

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**OPTIMIZACIÓN DE RUTAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE  
PRODUCTOS DE BELLEZA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el  
bachiller:

**JAROL JERENS LUGO ORÉ**

**ASESOR: Walter Silva Sotillo**

Lima, junio de 2012

## RESUMEN

El presente estudio a través de 5 capítulos, demuestra que la aplicación de algoritmos en un caso real tal como las rutas de distribución de productos de belleza, para las zonas de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo, es posible debido a que se obtiene una óptima distribución de las rutas para ambas zonas.

En el primer capítulo se definió los algoritmos a utilizar tales como: Algoritmo de Ahorros, Algoritmo de Pétalos y el Algoritmo de Inserción para cada algoritmo se analizó ambas zonas a excepción de la zona de San Juan De Miraflores ya que para esta zona el algoritmo de Inserción no aplicaba.

Para realizar el estudio en ambas zonas, en el segundo capítulo se describió la situación actual, la problemática y el desempeño del sistema actual en el cual se muestra la distancia recorrida, el promedio de puntos de reparto.

El tercer capítulo del estudio muestra el desarrollo de los modelos propuestos, la ruta inicial de ambas zonas y a partir de este punto se analiza y aplica los algoritmos para las dos zonas.

La evaluación de resultados se verifica en el cuarto capítulo, en el cual se desarrolla una comparación de las distancias recorridas actualmente con las distancias recorridas al haberse aplicado los algoritmos y se selecciona cuál de los algoritmos logró optimizar las rutas de distribución.

En el último capítulo se mencionan las conclusiones y recomendaciones, logrando así obtener una mejor visión del estudio realizado.

### TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNA : **JAROL JERENS LUGO ORÉ**

CÓDIGO : 2003.7128.9.

PROPUESTO POR : Ing. Walter A. Silva Sotillo

ASESOR : Ing. Walter A. Silva Sotillo

TEMA : OPTIMIZACIÓN DE RUTAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS DE BELLEZA.

Nº TEMA :

FECHA : San Miguel, 12 de abril de 2010

### **JUSTIFICACIÓN:**

Actualmente el tema de la logística es de suma importancia ya que las empresas crean áreas específicas para su proceso, estas se han perfeccionado con el paso del tiempo y es hoy en día, un aspecto básico para ser una empresa de primer nivel.

Una definición general de logística<sup>1</sup> “es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes”.

Según la Consulta<sup>2</sup> San José 2007, en América Latina más de la mitad de las empresas encuestadas indican que la infraestructura es un obstáculo grande o grave para el manejo y crecimiento de las actividades empresariales, un nivel mucho más alto que en Europa o Asia. Los costos

---

<sup>1</sup> Ronald H. Ballou, Logística Administración de la Cadena de Suministro, Quinta edición 2004, pág. 4  
Consulta San José

<sup>2</sup> [http://www.iadb.org/res/consultasanjose/files/summary\\_sp\\_esp/infrastructure\\_summary\\_esp.pdf](http://www.iadb.org/res/consultasanjose/files/summary_sp_esp/infrastructure_summary_esp.pdf) (2007)

logísticos en América Latina varían entre 18% y 34% del valor del producto, mientras que la cifra correspondiente en la zona de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) es alrededor del 9%.

La empresa tiene como una de sus funciones principales realizar la distribución de los productos de belleza a nivel nacional e internacional. En las últimas campañas, las consultoras de belleza vienen quejándose por la demora en la entrega de sus pedidos, es por ello que los transportistas desean rediseñar las rutas de reparto.

En la actualidad existen varias herramientas matemáticas que pueden solucionar problemas con respecto al ruteo de vehículos, las cuales pueden ser heurísticas tradicionales como también la aplicación de metaheurísticas.

El presente estudio se centrará en diseñar y optimizar las rutas de distribución de las zonas, con esto se minimizará el tiempo de entrega de los pedidos, los costos logísticos y llevará a una mejor atención al cliente y una reducción en los costos para la empresa.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Optimizar las rutas de distribución en una empresa de productos de belleza

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Desarrollar un marco teórico necesario para la interpretación del modelo matemático a aplicar.
- Analizar y describir la situación actual de la empresa.
- Desarrollar el modelo heurístico elegido.
- Evaluar los costos del modelo elegido.

**PUNTOS A TRATAR:****a. Marco teórico.**

Se desarrollarán los conceptos, modelos y técnicas del uso del Modelo de Ruteos para mejorar la distribución de los pedidos.

**b. Descripción y análisis de la situación actual.**

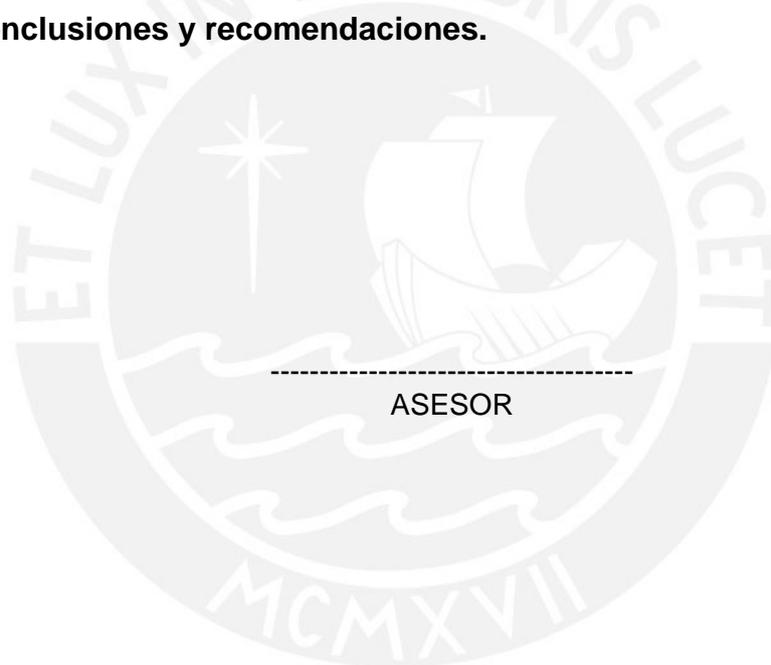
Se describirá y realizará un análisis del problema actual de la empresa definiendo el alcance del estudio.

**c. Desarrollo del modelo**

Se desarrollará el modelo de ruteo para el caso en mención.

**d. Evaluación de los resultados**

Se evaluarán los resultados que implican el modelo desarrollado

**e. Conclusiones y recomendaciones.**

## INDICE

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....	2
1.1 Programación Lineal .....	2
1.1.1 Simbología .....	2
1.1.2 Modelo de Asignación .....	3
1.2 Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP) .....	4
1.2.1 El Problema del Agente Viajero (TSP) .....	4
1.3 Heurísticas Tradicionales para el VRP .....	5
1.3.1 El Algoritmo de Ahorros .....	5
1.3.2 Heurística de Inserción .....	6
1.3.3 Algoritmo de Pétalos .....	9
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	11
2.1 Descripción de la situación actual .....	11
2.2 Descripción de la problemática .....	12
2.3 Desempeño del sistema actual .....	13
2.4 Indicadores de desempeño .....	14
CAPITULO 3. DESARROLLO DE MODELOS .....	15
3.1 Modelo 1: Por clústers (Algoritmo de Ahorro) .....	15
3.3. Modelo 2: Algoritmo de Pétalos .....	25
3.3 Construcción del modelo propuesto 3 .....	40
CAPITULO 4. EVALUACION DE RESULTADOS .....	44
4.1 Evaluación cuantitativa .....	44
4.1.1 Algoritmo de Ahorros .....	44
4.1.2 Algoritmo de Pétalos .....	45
4.1.3 Algoritmo de Inserción .....	46
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
5.1 Conclusiones .....	47
5.2 Recomendaciones .....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	50
ANEXOS .....	52
ANEXO 1. Direcciones en orden de ruta actual -San Juan de Miraflores... CD	
ANEXO 2. Direcciones en orden de ruta actual – Villa María del Triunfo... CD	
ANEXO 3. Gráficos en la aplicación del algoritmo de ahorros .....	CD
ANEXO 4. Cuadros en la aplicación del algoritmo de ahorros .....	CD

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Dos rutas antes y después de ser unidas.....	6
Gráfico 2: Clusters Inicial - San Juan de Miraflores .....	16
Gráfico 3: Clúster con la ruta ideal – Algoritmo de Ahorros .....	21
Gráfico 4: Ruta ideal de <i>clústers</i> - San Juan de Miraflores .....	22
Gráfico 5: Gran Ruta Ideal- San Juan de Miraflores .....	23
Gráfico 6: Ruta Final en plano real - San Juan Miraflores.....	24
Gráfico 7: Reporte LINDO – Villa María del Triunfo .....	29
Gráfico 8: Rutas seleccionadas - Villa María del Triunfo.....	30
Gráfico 9: Gran Ruta Ideal Villa María del Triunfo .....	31
Gráfico 10: Gran Ruta Real – Villa María Del Triunfo .....	32
Gráfico 11: Reporte LINDO – San Juan de Miraflores.....	36
Gráfico 12: Rutas seleccionadas – San Juan de Miraflores.....	37
Gráfico 13: Gran Ruta Ideal - San Juan De Miraflores .....	38
Gráfico 14: Gran Ruta Real – San Juan De Miraflores .....	39
Gráfico 15: Rutas de Villa María del Triunfo - Puntos lejanos de las rutas ...	41
Gráfico 16: Gran Ruta – Villa María del Triunfo .....	43

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Reclamos por campaña.....	12
Tabla 2: Distritos en Estudio.....	14
Tabla 3: Ahorro entre puntos (m).....	19
Tabla 4: Ruta óptima.....	19
Tabla 5: San Juan De Miraflores - 1° Cluster (azul)-SJM.....	20
Tabla 6: Rutas para la zona de Villa María del Triunfo.....	27
Tabla 7: Rutas para la zona de San Juan de Miraflores.....	33
Tabla 8: Evaluación de puntos de para la inserción.....	42
Tabla 9: Distancia recorrida actual.....	44
Tabla 10: Distancia según Algoritmo Ahorros.....	45
Tabla 11: Distancia Recorrida Algoritmo de Pétalos.....	45
Tabla 12: Distancia Recorrida Algoritmo de Inserción.....	46
Tabla 13: Cuadro Comparativo.....	46



## INTRODUCCION

En los últimos años el transporte de distribución de mercadería, refleja que las distancias y tiempos son de vital importancia tanto para el transportista como para el cliente, ya que el transportista debe entregar la mercadería en menor tiempo y en una mínima distancia recorrida.

El presente estudio es una aplicación de modelos heurísticos, los cuales ayudarán a optimizar las distancias recorridas y por ende las rutas de distribución.

La situación actual ocurre en una empresa dedicada a la venta y distribución de productos de belleza, se va a realizar el estudio en dos zonas críticas debido a las quejas de las consultoras en las 5 últimas campañas. Las zonas en estudio son: San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo. La cantidad de puntos de distribución en promedio para ambas zonas es 60.

El análisis empieza a partir de la ubicación de los puntos, ahí se inicia el desarrollo de los modelos heurísticos tales como el algoritmo de Ahorros, Pétalos e Inserción.

Al finalizar el planteamiento de las propuestas para ambas zonas se escoge cuál es el mejor modelo a utilizar a partir de las distancias recorridas desde el almacén hasta el último punto de reparto, indicando cuál de los algoritmos logra optimizar mejor las rutas de distribución.

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Programación Lineal

La programación lineal se encarga de planear las actividades para conseguir un resultado óptimo; es decir, la mejor solución que lleve al objetivo determinado.

### 1.1.1 Simbología

Según Winston (2006) para la formulación de problemas de programación lineal tiene 3 partes:

- La **función objetivo**, que está compuesta por las variables de decisión (por ejemplo:  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ). Esta función se puede maximizar o minimizar.
- Un **conjunto de restricciones**, que pertenecen a una igualdad lineal o desigualdad lineal, que limita los valores que pudiesen tomar las variables de decisión.
- Las **restricciones de signo** o rango de existencia, que restringen todas las variables  $X_j$  que sean mayores o iguales a cero.

A continuación la siguiente formulación:

- Variables de decisión:  $x_j, j = 1, 2, \dots, n$

- Función Objetivo: Maximizar o  
Minimizar  $Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$ .

- Restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_m$$

- Rango de existencia:

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

### 1.1.2 Modelo de Asignación

El modelo más usado de aplicación de programación lineal tiene que ver con la asignación de recursos. El número de recursos está limitado, por ello la asignación debe realizarse con cuidado.

El análisis de las asignaciones debe llevar a que los objetivos tengan mayor efectividad en lo posible.

#### Formato estándar del modelo

El formato para los problemas de programación lineal se puede formular el modelo matemático del problema general de asignar recursos a actividades. Este modelo consiste en elegir valores de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  para:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n,$$

Sujeta a las restricciones

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

y

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

## 1.2 Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP)

El problema de ruteo de vehículos nos explica que cuando se tienen a los clientes y almacenes ubicados en un área de forma dispersa, en la cual se debe contar con una flota de vehículos para llegar a los usuarios finales partiendo desde el almacén se debe tener en cuenta que la ruta tomada deberá ser la óptima para minimizar los costos y tiempos.

A continuación se formularán algunos de los problemas clásicos y sus extensiones como problemas de Programación Entera.

### 1.2.1 El Problema del Agente Viajero (TSP)

La forma general del Problema del Agente Viajero (o TSP por *Travelling Salesman Problem*) fue estudiado por el matemático Karl Menger en Viena y Harvard en la década del 1930, más adelante el problema fue promovido por Hassler Whitney<sup>3</sup> y Merrill Flood<sup>4</sup> en Princeton.

Tras estos estudios se puede concluir que el TSP establece que un solo vehículo debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo.

---

<sup>3</sup> Matemático estadounidense, visitado el 10/05/2010  
<http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Whitney.html>

<sup>4</sup> Matemático estadounidense, visitado el 10/05/2010  
<http://www2.informs.org/History/Gallery/Presidents/TIMS/mflood.htm>

El problema puede formularse como:

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \\
 & \text{s.a.} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \\
 & \sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \\
 & \sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \\
 & x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E
 \end{aligned}$$

Esta formulación fue propuesta por Dantzig, Fulkerson y Johnson<sup>5</sup>. Las variables binarias  $x_{ij}$  indican si el arco  $(i, j)$  es utilizado en la solución. La función objetivo establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados.

## 1.3 Heurísticas Tradicionales para el VRP

### 1.3.1 El Algoritmo de Ahorros

Este algoritmo es conocido también como el **Algoritmo de Ahorros de Clarke y Wright**<sup>6</sup> que ha sido implementado frecuentemente y exitoso en la solución de problemas establecimiento de las rutas de vehículos en gran escala.

