |
| F7 | 57,95 | 1448 |

| | | |
|-----|-------|------|
| F8 | 56,05 | 1401 |
| F9 | 54,15 | 1353 |
| F10 | 53,2 | 1330 |
| F11 | 38,95 | 973 |
| F12 | 22,8 | 570 |
| F13 | 89,3 | 2232 |
| F14 | 121,6 | 3024 |
| F15 | 108,3 | 2707 |

Tabla 5. Ventanas de tiempo para carga de café en minutos a partir de las 06:00 am y demandas para todos los clientes.

| Artículo | Resultado de rendimiento |
|---|--------------------------|
| Distancia total de todas las rutas de carga | 488 kilómetros |
| Carga total de todas las rutas | 42159 kilogramos |
| Tiempo total de todas las rutas | 15 h. 7 m. |
| Algoritmo de rendimiento | 56 segundos |
| Costo total de todas las rutas | \$ 610.249 |

Tabla 6. Resultados del CVPTW.

4.1 Solución de ruteo con algoritmo (JDMA) y (ALNS)

4.1.1 Solución fincas primer perímetro.

En el primer perímetro se encuentran ubicadas las fincas (F3-F8-F9-F10-F12), en la Figura 3. se muestra el mapeo de la ruta obtenida por el programa LOGVRP con los algoritmos que utiliza este.

| Algoritmo | Distancia (Km) | Costo (\$) | Viaje total (h. m.) | Recuento de vehículo |
|-----------|----------------|------------|---------------------|----------------------|
| JDAM | 211 | \$ 264.263 | 6 h. 34 m. | 3 |
| ALNS | 211 | \$ 264.263 | 6 h. 34 m. | 3 |

Tabla 7. Resultados de ruteo del primer perímetro.

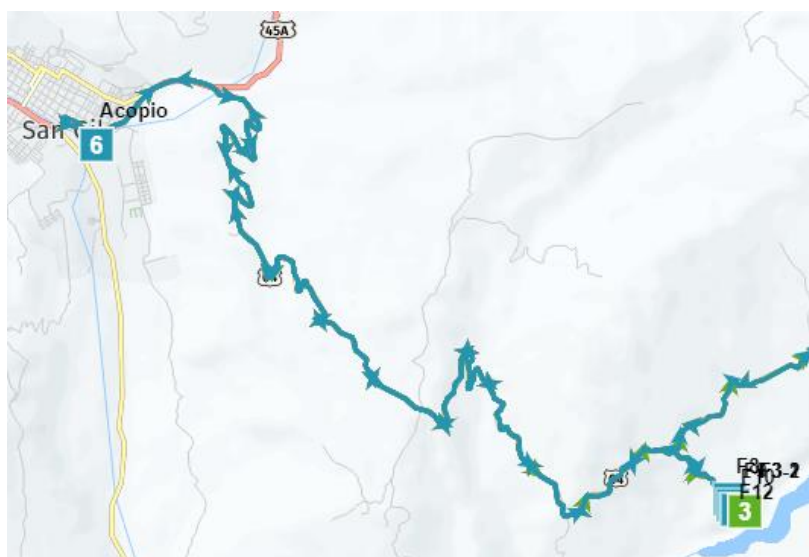


Figura 3. Perímetro 1- Generador de rutas LOGVRP.

| Ruta/ Vehículo | Distancia (km) | Gastos | Carga | Uso capacidad | Hora salida | Hora llegada | Duración |
|-------------------|-------------------|----------|-------|------------------|----------------|-----------------|------------|
| Ruta 1/V-1 | 70.5 | \$88.175 | 5640 | 91% | 6:00 am | 8:10 am | 2 h. 11 m. |
| Ruta 2/V-3 | 70.5 | \$88.175 | 5640 | 91% | 6:00 am | 8:11 am | 2 h. 12 m. |
| Ruta 3/V-2 | 70.3 | \$87.913 | 4655 | 75% | 6:00 am | 8:11 am | 2 h. 11 m. |

Tabla 8. Rutas de vehículos primer perímetro.