<sup>5</sup> Dantzig, G., Fulkerson, D., Johnson, S.: Solution of a large scale traveling salesman problem. Operations Research 2 (1954) pp 393–410

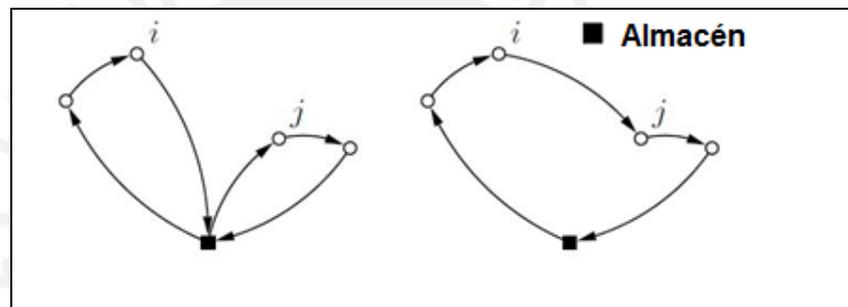
<sup>6</sup> Clarke, G., Wright, W.: Sheduling of vehicles from a central depot to a number of a delivery points. Operations Research 12 (1964)

Si en una solución dos rutas diferentes  $(1, \dots, i, 1)$  y  $(1, \dots, j, 1)$  pueden ser combinadas formando una nueva ruta  $(1, \dots, i, j, \dots, 1)$  como se muestra en el Gráfico 1, el ahorro en distancia obtenido por dicha unión es:

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{j0} - c_{ij}$$

En la nueva solución los arcos  $(i, 0)$  y  $(0, j)$  no serán utilizados y se agregará el arco  $(i, j)$ . En este algoritmo se parte de una solución lineal y se realizan las uniones que den mayores ahorros siempre que no violen las restricciones del problema.

Gráfico 1: Dos rutas antes y después de ser unidas



Fuente: Clarke, G., Wright, W. (1964).

- Paso 1 (Inicialización): para cada cliente  $i$  construir la ruta  $(0, i, 0)$ .
- Paso 2 (cálculo de ahorros): Calcular  $s_{ij}$  para cada par de clientes.
- Paso 3 (mejor unión): sea  $s_{i^*j^*} = \max s_{ij}$ , donde el máximo se toma entre los ahorros que no han sido considerados aún. Sean  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  las rutas que contienen a los clientes  $i^*$  y  $j^*$  respectivamente. Si  $i^*$  es el ultimo cliente de  $r_{i^*}$  y  $j^*$  es el primer cliente de  $r_{j^*}$  y la combinación de  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  es factible, entonces se combinan. Para finalizar con el método se eliminan  $s_{i^*j^*}$  de futuras consideraciones.

### 1.3.2 Heurística de Inserción

Las heurísticas de inserción son métodos constructivos en los cuales se crea una solución mediante sucesivas inserciones de clientes en las rutas. En cada iteración se tiene una solución parcial cuyas rutas sólo visitan un subconjunto de los clientes y se selecciona un cliente no visitado para insertar en dicha solución.

En las heurísticas de inserción secuencial solo se considera insertar clientes en la última ruta creada. La principal desventaja de este método es que los últimos clientes no visitados tienden a estar dispersos y por lo tanto las últimas rutas construidas son de costo muy elevado. Las heurísticas de inserción en paralelo surgen para remediar esta deficiencia, permitiendo insertar un cliente en cualquiera de las rutas de la solución.

### 1.3.2.1 Inserción secuencial de Mole & Jameson<sup>7</sup>

En esta heurística se utilizan dos medidas para decidir el próximo cliente a insertar en la solución parcial. Para cada cliente no visitado se calcula la mejor posición para ubicarlo en la ruta actual teniendo en cuenta solamente las distancias y sin reordenar los nodos que ya están en la ruta. Se tiene una ruta  $(v_0, v_1, \dots, v_t, v_{t+1})$  donde  $v_0 = v_{t+1}$ .

---

<sup>7</sup> MOLE, R.H., JAMESON S.R.

1976 A sequential route-building algorithm employing a generalised saving criterion. Operational Research Quarterly 503-511

Si  $w$  es un cliente no visitado, el costo de insertar  $w$  entre  $v_i$  y  $v_{i+1}$  ( $0 \leq i \leq t$ ) se define como:

$$c_1(v_i, w) = \begin{cases} c_{v_i, w} + c_{w, v_{i+1}} - \lambda c_{v_i, v_{i+1}} & \text{si} \\ \infty & \text{si no} \end{cases}$$

La mejor posición para insertar el cliente  $w$  en la ruta actual está dada por  $i(w) = \arg \min_{i=0, \dots, t} c_1(v_i, w)$ .

### Algoritmo de Mole & Jameson

- i. Creación de una ruta: si todos los clientes pertenecen a una ruta. Si no, seleccionar un cliente no visitado  $w$  y crear la ruta  $r = (0, w, 0)$ .
- ii. Inserción: sea  $r = (v_0, v_1, \dots, v_t, v_{t+1})$  donde  $(v_0 = v_{t+1} = 0)$ . Para cada cliente no visitado  $w$ , calcular  $i(w) = \arg \min_{i=0, \dots, t} c_1(v_i, w)$ . Si no hay inserciones factibles, ir al paso **i**. Calcular  $w^* = \arg \max_w c_2(v_{i(w)}, w)$ . Insertar  $w^*$  luego de  $v_{i(w^*)}$  en  $r$ .
- iii. Optimización: aplicar el algoritmo 3-opt<sup>8</sup> sobre  $r$ . Ir al paso **ii**.

<sup>8</sup> Lin, S.: Computer solutions of the travelling salesman problem. Bell System Technical Journal (1965) 2245-2269.

### 1.3.3 Algoritmo de Pétalos

Supongamos que se dispone de un conjunto de rutas  $R$ , de modo que cada ruta  $r \in R$  es factible, pero de cada cliente es visitado por varias de las rutas.

El problema de seleccionar un subconjunto de  $R$  de costo mínimo que visite exactamente una vez a cada cliente puede formularse como un *Set Partitioning Problem (SPP)*:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{k \in R} c_k x_k \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{k \in R} a_{ik} x_k = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \end{aligned}$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in S$$

Donde  $a_{ik}$  vale 1 si el cliente  $i$  es visitado por la ruta  $r_k$  y 0 si no y donde  $c_k$  es el costo de la ruta  $r_k$ . La variable  $x_k$  indica si la ruta  $r_k$  es seleccionada o no en la solución final. Esta formulación se debe a Balinski y Quandt (1964).

En el caso extremo de que  $R$  contenga todas las posibles rutas factibles, solucionar el SPP es equivalente a resolver el problema en forma exacta. Como la cantidad de rutas factibles es, en el caso general, exponencial en la cantidad de clientes, se suele generar solamente un subconjunto de formado por “buenas” rutas.

Cada columna del SSP representa a una ruta de  $R$ . Cuando en toda columna los ceros aparecen de forma consecutiva, el problema verifica la propiedad de Columnas Circulares y el SPP correspondiente puede ser resuelto en tiempo polinomial.

Trasladada al problema la propiedad establece que, para determinado ordenamiento de los clientes del problema, el conjunto de clientes visitado por cada ruta forma un intervalo (que en algunos casos tiene forma de pétalo). Diversas técnicas han sido propuestas para generar “buenos” conjuntos de rutas que verifiquen la propiedad llamadas 1-pétalos y 2-pétalos.



## CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### 2.1 Descripción de la situación actual

El proceso que siguen los transportistas para la distribución de los productos desde el almacén hasta los clientes finales es el siguiente:

- En la empresa en un año hay 36 campañas esto significa que por mes la consultora realiza 3 veces sus pedidos, un promedio de cada 10 días hay una campaña.
- Cada transportista recibe la programación de horarios diaria durante la campaña para la recepción de los pedidos que serán distribuidos.
- Los transportistas se dirigen a la planta (almacén) con media hora de anticipación y al ingresar deben recibir:
  - Control de despacho: donde se muestran la cantidad de pedidos, bultos, excesos, listado de productos fuera de caja (prendas de vestir, carteras, etc.) y el listado de las consultoras.
  - Guía de remisión: en esta guía se presenta las direcciones de domicilio de las consultoras.
  - Boletas de despacho: esta boleta señala el número de la caja (pedido), la dirección de cada consultora, los productos que contienen el pedido.
- Después de haber recibido las boletas de venta, el transportista realiza el ruteo de reparto.
- Con la unidad de transporte se acercan a la faja para recibir las cajas que serán almacenadas en la unidad móvil.
- Al finalizar el llenado de las cajas en la unidad, el transportista se dirige a la rampa de entrega de los productos que van fuera de caja.

Una vez completados estos pasos se realiza el “cuadre”, que es la conformidad con el responsable de despacho y el que da el visto bueno para poder empezar el reparto.

En la zona de reparto se siguen los siguientes pasos:

- Una vez llegada a la zona de reparto, el transportista busca la caja que saldrá primero y así sucesivamente para todos los pedidos.
- El transportista llega al domicilio de la consultora y verifica si se encuentra la consultora para entregarle el pedido, de lo contrario puede entregarlo a cualquier persona del domicilio que sea mayor de edad.

## 2.2 Descripción de la problemática

A lo largo de las últimas campañas la empresa ha recibido numerosos reclamos con respecto a la demora de la entrega de los pedidos.

**Tabla 1: Reclamos por campaña**

Zona	N° pedidos por campaña	N° reclamos por campaña
San Juan de Miraflores	70	30
Villa María del Triunfo	60	25

Elaboración Propia

Para cada campaña las consultoras de cada zona son notificadas con anticipación por el día que van a recibir su pedido, por ello para la facilidad del transportista en el momento de entregar el pedido a la consultora deberá de encontrarse en el domicilio, la consultora titular o una persona mayor de edad.

Los reclamos de las consultoras son principalmente:

- La demora en la llegada a los domicilios.
- La hora de llegada de los transportistas a altas horas de la noche (ya que el repartidor no desea regresar para que no le genere un costo extra).
- Si en la visita a la consultora no se le encuentra regresan al final del reparto de toda la zona.

Los reclamos de los transportistas hacia la empresa:

- El principal reclamo es que la empresa cita a una determinada hora, pero por problemas con la data de los pedidos la recepción de la mercadería se retrasa de dos a tres horas y ello dificulta el reparto posteriormente.

### **2.3 Desempeño del sistema actual**

Las zonas que se tomarán en cuenta para evaluar son:

- San Juan de Miraflores.
- Villa María del Triunfo.

Se escogieron ambas zonas debido a que en las últimas cinco campañas han presentado numerosos reclamos entre todas las zonas de reparto (30).

## 2.4 Indicadores de desempeño

Se tomarán en cuenta los indicadores que podrán ayudarnos en la comparación de los métodos:

- Distancia recorrida:  
Distancia recorrida por cada zona desde el almacén hasta el último punto de entrega.
- Número de pedidos por campaña:  
Números de pedidos a entregar.
- Tiempo total de reparto:  
Es el tiempo tomado desde el almacén hasta la entrega del último pedido.
- Tiempo de entrega por punto:  
Tiempo que se demora en entregar un pedido.

La tabla 1 muestra la situación actual (Distancia Recorrida y promedio de pedidos) de las dos zonas en estudio:

**Tabla 2: Distritos en Estudio**

Zona	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores
<b>Distancia Recorrida (km.)</b>	12.33	8.76
<b>Promedio de pedidos</b>	70.00	60.00

Elaboración Propia

## CAPITULO 3. DESARROLLO DE MODELOS

El presente capítulo muestra los modelos propuestos que nos ayudarán a optimizar la distancia recorrida por el transportista. El tráfico es uno de los principales factores que influye en nuestras recomendaciones.

### 3.1 Modelo 1: Por clústers (Algoritmo de Ahorro)

- Los *clústers* iniciales:

Para cada zona, con la ayuda del Google Maps<sup>9</sup> se ubicó los puntos en estudio.

- Formación de *clústers*

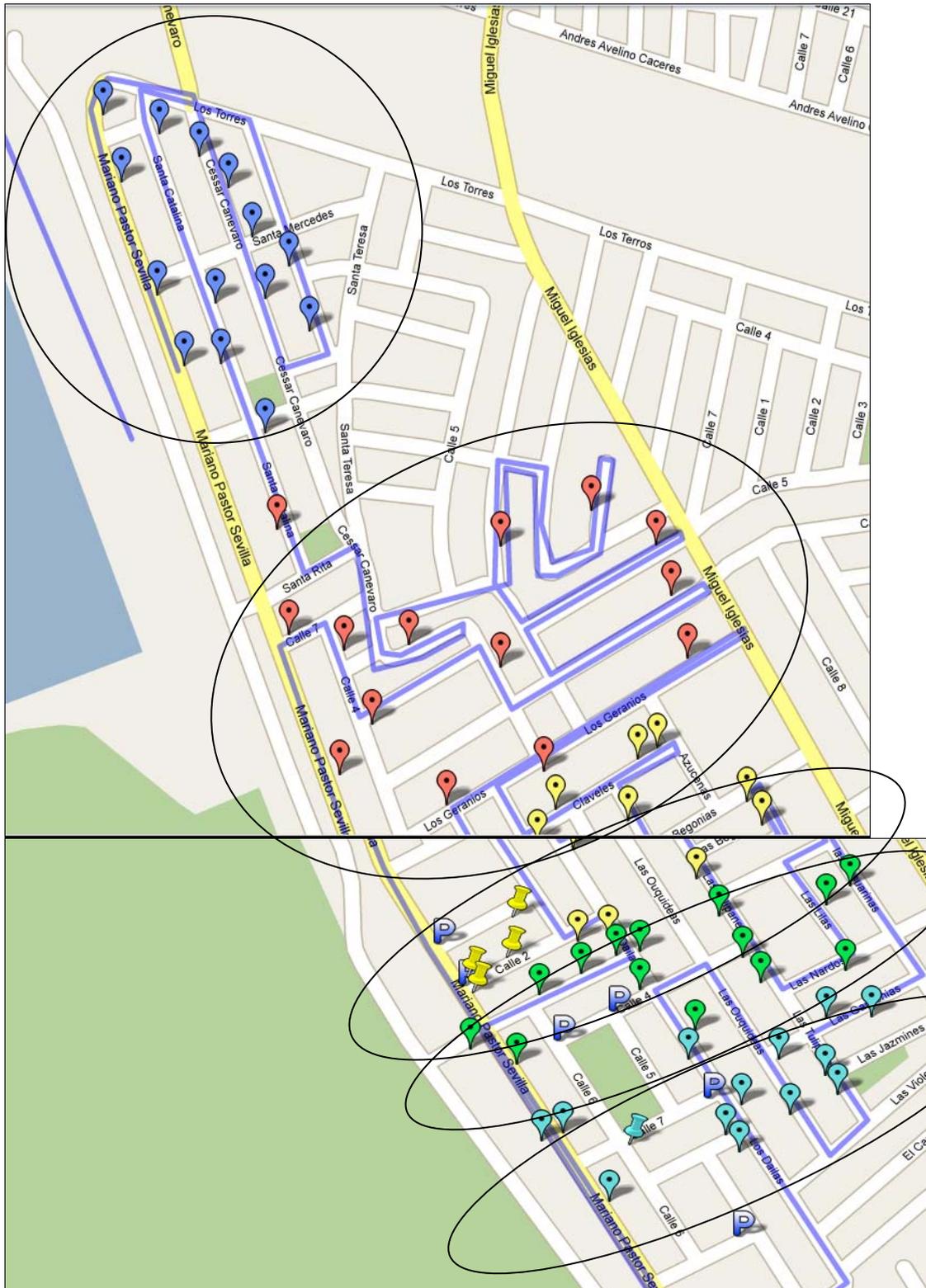
Con el método del barrido de arriba hacia abajo, la cantidad de puntos es igual en cada *clúster*.

A continuación el Gráfico 2, que muestra los cinco *clústers* de la zona de San Juan de Miraflores, cada *clúster* posee en promedio 14 puntos.

---

<sup>9</sup> Aplicación del portal de Google para ubicar puntos de en mapas.

Gráfico 2: Clústers Inicial - San Juan de Miraflores



Elaboración Propia

Luego de hallar los *clusters*, se procedió a desarrollar una ruta independiente para cada *clúster*.

Se eligió un punto arbitrario del *clúster* y a partir de ese punto se empieza a desarrollar el algoritmo de ahorros para finalmente encontrar la ruta ideal.

A continuación el desarrollo del algoritmo de ahorros:

- Se elaboró una matriz con los puntos escogidos en este caso son 14 para cada cluster, previamente se realizaron las medidas de las distancias (Distancias entre los puntos y las distancias del almacén con cada punto de reparto) con la ayuda del Google Maps.
- En la tabla 5 se muestra la matriz de un *clúster* de **San Juan de Miraflores**, que nos permitió hallar a través de los ahorros la ruta óptima para el *clúster* seleccionado, este paso se realizó para los *clústers* de cada zona.
- El número de ahorros para este *clúster* son 91, a continuación se muestra cómo se halló el Ahorro desde el punto 2 al punto 3 utilizando la fórmula del Ahorro :

Nota: Las distancias están en metros

$$S_{23} = C_{02} + C_{03} - C_{23}$$

S: Ahorro

$C_{23}$ : Distancia entre punto 2 y 3

$C_{02}$ : Distancia entre Almacén y punto 2

$C_{03}$ : Distancia entre Almacén y punto 3

El ahorro desde el punto 2 al punto 3:

$$S_{23} = 27,310 + 27,340 - 65.96 = 54,584.04$$

- Luego de hallar todos los ahorros (para este caso 91) se procedió a desarrollar el algoritmo tomando en cuenta las siguientes restricciones:

- La ruta se empieza a formar de acuerdo al ahorro mayor que existe entre los puntos y así sucesivamente.
- Si un punto ya tiene dos puntos aledaños en la ruta, ya no se considera en el análisis.
- El procedimiento del desarrollo del algoritmo termina cuando se tiene la ruta con todos los puntos que conforman el clúster.

- De los ahorros hallados se escogió el mayor de todos en este caso es el Ahorro del punto 12 al 14 con 55,103.47 metros y en la ruta que se va formando se coloca el punto 12 al costado del punto 14, luego se halla el 2° ahorro mayor que es del punto 13 al 14 con 55,084.03 metros y el punto 14 se coloca al costado del punto 13.

- A continuación se muestra la tabla 3 de los ahorros de mayor a menor (San Juan de Miraflores) que siguen después de los dos primeros ahorros y que cumplen con las restricciones del algoritmo:

**Tabla 3: Ahorro entre puntos (m)**

Ahorro entre puntos	Distancia (Metros)
S11-12	55,051.40
S10-13	55,011.80
S8-10	54,956.60
S9-11	54,955.70
S6-8	54,888.80
S7-9	54,887.70
S5-6	54,782.40
S4-5	54,693.80
S3-7	54,675.90
S2-4	54,611.30
S1-3	54,527.20

Elaboración Propia

La ruta optima es según la Tabla 4:

**Tabla 4: Ruta óptima**

0	1	3	7	9	11	12	14	13	10	8	6	5	4	2	0
---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---

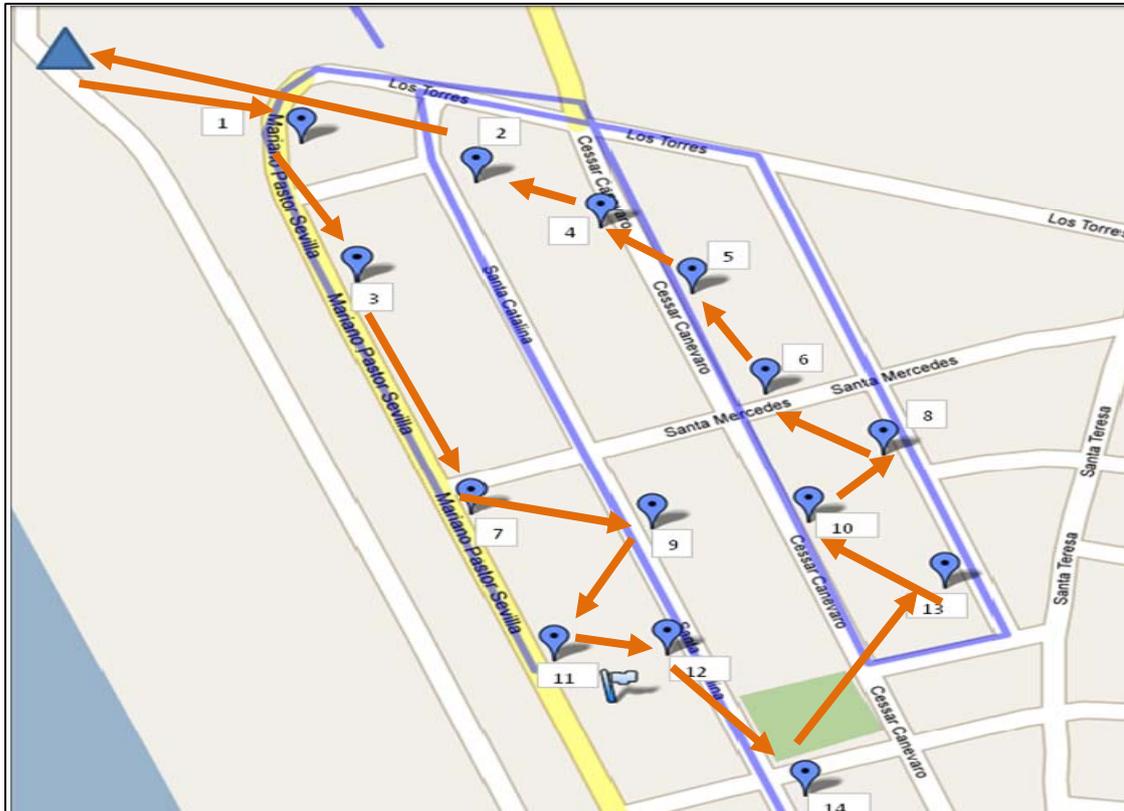
Elaboración Propia

El la tabla 5 muestra la matriz del 1° clúster, el cual permite hallar la ruta óptima, este paso se realizar para todos los siguientes clústers del distrito San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo.



El gráfico 3 muestra la ruta ideal del clúster después de hallar la ruta con el algoritmo, este paso también se realiza para todos los clústers.

**Gráfico 3: Clúster con la ruta ideal – Algoritmo de Ahorros**

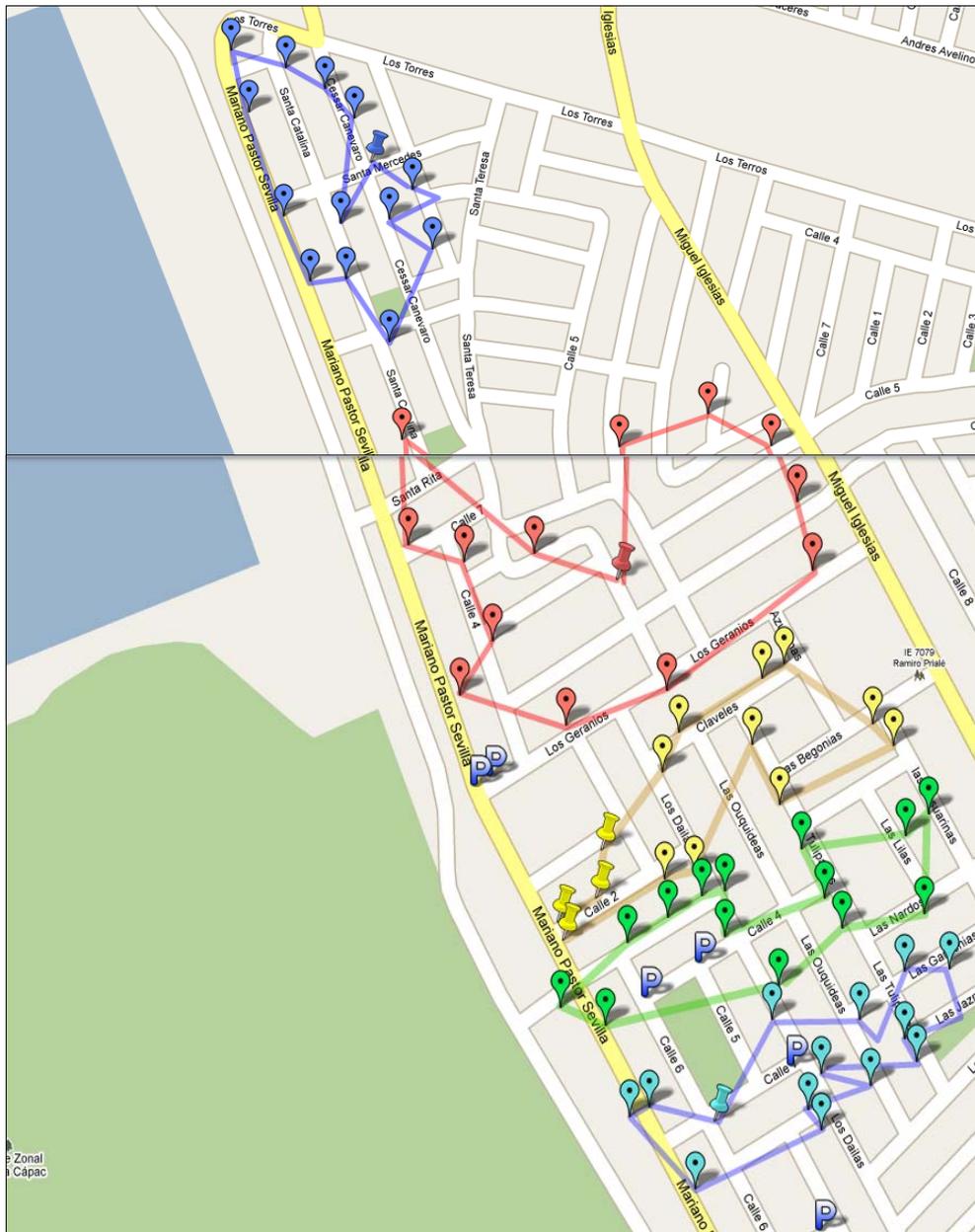


Elaboración Propia

Al desarrollar el algoritmo para cada *clúster* se elabora la ruta ideal, luego se ubicó en el mapa las rutas ideales de cada *clúster*.

A continuación el gráfico 4, muestra el mapa de las rutas de los *clústers* de San Juan de Miraflores después de hallar las rutas para cada *clúster*.

**Gráfico 4: Ruta ideal de *clústers* - San Juan de Miraflores**



Elaboración Propia

El gráfico 5 muestra un solo *clúster*, al ser unidos los cinco *clústers* de acuerdo a la menor distancia que existe entre los puntos de cada *clúster* para así poder hallar la gran ruta de distribución.

**Gráfico 5: Gran Ruta Ideal- San Juan de Miraflores**



Elaboración Propia



### 3.3. Modelo 2: Algoritmo de Pétalos

Para la elaboración de este modelo se desarrolló el algoritmo de Pétalos se siguieron los siguientes pasos:

- Formación de las rutas

Se forman rutas independientes de 5 a 20 puntos de reparto los cuales son cercanos entre sí, con ello se tendrá más alternativas de poder hallar una mejor Gran ruta que recorra menor distancia.

- Toma de distancias entre puntos

Para cada ruta se toma la distancia recorrida desde el Almacén hasta el último punto de reparto y hasta el retorno al Centro de Distribución.

- Variables de Decisión

Se utilizarán las variables binarias en las restricciones ya que nos indicará si la ruta es recorrida o no es decir toma los valores de 0 y 1. La variable "x" será: la distancia recorrida por la ruta para la programación del problema y el rango de existencia es mayor o igual a cero.

- Puntos de reparto

Los puntos de reparto pasan a ser un nodo para formar los pétalos requeridos para el modelo.

- Restricciones en la programación

Para formar las restricciones que se utilizarán en la programación se verifica la presencia de los nodos en las rutas diseñadas y así formar las ecuaciones en donde se sumarán las variables que pertenezcan al nodo. Aquí la suma de las variables será igual a 1.

## - Programación Lineal

Se hará uso del programa LINDO<sup>10</sup>, el cual permitirá hallar la mejor solución en cada uno de los problemas planteados.

El objetivo del problema es hallar un subconjunto de rutas en las cuales se recorra la mínima distancia para que se visite una sola vez al cliente.

Se minimizará las distancias recorridas por cada ruta diseñada y las restricciones serán las que permitan qué rutas serán utilizadas en la solución.

Para poder generar la programación, se debe construir un número de rutas considerable ya que así el problema tendrá varias opciones de solución.

La tabla 6, muestra las rutas construidas y distancias recorridas en la zona de **Villa María del Triunfo**, que servirán para la formulación de la programación del problema y así poder hallar las rutas y distancias optimas de cada zona.