4.1.2 Solución fincas segundo perímetro.

En el segundo perímetro se encuentran ubicadas las fincas (F1-F2-F7-F11-F13), en la Figura 4. se muestra el mapeo de la ruta obtenida por el programa LOGVRP con los algoritmos que utiliza este.

| Algoritmo | Distancia (Km) | Costo (\$) | Viaje total (h. m.) | Recuento de vehículo |
|-----------|----------------|------------|------------------------|-------------------------|
| JDAM | 141 | \$ 175.685 | 4 h. 20 m. | 2 |
| ALNS | 141 | \$ 175.685 | 4 h. 20 m. | 2 |

Tabla 9. Resultados de ruteo del segundo perímetro.



Figura 4. *Perímetro 2 - Generador de rutas LOGVRP.*

| Ruta/ Vehículo | Distancia (km) | Gastos | Carga | Uso capacidad | Hora salida | Hora llegada | Duración |
|-------------------|-------------------|----------|-------|------------------|----------------|-----------------|------------|
| Ruta 1/V-2 | 70.3 | \$87.843 | 3207 | 52% | 6:00 am | 8:10 am | 2 h. 10 m. |
| Ruta 2/V-1 | 70.3 | \$87.843 | 5011 | 81% | 6:00 am | 8:10 am | 2 h. 10 m. |

Tabla 10. *Rutas de vehículos segundo perímetro.*

4.1.2 Solución fincas tercer perímetro

En el tercer perímetro se encuentran ubicadas las fincas (F4-F5-F6-F14-F15), en la Figura 5. se muestra el mapeo de la ruta obtenida por el programa LOGVRP con los algoritmos que utiliza este.

| Algoritmo | Distancia (Km) | Costo (\$) | Viaje total (h. m.) | Recuento de vehículo |
|-----------|----------------|------------|------------------------|-------------------------|
| JDAM | 136 | \$ 170.301 | 4 h. 13 m. | 3 |
| ALNS | 136 | \$ 170.301 | 4 h. 13 m. | 3 |

Tabla 11. *Resultados de ruteo del tercer perímetro.*

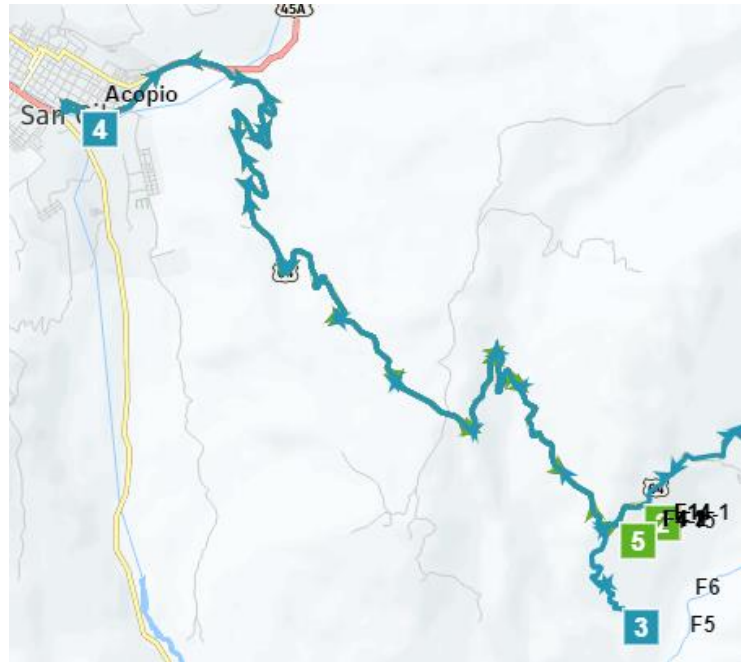


Figura 5. Perímetro 3 - Generador de rutas LOGVRP.

| Ruta/ Vehículo | Distancia (km) | Gastos | Carga | Uso capacidad | Hora salida | Hora llegada | Duración |
|-------------------|-------------------|----------|-------|------------------|----------------|-----------------|-----------|
| Ruta 1/V-3 | 32.6 | \$40.750 | 6189 | 100% | 6:00 am | 7:02 am | 1 h. 3 m. |
| Ruta 2/V-1 | 32.6 | \$40.751 | 6189 | 100% | 6:00 am | 7:02 am | 1 h. 3 m. |
| Ruta 3/V-2 | 71.0 | \$88.800 | 5628 | 91% | 6:00 am | 8:08 am | 2 h. 8 m. |

Tabla 12. Rutas de vehículos tercer perímetro.