---

<sup>10</sup> Es una aplicación para computadoras que se utiliza para resolver problemas de programación lineal, cuadrática y entera.

**Tabla 6: Rutas para la zona de Villa María del Triunfo**

Rutas	Var	Ruta	$x_i$	Distancia Recorrida
1	r1	53-52-51-50-48-38-37-34-33-32-31-35-22-36-45-47-55-56-59-58-57-60-54-	$x_1$	4.71
2	r2	53-52-51-50-49-48-46-47-55-56-59-58-57-60-54	$x_2$	3.32
3	r3	53-52-51-50-49-48-38-37-33-34-32-31-35-36-39-40-44-45-46-47-55-56-59-58-57-60-54-	$x_3$	5.53
4	r4	33-34-32-31-17-16-18-19-20-21-22-35-36-37-38	$x_4$	4.57
5	r5	33-34-32-31-17-16-18-12-14-13-27-23-21-20-19-22-35-36-37-38-	$x_5$	5.81
6	r6	33-34-32-31-17-16-18-12-11-15-14-13-27-28-30-43-42-41-44-45-39-35-36-37-38-	$x_6$	7.43
7	r7	52-51-50-49-48-39-40-41-42-43-44-45-46-47-55-56-59-58-57-60-54-53	$x_7$	4.80
8	r8	52-51-50-49-48-39-40-25-23-24-26-27-13-14-12-11-8-9-10-15-29-29-30-41-42-43-44-45-46-47-55-56-59-58-57-60-54-53-	$x_8$	7.09
9	r9	38-37-33-31-36-32-31-35-22-23-25-24-26-27-28-29-30-11-12-13-11-15-10-30	$x_9$	6.36
10	r10	25-24-23-26-27-14-13-12-11-8-9-7-6-5-4-1-2-3-10-15-28-29-30-43-42-41-40-44-45-39-	$x_{10}$	8.10
11	r11	25-24-23-21-20-19-18-17-16-27-13-14-12-15-28-26-29-30-43-42-41-40-39-	$x_{11}$	6.61
12	r12	25-24-23-21-20-19-18-17-16-27-13-14-12-11-8-9-10-15-28-26-29-30-43-42-41-40-39-	$x_{12}$	7.23
13	r13	23-13-12-11-8-7-6-5-4-1-2-3-10-9-15-14-27-	$x_{13}$	6.82
14	r14	33-32-31-17-16-18-19-20-21-22-35-36-34-37-38-	$x_{14}$	4.58
15	r15	33-32-31-17-16-18-19-20-21-22-35-23-24-25-40-39-36-34-37-38-	$x_{15}$	5.37
16	r15	53-54-60-57-51-50-52	$x_{16}$	2.41
17	r17	53-54-60-57-58-59-56-55-	$x_{17}$	2.77
18	r18	53-54-60-57-58-59-46-47-55-56-52	$x_{18}$	3.25
19	r19	53-52-51-56-55-47-46-48-49-50	$x_{19}$	2.93
20	r20	38-37-34-36-35-31-32-33	$x_{20}$	3.51
21	r21	38-37-34-36-39-40-35-31-32-33	$x_{21}$	4.02
22	r22	38-37-34-36-39-45-44-40-35-31-32-34	$x_{22}$	4.78
23	r23	39-40-41-42-43-44-45-	$x_{23}$	4.33
24	r24	38-37-36-39-40-11-12-13-14-15-	$x_{24}$	4.44
25	r25	39-40-41-42-43-30-29-26-23-24-25-	$x_{25}$	4.70
26	r26	25-23-24-26-27-16-17-18-19-20-21-22	$x_{26}$	5.12
27	r27	25-29-30-28-27-26-24-23	$x_{27}$	4.75
28	r28	23-13-12-11-8-9-10-15-14-27-	$x_{28}$	5.71
29	r29	13-12-11-8-9-10-14-27-23	$x_{29}$	5.54
30	r30	13-12-11-8-7-6-5-4-1-2-3-9-10-14-27-23	$x_{30}$	6.76
31	r31	7-6-5-4-1-2-3-	$x_{31}$	5.95
32	r32	53-54-52	$x_{32}$	1.60
33	r33	51-50-49-48	$x_{33}$	2.25
34	r34	57-58-59-60	$x_{34}$	2.48
35	r35	55 56 46 47	$x_{35}$	2.02
36	r36	38-37-36-34-32-33	$x_{36}$	3.24
37	r37	31-22-35-36	$x_{37}$	3.60
38	r38	19-20-21-18-16-17	$x_{38}$	4.46
39	r39	25-24-26-27-23	$x_{39}$	4.30
40	r40	28-15-30-29	$x_{40}$	4.78
41	r41	13-12-14	$x_{41}$	4.66
42	r42	11-8-9-10	$x_{42}$	5.52

Elaboración Propia

La programación se muestra a continuación para la zona de **Villa María del Triunfo**:

Se tiene las variables  $r_k$ , donde  $k=1, 2,3\dots$ , etc. por la existencia de  $k$  rutas las cuales recorren todos los puntos de distribución.

Se utiliza una variable binaria  $x_k$ , que indica si es que la ruta es tomada o no, es decir se escoge entre los valores de 0 y 1.

El problema consiste en seleccionar un subconjunto de R de distancias mínimas que visite exactamente una vez a cada cliente.

**Min:**  $4.71x_1 + 3.32x_2 + 5.53x_3 + 4.57x_4 + 5.81x_5 + 7.43x_6 + 4.8x_7 + 7.09x_8 + 6.36x_9 + 8.1x_{10} + 6.61x_{11} + 7.23x_{12} + 6.82x_{13} + 4.58x_{14} + 5.37x_{15} + 2.41x_{16} + 2.77x_{17} + 3.25x_{18} + 2.93x_{19} + 3.51x_{20} + 4.02x_{21} + 4.78x_{22} + 4.33x_{23} + 4.44x_{24} + 4.7x_{25} + 5.12x_{26} + 4.75x_{27} + 5.71x_{28} + 5.54x_{29} + 6.76x_{30} + 5.95x_{31} + 1.60x_{32} + 2.25x_{33} + 2.48x_{34} + 2.82x_{35} + 3.24x_{36} + 3.6x_{37} + 4.46x_{38} + 4.3x_{39} + 4.78x_{40} + 4.66x_{41} + 5.52x_{42}$ .

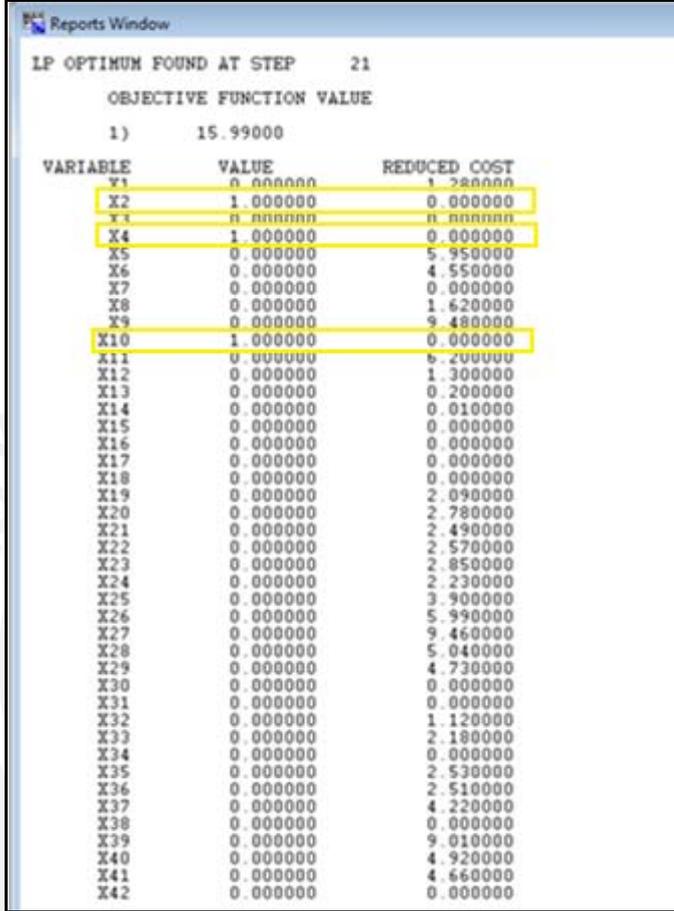
Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{10} + x_{13} + x_{30} + x_{31} &= 1 \\ x_8 + x_{10} + x_{12} + x_{13} + x_{28} + x_{29} + x_{30} &= 1 \\ x_6 + x_8 + x_{10} + x_{12} + x_{13} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{42} &= 1 \\ x_5 + x_6 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{41} &= 1 \\ x_6 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{28} + x_{40} &= 1 \\ x_4 + x_5 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15} + x_{26} + x_{38} &= 1 \\ x_4 + x_5 + x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15} + x_{26} + x_{38} &= 1 \\ x_1 + x_4 + x_5 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{26} + x_{37} &= 1 \\ x_5 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{15} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{39} &= 1 \\ x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{15} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{39} &= 1 \\ x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{39} &= 1 \\ x_5 + x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{39} &= 1 \\ x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{27} + x_{40} &= 1 \\ x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{25} + x_{27} + x_{40} &= 1 \\ x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{25} + x_{27} + x_{40} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{37} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{36} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{36} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{36} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{37} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{36} + x_{37} &= 1 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{36} &= 1 \\ x_3 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{15} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= 1 \\ x_3 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{15} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= 1 \\ x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= 1 \\ x_3 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{22} + x_{23} + x_{24} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{18} + x_{19} + x_{35} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{19} + x_{33} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{19} + x_{33} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{18} + x_{19} + x_{32} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{32} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{32} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{35} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{34} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{17} + x_{18} + x_{34} &= 1 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{34} &= 1 \end{aligned}$$

Elaboración Propia

El gráfico 7, muestra el reporte del programa LINDO que nos da la solución (seleccionados de amarillo) y así hallar las rutas que conformarán la Gran ruta.

Gráfico 7: Reporte LINDO – Villa María del Triunfo



VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	1.280000
X2	1.000000	0.000000
X3	0.000000	0.000000
X4	1.000000	0.000000
X5	0.000000	5.950000
X6	0.000000	4.550000
X7	0.000000	0.000000
X8	0.000000	1.620000
X9	0.000000	9.480000
X10	1.000000	0.000000
X11	0.000000	6.200000
X12	0.000000	1.300000
X13	0.000000	0.200000
X14	0.000000	0.010000
X15	0.000000	0.000000
X16	0.000000	0.000000
X17	0.000000	0.000000
X18	0.000000	0.000000
X19	0.000000	2.090000
X20	0.000000	2.780000
X21	0.000000	2.490000
X22	0.000000	2.570000
X23	0.000000	2.850000
X24	0.000000	2.230000
X25	0.000000	3.900000
X26	0.000000	5.990000
X27	0.000000	9.460000
X28	0.000000	5.040000
X29	0.000000	4.730000
X30	0.000000	0.000000
X31	0.000000	0.000000
X32	0.000000	1.120000
X33	0.000000	2.180000
X34	0.000000	0.000000
X35	0.000000	2.530000
X36	0.000000	2.510000
X37	0.000000	4.220000
X38	0.000000	0.000000
X39	0.000000	9.010000
X40	0.000000	4.920000
X41	0.000000	4.660000
X42	0.000000	0.000000

Elaboración Propia

Al obtener la solución a través del programa LINDO, se procede a elaborar las rutas según lo que indica la solución. En el reporte generado por LINDO las rutas a utilizar son las que tienen el valor de 1 en la columna VALUE, por ello solo se debe utilizar 3 rutas:

**Ruta 2, ruta 4 y ruta 10**

Para unir las 3 rutas se evaluó la menor distancia que existe entre los puntos más cercanos entre ellas y así poder unirlos y formar la Gran Ruta Ideal.

- Entre las rutas 2 y 4, las distancias menores entre puntos cercanos fueron de 263m y 288m.
- Entre las rutas 4 y 10, las distancias menores entre puntos cercanos fueron de 414m, 234m y 241m.

El gráfico 8 muestra las 3 rutas que nos permitirá poder hallar la ruta ideal.

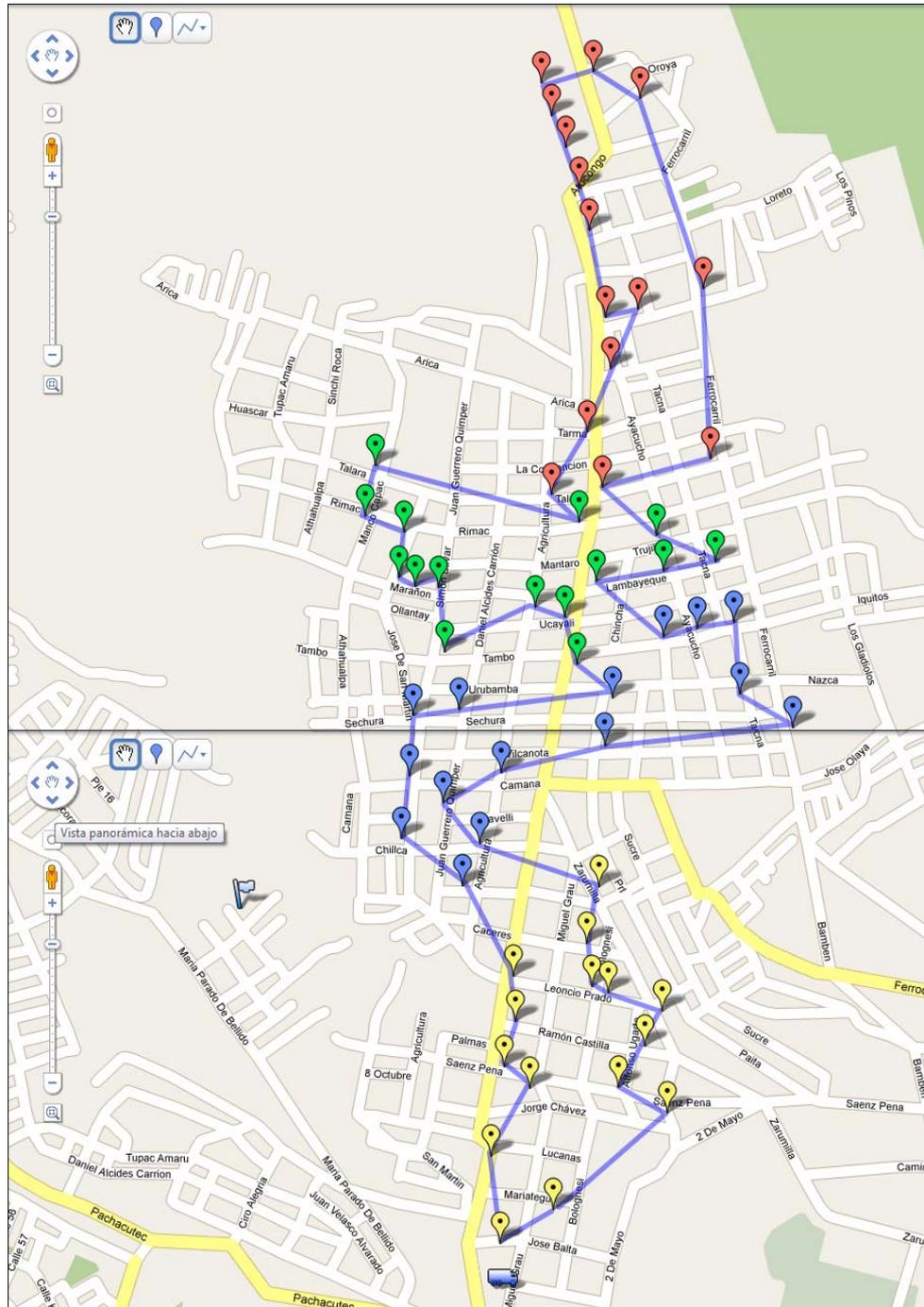
**Gráfico 8: Rutas seleccionadas - Villa María del Triunfo**



Elaboración Propia

El gráfico 9, presenta la Gran Ruta Ideal de Villa María del Triunfo

**Gráfico 9: Gran Ruta Ideal Villa María del Triunfo**



Elaboración Propia



La tabla 7, muestra las rutas construidas y las distancias recorridas respectivamente para poder hallar las rutas que servirán en la formación de la Gran Ruta en la zona de San Juan de Miraflores.

**Tabla 7: Rutas para la zona de San Juan de Miraflores**

Rutas	Var	Ruta	xi	Dist. Recorrida (km)
1	r1	1-3-7-11-15-16-19-20-14-12-9-4-2	x1	1.93
2	r2	9-12-14-13-10-8-6-5-4-2	x2	1.39
3	r3	1-3-7-11-15-16-19-23-22-26-27-24-20-13-10-8-6-5-4-2-	x3	2.46
4	r4	20-24-31-30-29-33-41-48-49-42-35-28-25-21-18-17	x4	3.10
5	r5	36-38-50-53-43-44-51-46-45-40-39-34-32-29	x5	3.11
6	r6	36-38-50-53-57-58-66-62-70-67-54-55-56-48-52-47-41-33-29-27-	x6	3.68
7	r7	1-3-7-9-10-8-6-5-4-2-	x7	1.14
8	r8	36-38-50-53-57-58-66-62-70-67-64-68-69-65-61-60-63-56-55-52-47	x8	3.76
9	r9	16-19-23-22-26-27-29-32-33-41-47-52-55-56-48-49-42-35-30-31-28-25-21-18-17	x9	3.36
10	r10	50-53-57-58-66-62-70-67-59-54-64-68-69-65-61-60-63-56-48-49-	x10	3.91
11	r11	15-16-19-20-24-27-29-32-33-41-47-52-55-56-48-49-42-36-	x11	3.35
12	r12	1-3-7-11-12-13-14-15-16-19-20-24-23-22-26-27-29-32-33-30-31-28-25-21-18-17	x12	3.21
13	r13	1-3-7-11-15-16-19-23-22-26-34-39-32-29-27-33-30-31-24-20-14-13-12-9-2	x13	3.06
14	r14	1-3-7-11-50-53-57-58-62-66-70-67-59-54-51-46-45-40-39-44-43-37-34-38-36-34-26-22-23-24-20-19-16-15-14-12-13-9-10-8-6-5-4-2-	x14	4.19
15	r15	1-3-7-11-12-14-15-16-19-20-24-23-22-26-27-29-32-33-41-48-49-42-35-30-31-28-25-21-18-17-	x15	3.51
16	r16	1-3-7-11-12-14-15-20-24-27-29-32-33-41-47-52-55-54-59-64-67-70-68-69-65-61-60-63-56-48-49-42-35-30-31-28-25-21-18-17	x16	3.81
17	r17	1-3-7-11-16-36-38-50-53-57-58-66-62-70-67-68-64-59-54-51-43-44-45-46-40-39-37-34-26-22-23-19-16-15-14-12-9	x17	3.79
18	r18	1-3-7-11-50-53-57-58-62-66-70-67-64-68-69-65-61-60-63-55-52-47-54-59-51-46-45-40-39-44-43-37-34-38-36-34-26-22-23-24-20-19-16-15-14-12-13-9-10-8-6-5-4-2-	x18	4.79
19	r19	1-3-7-11-12-14-15-20-24-27-29-32-33-41-47-52-55-46-45-40-39-34-36-38-37-43-44-51-54-59-64-67-70-68-69-65-61-60-63-56-48-49-42-35-30-31-28-25-21-18-17	x19	4.39
20	r20	1-3-7-6-5-4-2	x20	1.05
21	r21	1-3-7-11-12-9-2	x21	1.16
22	r22	1-3-10-13-8-6-5-4-2	x22	1.19
23	r23	1-3-7-11-14-12-9-2	x23	1.31
24	r24	1-3-7-11-14-13-8-6-5-4-2	x24	1.37
25	r25	1-3-7-11-14-12-9-10-8-6-5-4-2	x25	1.42
26	r26	9-10-14-13-8-6-5-4-2	x26	1.39
27	r27	15-16-19-23-22-26-24-20	x27	2.29
28	r28	15-16-19-23-22-26-20-24-17	x28	2.4
29	r29	15-16-19-23-22-26-27-24-20-17	x29	2.46
30	r30	17-24-27-28-25-21-18-	x30	2.43
31	r31	17-24-27-30-31-28-25-21-18-	x31	2.45
32	r32	17-24-27-29-32-33-30-31-28-25-21-18-	x32	2.62
33	r33	15-19-23-22-26-32-29-27-24-20	x33	2.43
34	r34	24-27-29-32-33-30-31-28-25-21-18	x34	2.61
35	r35	36-38-37-34-39-40-32	x35	2.75
36	r36	36-38-43-37-34-39-44-45-46-40-32	x36	2.91
37	r37	36-38-43-37-34-39-44-45-46-40-32-29-27	x37	2.93
38	r38	18-21-25-28-31-30-29-32-	x38	2.54
39	r39	31-35-42-49-48-56-55-52-47-41-33-30	x39	2.98
40	r40	50-53-43-44-45-46-51-52-47-41-33	x40	3.09
41	r41	31-30-33-41-47-52-55-60-63-56-48-49-42-35	x41	3.11
42	r42	33-41-47-52-55-61-60-63-56-48-49	x42	3.12
43	r43	40-45-51-59-54-61-60-63-56-48-49-	x43	3.2
44	r44	57-58-66-62-70-67-64-59-54-	x44	3.32
45	r45	61-54-59-64-67-70-68-69-65-63-60-	x45	3.48
46	r46	57-58-66-62-67-64-70-68-69-65-61-59-54	x46	3.57
47	r47	1-3-5-4-2	x47	0.87835
48	r48	7-9-10-8-6	x48	1.14
49	r49	11-12-14-15-13	x49	1.59
50	r50	16-19-23-22-20	x50	2.1
51	r51	17-28-25-21-18	x51	2.24
52	r52	26-32-29-27-24	x52	2.38
53	r53	30-33-41-42-35-31	x53	2.71
54	r54	36-38-37-39-40-34	x54	2.75
55	r55	43-51-46-45-44	x55	2.82
56	r56	50-53-57-58-66-62	x56	3.16
57	r57	54-59-64-67-70-68	x57	3.19
58	r58	61-65-69-63-60	x58	3.18
59	r59	47-52-55-56-48-49	x59	2.96

Elaboración Propia

La programación se muestra a continuación para la zona de **San Juan de Miraflores**:

Se tiene las variables  $r_k$ , donde  $k=1, 2, 3, \dots$ , etc. por la existencia de  $k$  rutas las cuales recorren todos los puntos de distribución.

Se utiliza una variable binaria  $x_k$ , que indica si es que la ruta es tomada o no, es decir se escoge entre los valores de 0 y 1.

La programación se muestra a continuación:

**Min:**  $1.93X_1 + 1.39X_2 + 2.46X_3 + 3.10X_4 + 3.11X_5 + 3.68X_6 + 1.14X_7 + 3.76X_8 + 3.36X_9 + 3.19X_{10} + 3.35X_{11} + 3.21X_{12} + 3.06X_{13} + 4.19X_{14} + 3.51X_{15} + 3.81X_{16} + 3.79X_{17} + 4.79X_{18} + 4.39X_{19} + 1.05x_{20} + 1.16x_{21} + 1.19x_{22} + 1.31x_{23} + 1.37x_{24} + x_{1.42}x_{25} + 1.39x_{26} + 2.29x_{27} + 2.4x_{28} + 2.46x_{29} + 2.43x_{30} + 2.45x_{31} + 2.62x_{32} + 2.43x_{33} + 2.61x_{34} + 2.75x_{35} + 2.91x_{36} + 2.93x_{37} + 2.54x_{38} + 2.98x_{39} + 3.09x_{40} + 3.11x_{41} + 3.12x_{42} + 3.2x_{43} + 3.32x_{44} + 3.48x_{45} + 3.57x_{49}$

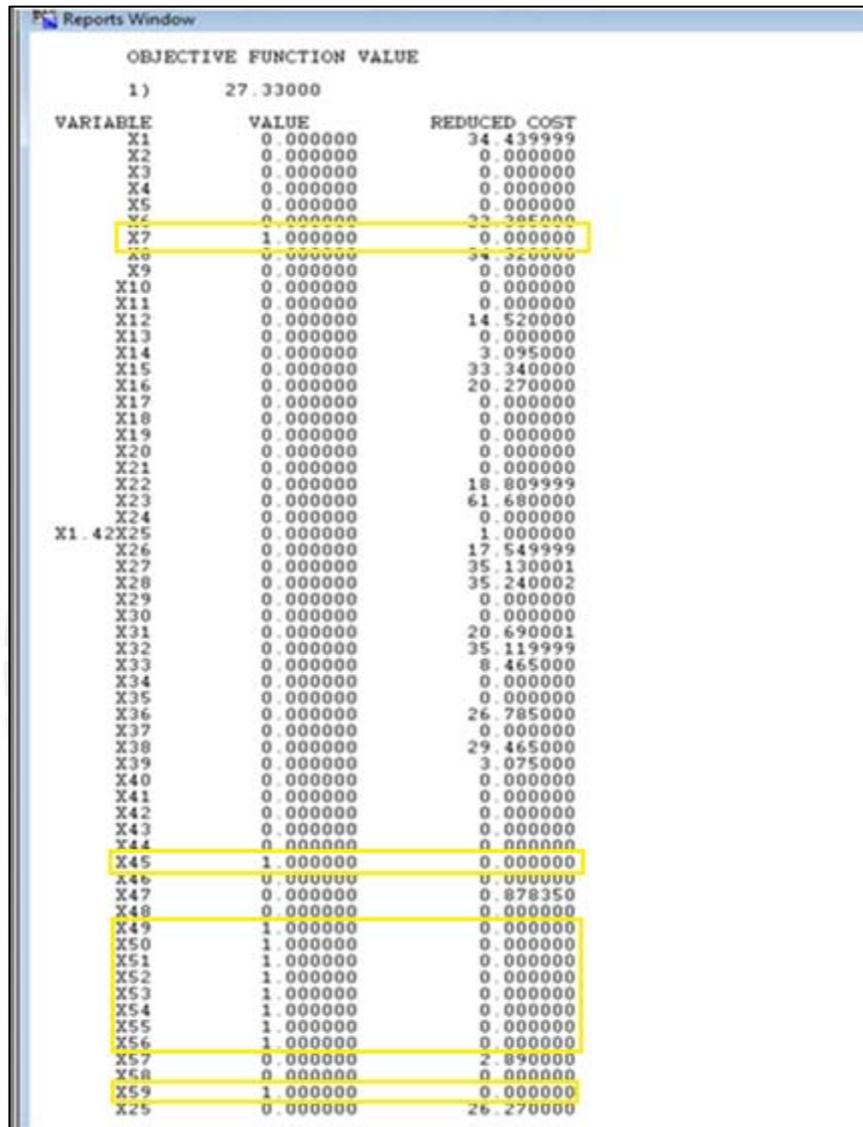
Sujeto a:

$$\begin{aligned} &x_1+x_3+x_7+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{47} = 1 \\ &x_1+x_2+x_3+x_7+x_{13}+x_{14}+x_{18}+x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{47}=1 \\ &x_1+x_2+x_3+x_7+x_{14}+x_{18}+x_{20}+x_{22}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{47}=1 \\ &x_2+x_3+x_7+x_{14}+x_{18}+x_{20}+x_{22}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{47}=1 \\ &x_1+x_3+x_7+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{21}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{48}=1 \\ &x_2+x_3+x_7+x_{14}+x_{18}+x_{22}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{48}=1 \\ &x_1+x_2+x_7+x_{13}+x_{14}+x_{17}+x_{18}+x_{21}+x_{23}+x_{25}+x_{26}+x_{48}=1 \\ &x_2+x_3+x_7+x_{14}+x_{18}+x_{22}+x_{25}+x_{26}+x_{48}=1 \\ &x_1+x_3+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{21}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{49}=1 \\ &x_1+x_2+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{21}+x_{23}+x_{25}+x_{49}=1 \\ &x_2+x_3+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{18}+x_{22}+x_{24}+x_{26}+x_{49}=1 \\ &x_1+x_2+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{49}=1 \\ &x_1+x_3+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{49}=1 \\ &x_1+x_3+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{17}+x_{18}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{50}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{28}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{51}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{51}=1 \\ &x_1+x_3+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{17}+x_{18}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{50}=1 \\ &x_1+x_3+x_4+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{18}+x_{19}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{50}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{51}=1 \\ &x_3+x_9+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{17}+x_{18}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{50}=1 \\ &x_3+x_9+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{17}+x_{18}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{50}=1 \\ &x_3+x_4+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{18}+x_{19}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{52}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{51}=1 \\ &x_3+x_9+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{17}+x_{18}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{33}+x_{52}=1 \\ &x_3+x_6+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{37}+x_{52}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{51}=1 \\ &x_4+x_5+x_6+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{37}+x_{38}+x_{52}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{39}+x_{41}+x_{53}=1 \\ &x_4+x_9+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{31}+x_{32}+x_{34}+x_{38}+x_{39}+x_{41}+x_{53}=1 \\ &x_5+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{52}=1 \\ &x_4+x_6+x_9+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{32}+x_{34}+x_{39}+x_{40}+x_{41}+x_{42}+x_{52}=1 \\ &x_5+x_{13}+x_{14}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{54}=1 \\ &x_4+x_9+x_{15}+x_{16}+x_{19}+x_{39}+x_{41}+x_{53}=1 \end{aligned}$$