5. CONCLUSIONES

El uso de herramientas de software en línea tal como LOGVRP, permite la solución de problemas de optimización y funcionalidad de manera eficiente, también permite su integración con herramientas de visualización en formato virtual de ubicación geográfica, como Google Maps, lo cual nos permite tener una mejor comprensión de los resultados obtenidos con este programa.

El tiempo de solución con esta herramienta es muy eficiente y práctica, ya que nos dicta una respuesta en un corto lapso a un problema complejo en el ámbito de las variables que se deben tener en cuenta.

La Federación Nacional de Cafeteros (FNC), necesitaría 3 camiones, cada uno con una capacidad de 6200 kilogramos, lo cual satisface y cumple con la necesidad de transportar todas las cargas de café que cada caficultor cosecha y procesa, de este modo beneficiaría a la comunidad campesina con la implementación de este método enrutamiento, simplificando los diferentes modos que hoy en día se utilizan en esta zona veredal.

6. Referencias Bibliográficas

1. Mapa de clientes -API de mapas de Google, <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1mp1xcVAEMn97BqK4oHbMYAaiq26vVI0&ll=6.524316044359425%2C-73.092917&z=13>
2. Bernal Vargas, O. M. (08 de 2016). *Séneca Repositorio Institucional*. Obtenido de Hacia la Sostenibilidad Cafetera. Un Análisis de Política Pública: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/13553/u728495.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Burgos Hernández, M y Parra Ramos, J. (2012-11-07.). *Identificación De Los Factores De Riesgo Y Los Riesgos Asociados En Los Procesos De Recolección Y Beneficio Del Café En Colombia En El Año 2012*. Ciencias de la Salud - Seguridad y Salud en el Trabajo.
4. Cano Sanz, C. G., Vallejo Mejía, C., Caicedo García, E., Amador Torres, J. S., & Tique Calderón, E. Y. (2012). Obtenido de El Mercado Mundial del Café y su Impacto en Colombia*: https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/5733/be_710.pdf
5. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (16 de 02 de 2010). *Café de Colombia*. Obtenido de Sobre el Café: https://web.archive.org/web/20160425044555/http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/
6. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (16 de 02 de 2010). *Café de Colombia*. Obtenido de El Café de Colombia: https://web.archive.org/web/20160427004422/http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia
7. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (s.f.). *Café de Colombia*. Obtenido de Cómo Llegó el Café a Colombia: <https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/>

8. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (s.f.). *Café de Colombia*. Obtenido de Cómo Llegó el Café a Colombia: <https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/>
9. Mongroig, M. F. (s.f.). Obtenido de El Almacenamiento del Café: https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1896/EL_ALMACENAMIENTO_DEL_CAF_1.pdf
10. Oxford Lexico. (s.f.). *Lexico*. Obtenido de Definición de Trocha: <https://www.lexico.com/es/definicion/trocha>
11. Romero Gelvez, J. I. (Dirección). (2020). *Logística* [Película].
12. Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. SIAM.
13. Organización de las naciones unidad para la agricultura y la alimentación. (s.f.). Almacén convencional. Obtenido de Organización de las naciones unidad para la agricultura y la alimentación: <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S0g.htm>
14. Romero-Gelvez, J. I., Gonzales-Cogua, W. C., & Herrera-Cuartas, J. A. (2019, November). Cvrptw model for cargo collection with heterogeneous capacity-fleet. In *International Conference on Applied Informatics* (pp. 173-184). Springer, Cham.
15. Konstantinidis, Andreas & Pericleous, Savvas & Charalambous, Christoforos. (2014). Adaptive Evolutionary Algorithm for a Multi-Objective VRP. *International Journal on Engineering Intelligent Systems*. 22. 145-162.
16. Narvaez, L. (2017). Vías terciarias: Motor del desarrollo económico rural. *Revista de ingeniería*, (45), 80-87.
17. Correa Valderrama, E. (2017). El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país. *Revista de ingeniería*, (45), 64-71.