$x5+x6+x8+x11+x14+x17+x18+x19+x35+x36+x37+x54=1$   
 $x14+x17+x18+x19+x35+x36+x37+x54=1$   
 $x5+x6+x8+x14+x17+x18+x19+x35+x36+x37+x54=1$   
 $x5+x13+x14+x17+x18+x19+x35+x36+x37+x54=1$   
 $x5+x14+x17+x18+x19+x35+x36+x37+x43+x54=1$   
 $x4+x6+x9+x11+x15+x16+x19+x39+x40+x41+x42+x53=1$   
 $x4+x9+x11+x15+x16+x19+x39+x41+x53=1$   
 $x5+x14+x17+x18+x19+x36+x37+x40+x55=1$   
 $x5+x14+x17+x18+x19+x36+x37+x40+x43+x55=1$   
 $x5+x14+x17+x18+x19+x36+x37+x40+x55=1$   
 $x6+x8+x9+x11+x16+x18+x19+x39+x40+x41+x42+x59=1$   
 $x4+x6+x9+x10+x11+x15+x16+x19+x39+x41+x42+x43+x59=1$   
 $x4+x9+x10+x11+x15+x19+x39+x41+x42+x43+x59=1$   
 $x5+x6+x8+x10+x14+x17+x18+x40+x56=1$   
 $x5+x14+x17+x18+x19+x40+x43+x55=1$   
 $x6+x8+x9+x11+x16+x18+x19+x39+x40+x41+x42+x59=1$   
 $x5+x6+x8+x10+x14+x17+x18+x40+x56=1$   
 $x6+x10+x14+x16+x17+x18+x19+x43+x44+x45+x46+x57=1$   
 $x6+x8+x9+x11+x16+x18+x19+x39+x41+x42+x59=1$   
 $x6+x8+x9+x10+x11+x16+x19+x39+x41+x42+x43+x59=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x17+x18+x44+x46+x56=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x17+x18+x44+x46+x56=1$   
 $x10+x14+x16+x17+x18+x19+x43+x44+x45+x46+x57=1$   
 $x8+x10+x16+x18+x19+x41+x42+x43+x45+x58=1$   
 $x8+x10+x16+x18+x19+x42+x43+x45+x46+x58=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x17+x18+x42+x44+x56=1$   
 $x8+x10+x16+x18+x19+x41+x42+x43+x45+x58=1$   
 $x8+x10+x16+x17+x18+x19+x44+x45+x46+x57=1$   
 $x8+x10+x16+x18+x19+x45+x46+x58=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x17+x18+x44+x46+x56=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x16+x17+x18+x19+x44+x45+x46+x57=1$   
 $x8+x10+x16+x17+x18+x19+x45+x46+x57=1$   
 $x8+x10+x16+x18+x19+x45+x46+x58=1$   
 $x6+x8+x10+x14+x16+x17+x18+x19+x44+x45+x46+x57=1$

El gráfico 11, muestra el reporte del programa LINDO que nos da la solución (seleccionados de amarillo) y así hallar las rutas que conformarán la Gran ruta.

**Gráfico 11: Reporte LINDO – San Juan de Miraflores**



OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	27.33000	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	34.439999
X2	0.000000	0.000000
X3	0.000000	0.000000
X4	0.000000	0.000000
X5	0.000000	0.000000
X6	0.000000	33.385000
X7	1.000000	0.000000
X8	0.000000	34.320000
X9	0.000000	0.000000
X10	0.000000	0.000000
X11	0.000000	0.000000
X12	0.000000	14.520000
X13	0.000000	0.000000
X14	0.000000	3.095000
X15	0.000000	33.340000
X16	0.000000	20.270000
X17	0.000000	0.000000
X18	0.000000	0.000000
X19	0.000000	0.000000
X20	0.000000	0.000000
X21	0.000000	0.000000
X22	0.000000	18.809999
X23	0.000000	61.680000
X24	0.000000	0.000000
X1.42X25	0.000000	1.000000
X26	0.000000	17.549999
X27	0.000000	35.130001
X28	0.000000	35.240002
X29	0.000000	0.000000
X30	0.000000	0.000000
X31	0.000000	20.690001
X32	0.000000	35.119999
X33	0.000000	8.465000
X34	0.000000	0.000000
X35	0.000000	0.000000
X36	0.000000	26.785000
X37	0.000000	0.000000
X38	0.000000	29.465000
X39	0.000000	3.075000
X40	0.000000	0.000000
X41	0.000000	0.000000
X42	0.000000	0.000000
X43	0.000000	0.000000
X44	0.000000	0.000000
X45	1.000000	0.000000
X46	0.000000	0.000000
X47	0.000000	0.878350
X48	0.000000	0.000000
X49	1.000000	0.000000
X50	1.000000	0.000000
X51	1.000000	0.000000
X52	1.000000	0.000000
X53	1.000000	0.000000
X54	1.000000	0.000000
X55	1.000000	0.000000
X56	1.000000	0.000000
X57	0.000000	2.890000
X58	0.000000	0.000000
X59	1.000000	0.000000
X25	0.000000	26.270000

Elaboración Propia

Al obtener la solución a través del programa LINDO, se procede a elaborar las rutas según lo que indica la solución. En el reporte generado por LINDO las rutas a utilizar son las que tienen el valor de 1 en la columna VALUE, por ello se debe utilizar 3 rutas: **Ruta 7, ruta 45, ruta 49, ruta 50, ruta 51, ruta 52, ruta 53, ruta 54, ruta 55, ruta 56 y ruta 59.**

Para unir estas rutas se evaluó la menor distancia que existe entre los puntos más cercanos entre ellas y así poder unirlos y formar la Gran Ruta Ideal.

El gráfico 12 muestra las 11 rutas que nos permitirá poder hallar la ruta ideal.

**Gráfico 12: Rutas seleccionadas – San Juan de Miraflores**



Elaboración Propia

El gráfico 13, presenta la Gran Ruta Ideal de San Juan De Miraflores

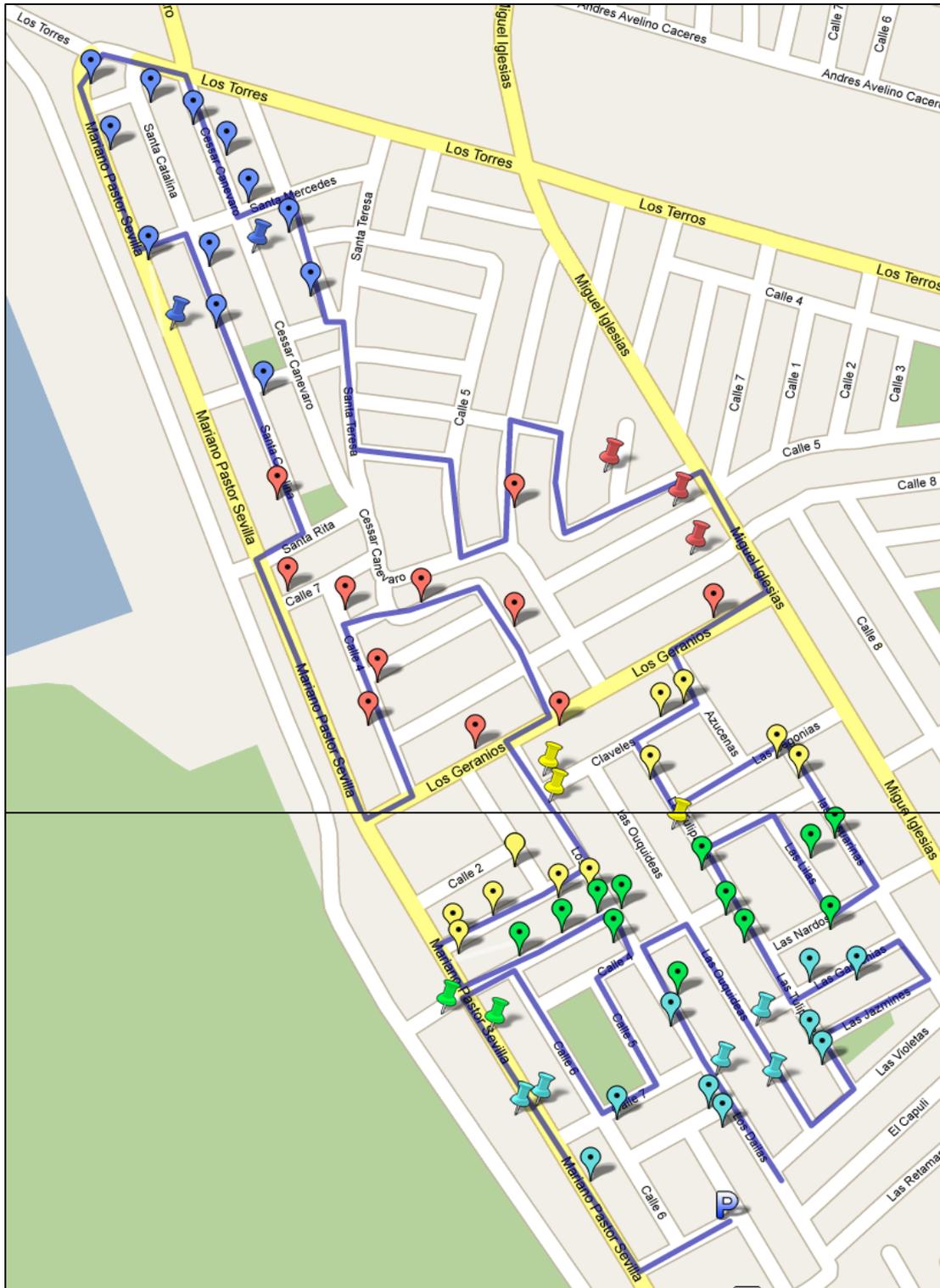
**Gráfico 13: Gran Ruta Ideal - San Juan De Miraflores**



Elaboración Propia

El gráfico 14, presenta la Gran Ruta Real de San Juan De Miraflores

Gráfico 14: Gran Ruta Real – San Juan De Miraflores



Elaboración Propia

### 3.3 Construcción del modelo propuesto 3

Para este modelo se utilizará la Heurística de inserción secuencial de Mole & Jameson, la cual permitirá a través de rutas establecidas donde los puntos lejanos a estas puedan unirse a las rutas de acuerdo a la mínima distancia que se encuentre de la ruta donde se desee insertar.

Se aprovechará las rutas que están establecidas del *algoritmo de Ahorros*, en la cual se quitará los puntos de reparto que son lejanos a la ruta para así poder evaluar en qué otras rutas se puede insertar o caso contrario dejar el punto en su ruta inicial.

Para este modelo se ha diseñado las rutas en las cuales los puntos lejanos se han dejado de lado para que sean evaluados de acuerdo a su distancia como se mencionó anteriormente.

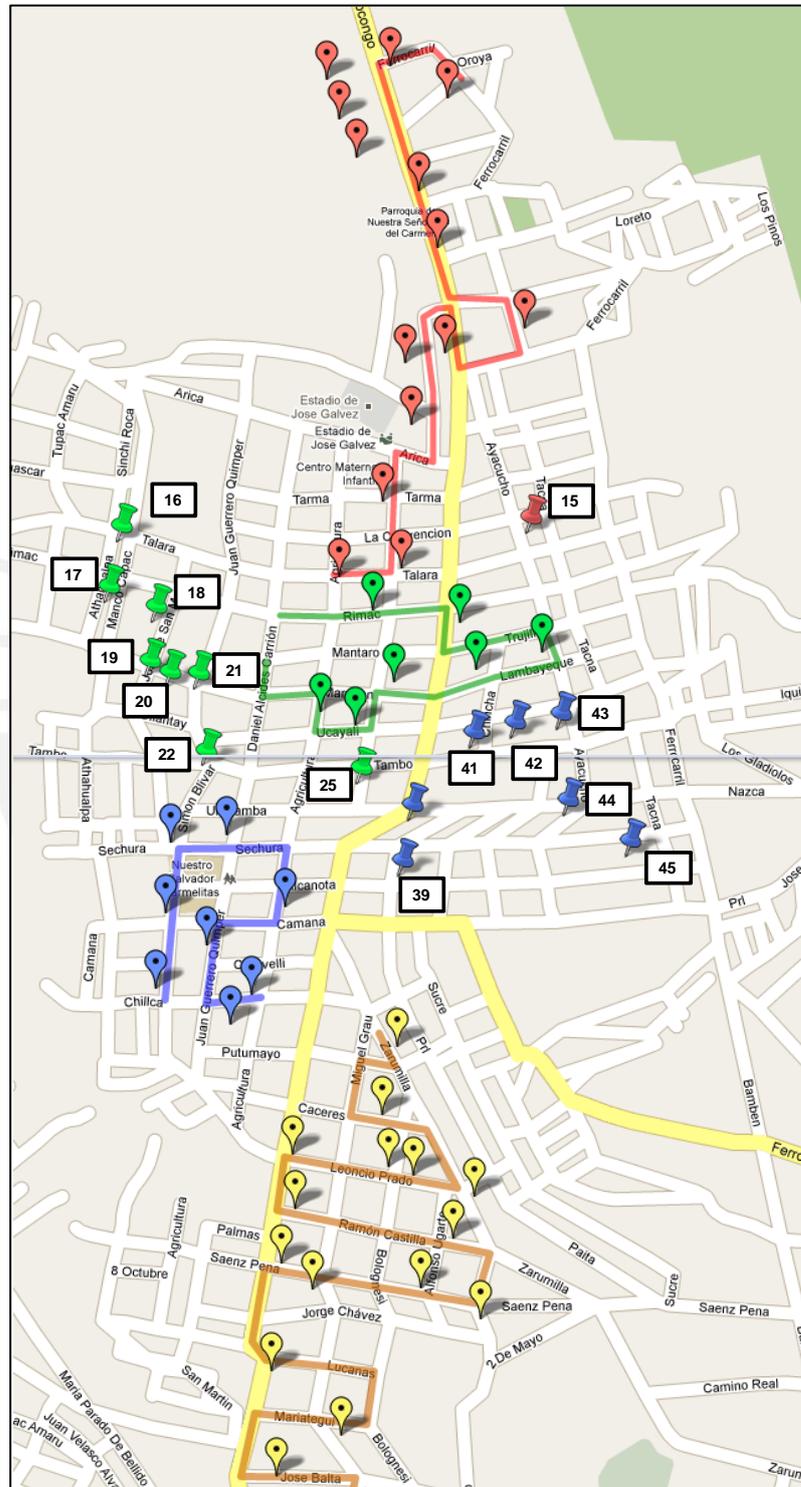
Los puntos que se evaluarán para su inserción son aquellos que tienen dos opciones de entrar en cualquier ruta es por ello que serán evaluados si es óptimo insertarlos en otras rutas que no sea la inicial.

A continuación las rutas generadas por el algoritmo de Ahorros y los puntos que quedan sueltos, los cuales serán evaluados:

Solo se aplicará este modelo a la zona de VMT (Villa María del Triunfo) ya que en la zona de San Juan de Miraflores todos los puntos son cercanos entre sí, no existe puntos que sean lejanos y en el cual no aplicaría para este modelo.

En el gráfico 15, se muestra la ruta de cada *clúster* y se ve a los puntos enumerados, los cuales serán evaluados en el algoritmo.

Gráfico 15: Rutas de Villa María del Triunfo - Puntos lejanos de las rutas



Elaboración Propia

Para el desarrollo de este algoritmo se realiza las medidas ideales de las distancias de los puntos en evaluación a las rutas ya establecidas con lo cual se logrará decidir a qué ruta irá cada punto.

La tabla 8, muestra la evaluación de los puntos para la inserción:

**Tabla 8: Evaluación de puntos de para la inserción**

N° punto	Ruta Actual	Distancia a Ruta Roja (m)	Distancia a Ruta Verde (m)	Distancia a Ruta Azul (m)	Distancia a Ruta Amarilla (m)
15	Roja	244.38	209.89		
16	Verde	407.62	489.69		
17	Verde	436.38	441.64		
18	Verde	355.31	356.16		
19	Verde		318.23		
20	Verde		286.13		
21	Verde		228.56		
22	Verde		236.48	137.41	
25	Verde		113.52	269.02	
39	Azul		209.98	208.04	
40	Azul		188.83	220.26	
41	Azul		150.69	461.67	
42	Azul		145.16	535.79	
43	Azul		147.51	616.14	
44	Azul		326.92	554.85	540.49
45	Azul		422.92	649.42	558.97

Elaboración Propia

Las celdas pintadas de color verde y azul son los puntos que han sido seleccionados debido a que la distancia es menor con respecto a las otras rutas.

Identificadas las rutas en las cuales se insertarán los puntos se procede a construir la Gran Ruta Real que será la final y la cual será comparada con las otras Grandes Rutas desarrolladas en los algoritmos anteriores.

El gráfico 16, muestra la Gran Ruta Real de Villa María del Triunfo

**Gráfico 16: Gran Ruta – Villa María del Triunfo**



Elaboración Propia

## CAPITULO 4. EVALUACION DE RESULTADOS

### 4.1 Evaluación cuantitativa

La tabla 9, muestra la situación actual del reparto de las zonas Villa María Del Triunfo y San Juan De Miraflores con respecto a la distancia recorrida por el transportista.

Tabla 9: Distancia recorrida actual

Zona	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores
Distancia Recorrida (km.)	38.75	26.25

Elaboración Propia

#### 4.1.1 Algoritmo de Ahorros

##### Zona Villa María Del Triunfo

Al desarrollar el Algoritmo de Ahorros:

La distancia recorrida según la solución generada por el algoritmo indica que la ruta que realizaría sería de **28.50** kilómetros, esto supone que aproximadamente la unidad recorrerá esta distancia en todo su reparto.

##### Zona San Juan De Miraflores

La distancia recorrida según la solución obtenida por el desarrollo del algoritmo sería de **15.35** kilómetros, aproximadamente esta distancia recorrerá la unidad al realizar su reparto.

La tabla 10, muestra las distancias recorridas al aplicar el algoritmo de ahorros para ambas zonas.

**Tabla 10:** Distancia según Algoritmo Ahorros

<b>Algoritmo de Ahorros</b>		
<b>Zona</b>	<b>Villa María del Triunfo</b>	<b>San Juan de Miraflores</b>
Distancia Recorrida (km.)	28.50	15.35

Elaboración Propia

#### 4.1.2 Algoritmo de Pétalos

##### **Zona Villa María Del Triunfo**

La solución generada por este Algoritmo indica que la distancia que se recorrería sería aproximadamente de **30.85** kilómetros.

##### **Zona San Juan De Miraflores**

La distancia por recorrer al resolver el Algoritmo sería aproximadamente de **16.40** kilómetros, significa que la unidad se desplazaría esa distancia en todo su reparto.

**Tabla 11:** Distancia Recorrida Algoritmo de Pétalos

<b>Zona</b>	<b>Villa María del Triunfo</b>	<b>San Juan de Miraflores</b>
Distancia Recorrida (km.)	30.85	16.40

Elaboración Propia

#### 4.1.3 Algoritmo de Inserción

En el desarrollo de este algoritmo solo se evaluó la zona de Villa María del Triunfo y la solución indica que se recorrería **28.63** kilómetros en toda la ruta de reparto. La tabla 12 muestra la distancia recorrida al aplicarse el Algoritmo de Inserción.

**Tabla 12: Distancia Recorrida Algoritmo de Inserción**

Algoritmo de Inserción	
Zona	Villa María del Triunfo
Distancia Recorrida (km.)	28.63

Elaboración Propia

La tabla 13 , muestra un cuadro comparativo de los resultados del desarrollo de los algoritmos para ambas zonas en estudio:

**Tabla 13: Cuadro Comparativo**

Zona	Villa María del Triunfo	San Juan de Miraflores
Situación actual	38.75	26.25
Algoritmo de Ahorros	28.50	15.35
Algoritmo de Pétalos	30.85	16.40
Algoritmo de Inserción	28.63	No aplica

Elaboración Propia

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Con relación a la solución de los problemas se llega a concluir que el Algoritmo de Ahorros es el que permitirá la optimización de las rutas de distribución con respecto a los otros dos algoritmos.
- Cabe resaltar que la empresa cuenta con una flota homogénea de combis, los cuales poseen un motor gasolinero de 2000 cc, 4 cilindros, con un rendimiento promedio de 30 Km. por galón, siendo el costo promedio del galón de 90 octanos es S/. 15.00.
- La aplicación del Algoritmo de Ahorros es relativamente fácil con relación a los otros algoritmos desarrollados, además del tiempo de ejecución ya que el Algoritmo de Pétalos es el que tomó más tiempo de entender y ejecutarlo.
- En la zona San Juan de Miraflores la reducción de la cantidad de kilómetros respecto a la ruta diseñada es considerable con la situación actual siendo la distancia actual de 26.25 Km. comparado con la solución del algoritmo que es de 15.35 Km, es decir que se ahorra por campaña en kilómetros recorridos 10.90 y en dinero S/. 5.45, significa que al año por las 36 campañas se ahorraría S/ 196.20.
- Para la zona de Villa María del Triunfo se logra reducir 10.25 Km al aplicar el algoritmo de Ahorros, es decir S/. 5.13 por campaña y al año sería S/. 184.50.
- El Algoritmo de Inserción es interesante con relación a la aplicación ya que permite de manera instantánea la solución, en nuestro caso solo aplica a una zona la del distrito de Villa María Del Triunfo el cuál

se logra ahorrar 10.13 km que en dinero es S/. 5.06 y por las 36 campañas sería S/. 182.16.

- Si se optara por escoger el algoritmo de pétalos, ahorraríamos para la zona de Villa María del Triunfo 7.90 km (S/. 3.95) y para la zona de San Juan de Miraflores 9.85 Km. (S/. 4.925).
- Los ahorros en gasolina se reflejarían de una mejor forma si el estudio se aplicara a todas las zonas de reparto en la ciudad de Lima.
- Estos ahorros que se logran al aplicar los algoritmos, no solo nos permite tener un ahorro en la distancia recorrida sino también generará un ahorro de tiempo y de costo respecto al combustible y el recorrido.

## 5.2 Recomendaciones

- Para el algoritmo de Ahorros que logró optimizar las rutas con mejores resultados se puede analizar también el tiempo, y el costo que implica la ruta escogida.
- Cada ruta optimizada por los algoritmos, al ser plasmados en el mapa real deben de ser trazadas según las señales viales de tránsito correctas para reflejar un resultado que se acerque a la realidad.
- Los transportistas deberían de rutear los puntos de reparto antes de empezar con la distribución ya que así podrán reflejar cómo van a realizar el reparto en las zonas. Esto les generará un ahorro de tiempo ya que los transportistas pierden tiempo al realizar su ruteo en plena zona.

- El resultado de los algoritmos podría mostrar mejores resultados si se tuviesen pocos puntos de reparto, para las empresas en las que los transportistas tienen diariamente unos 15 a 20 puntos y la aplicación de los algoritmos les podría generar mayores ahorros.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- OLIVERA, Alfredo  
2004. Heurística para Problemas de Ruteo de Vehículos  
Montevideo: Instituto de Computación, Facultad de  
Ingeniería, Universidad de la República.
- APPLGATE, David  
2006. “Dantzig, Fulkerson, and Johnson”. The traveling  
salesman problem: a computational study. New  
Jersey: Princeton University Press. pp. 81 – 93.
- CLARKE, G., WRIGHT, W  
1964 “Scheduling of vehicles from a central depot to a  
number of delivery points”. Operations Research 12.  
pp 568–581.
- CORDEAU, F., DESAULNIERS, G., DESROSIERES, J., SOLOMON  
M., SOUMIS, F.  
1999 The VRP with time windows. Technical Report  
Cahiers du GERAD G-99-13, Ecole des Hautes  
Etudes Commerciales de Montreal
- DANTZIG, G., FULKERSON, D.  
1954 Solution of a large scale traveling salesman problem.  
Operations Research 2 pp 393–410.
- MARTELLO, S., TOTH, P  
1990, Knapsack problems: algorithms and computer  
implementations. John Wiley and Sons.
- MOLE, R.H., JAMESON S.R.  
1976 A sequential route-building algorithm employing a  
generalised saving criterion. Operational Research  
Quarterly 503-511.
- LIN, S  
1965 Computer solutions of the travelling salesman  
problem. Bell System Technical Journal 2245-2269.
- CHRISTOFIDES, N., MINGOZZI, A., TOTH, P.  
1979 The Vehicle Routing Problem. In: Combinatorial  
Optimization 315-338.

- GILLET, B., MILLER, L.  
1974 A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem.  
Operations Research 22 340–349.
- BRAMEL, J., SIMCHI-Levi, D.  
1995 A location based heuristic for general routing problems.  
Operations Research 43 (1995) 649–660



## Anexo 1: Direcciones en orden de ruta Actual – San Juan de Miraflores

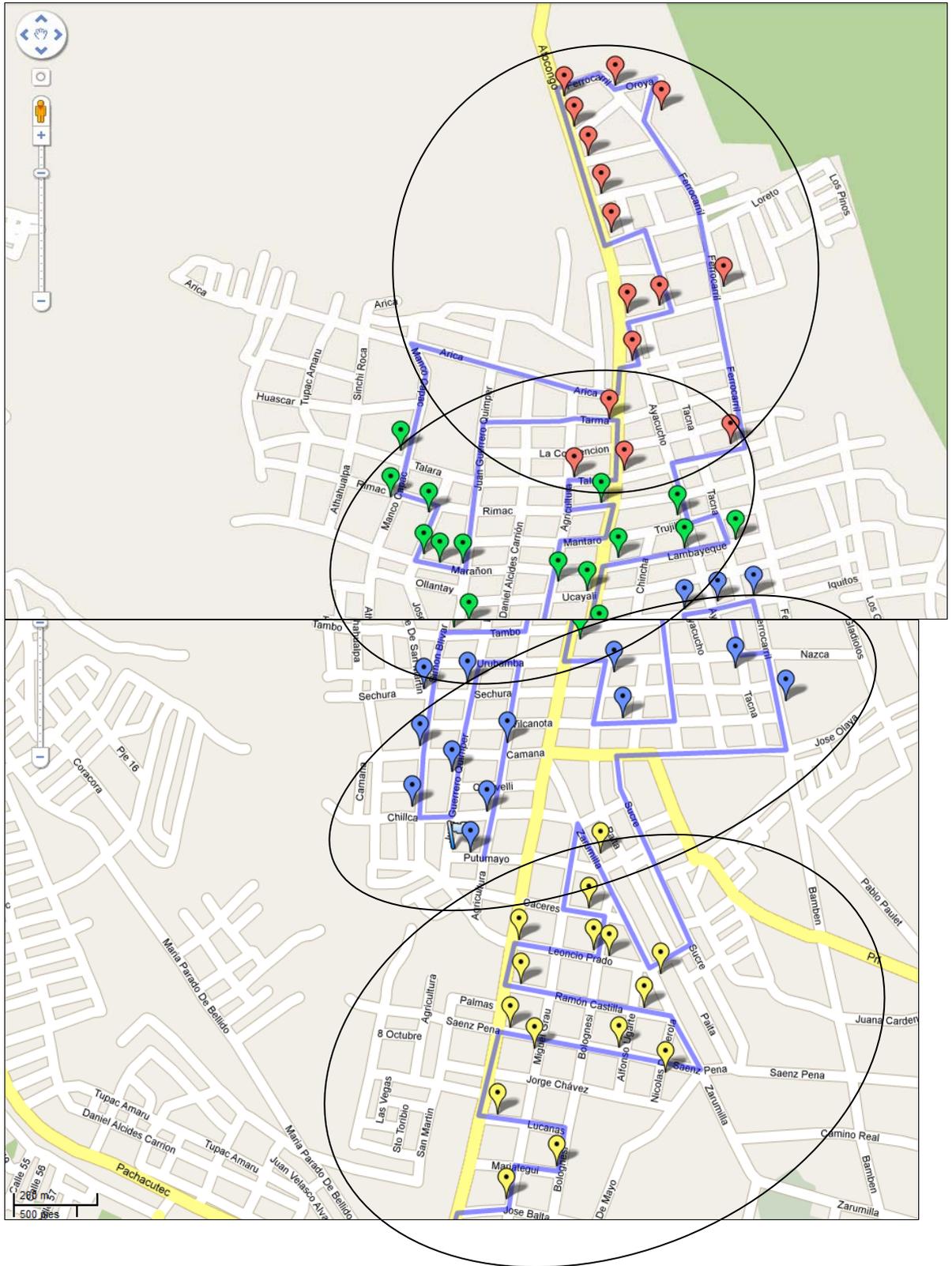
1	Mz C Lte 12	36	Mz A Lte 14
2	Mz D Lte 2	37	Mz H Lte 5
3	Mz. LL Lte.7	38	Mz K Lte 4
4	Mz D Lte 9	39	Mz H Lte 10
5	Mz B Lte 21	40	Mz H Lte 15
6	Mz. L Lte 13	41	Mz F Lte 47
7	Mz H Lte 4	42	Mz F Lte 37
8	Mz J Lte 12	43	Mz G Lte 12
9	Mz LL Lte 21	44	Mz H Lte 15
10	Mz J Lte 23	45	Mz H Lte 46
11	Mz J Lte 20	46	Mz B Lte 13
12	Mz F Lte 11	47	Mz A Lte 17
13	Mz G Lte 34	48	Mz L Lte 19
14	Mz E Lte 10	49	Mz P Lte 1
15	Mz D Lte 29	50	Mz M Lte 37
16	Mz D Lte 32	51	Mz G Lte 32
17	Lilas Mz E Lte 9	52	Mz F Lte 6
18	Mz F Lte32	53	Mz E Lte 48
19	Mz I Lte 23	54	Mz N Lte 23
20	Mz I Lte 12	55	Mz G Lte 5
21	Mz H Lte 46	56	Mz A Lte 22
22	Mz H Lte 44	57	Mz K Lte 24
23	Mz H Lte 30	58	Mz B Lte 15
24	Mz A Lte 4	59	Mz J Lte 28
25	Mz. A Lte 5	60	Mz E Lte 36
26	Mz A Lte 18	61	Mz I Lte 8
27	Mz K Lte 20	62	Mz I Lte 15
28	Mz A Lte 30	63	Mz I Lte 26
29	Mz H Lte 23	64	Mz F Lte 13
30	Mz I Lte 28	65	Mz F Lte 22
31	Mz A2 Lte 14	66	Mz E Lte 7
32	Mz A2 Lte 21	67	Mz D Lte 28
33	Mz A2 Lte 26	68	Mz C Lte 36
34	Mz A Lte 37	69	Mz B Lte 3
35	Mz A1 Lte 15	70	Mz B Lte 35

## Anexo 2: Direcciones en orden de ruta Actual – Villa Maria del Triunfo

1	Miguel Grau 2320	31	Ferrocarril 512
2	Bolognesi 1990	32	Las dunas Mz 111 Lte 2
3	Lucanas 157	33	Ferrocarril 101
4	Saenz Peña 120	34	Lima 117
5	Miguel Grau 2042	35	Inmaculada Mz. A Lte 1
6	Alfonso Ugarte 2005	36	Libertad 207
7	Nicolas de Pierola 1740	37	Praderas Mz B Lte. 7
8	Castilla 482	38	Av. Lima Mz 14 Lte 2
9	Castilla 167	39	Ica 127
10	Lima 1795	40	Jr. Lima Mz 43 Lte 1
11	Bolognesi Mz 163	41	Arequipa 176
12	Leoncio Prado 367	42	Manco Capac 999
13	Caceres 256	43	Rimac 799
14	Agricultura 100	44	Rimac 698
15	Zarumilla 1489	45	Jose De San Martín 2016
16	Zarumilla 1979	46	Marañón 241
17	Ferrocarril 1250	47	Mariam Quimper 149
18	Tacna 1097	48	Tarma 1369
19	Iquitos 478	49	Lima 1035
20	Ayacucho 960	50	Agricultura 1747
21	Iquitos 202	51	Rimac 121
22	Supe 235	52	Agricultura 1675
23	Nazca 289	53	Urubamba 134
24	Nazca 176	54	Simon Bolivar 979
25	Lima 1640	55	San Martin 1163
26	Lambayeque 140	56	San Martin 1264
27	Lambayeque 278	57	Mariam Quimper 1480
28	Lambayeque 467	58	Alcides Carrion 128
29	Ayacucho Mz. 40	59	Chilca 231
30	Apurimac 340	60	Putumayo 1490

## Anexo 3: Gráficos para la aplicación del algoritmo de Ahorros

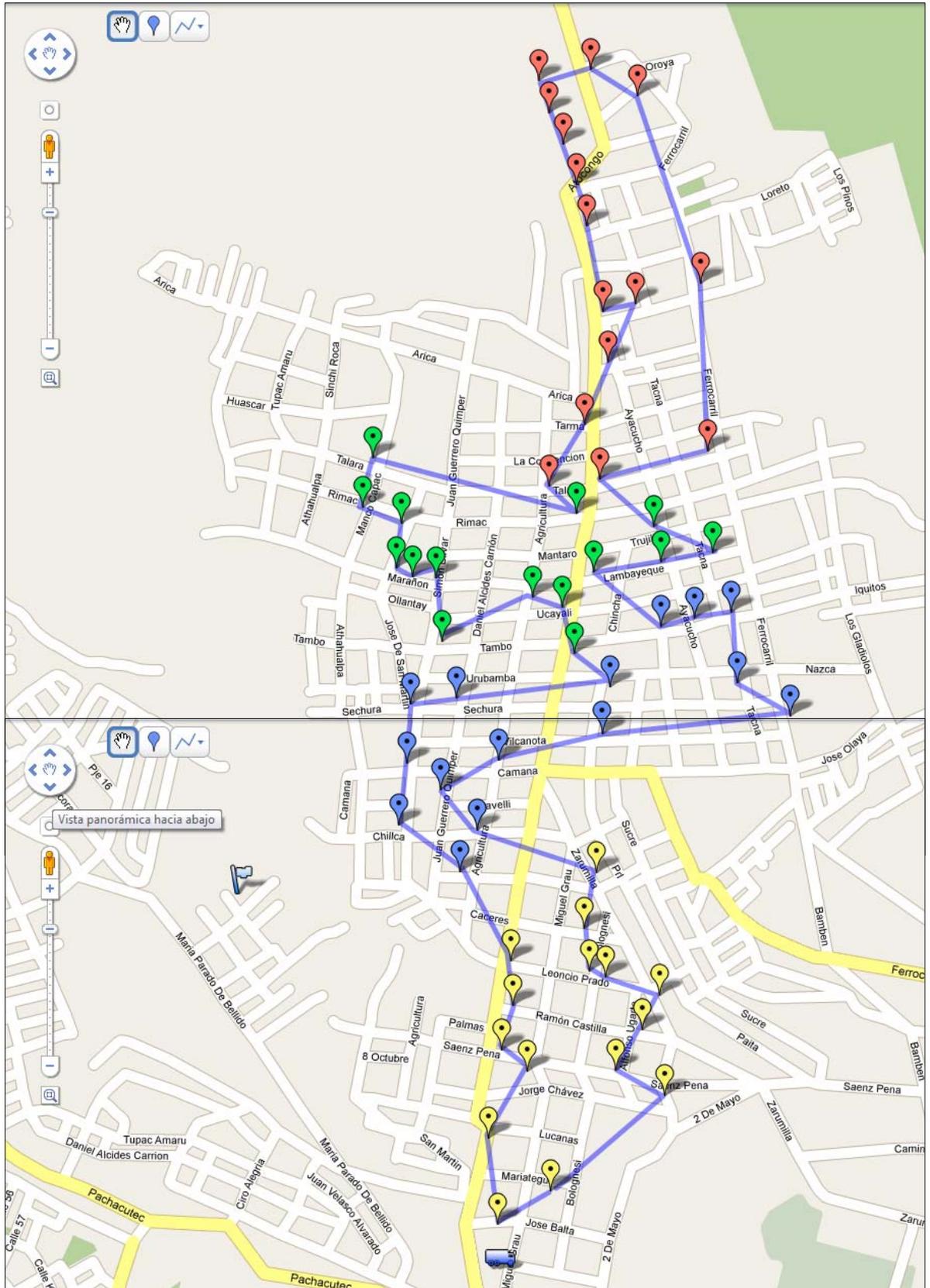
### Clúster inicial - Villa María Del Triunfo



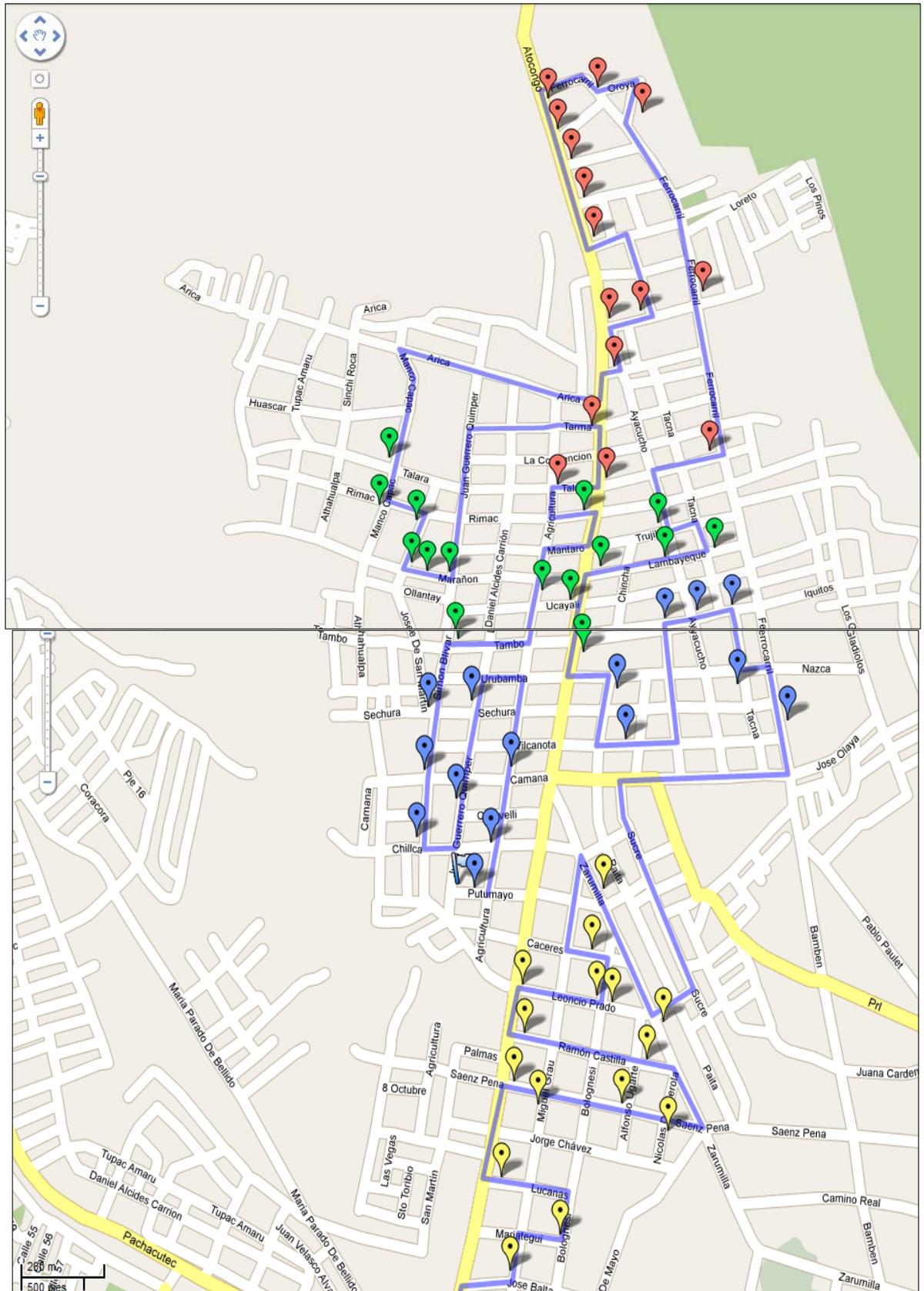
### Ruta ideal de Clústers – Villa Maria Del Triunfo



### Gran Ruta Ideal – Villa María del Triunfo



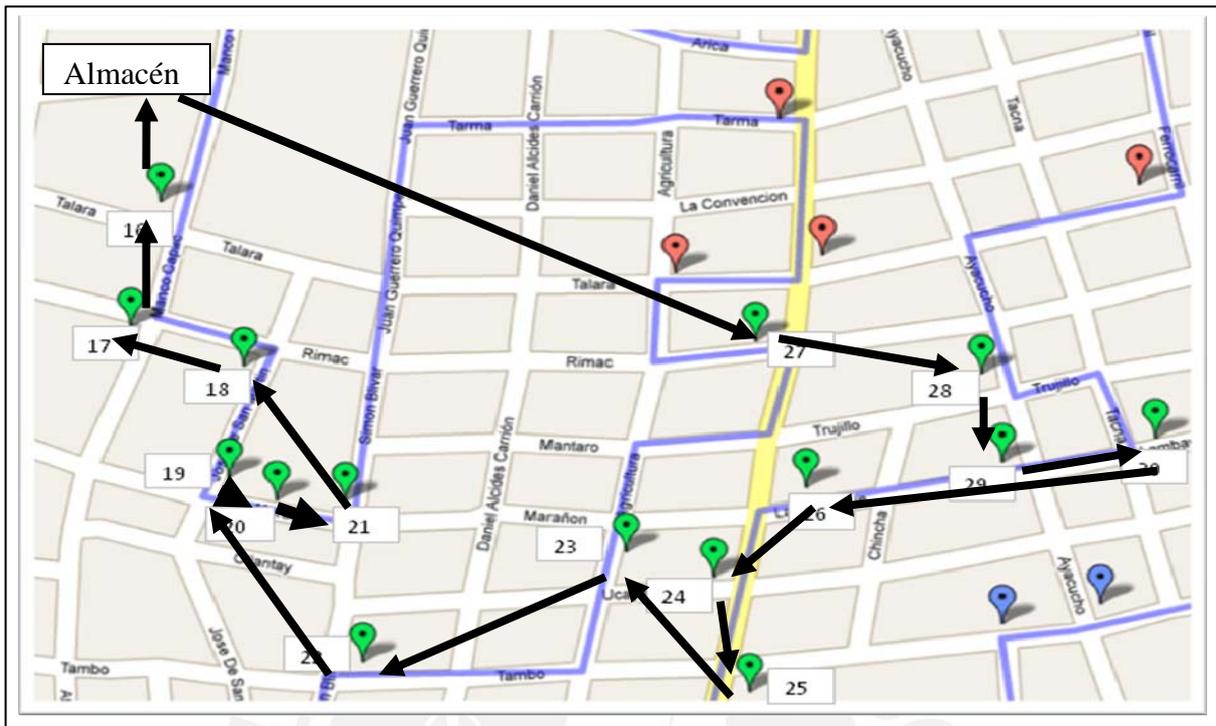
### Ruta Final en plano real – Villa María del Triunfo



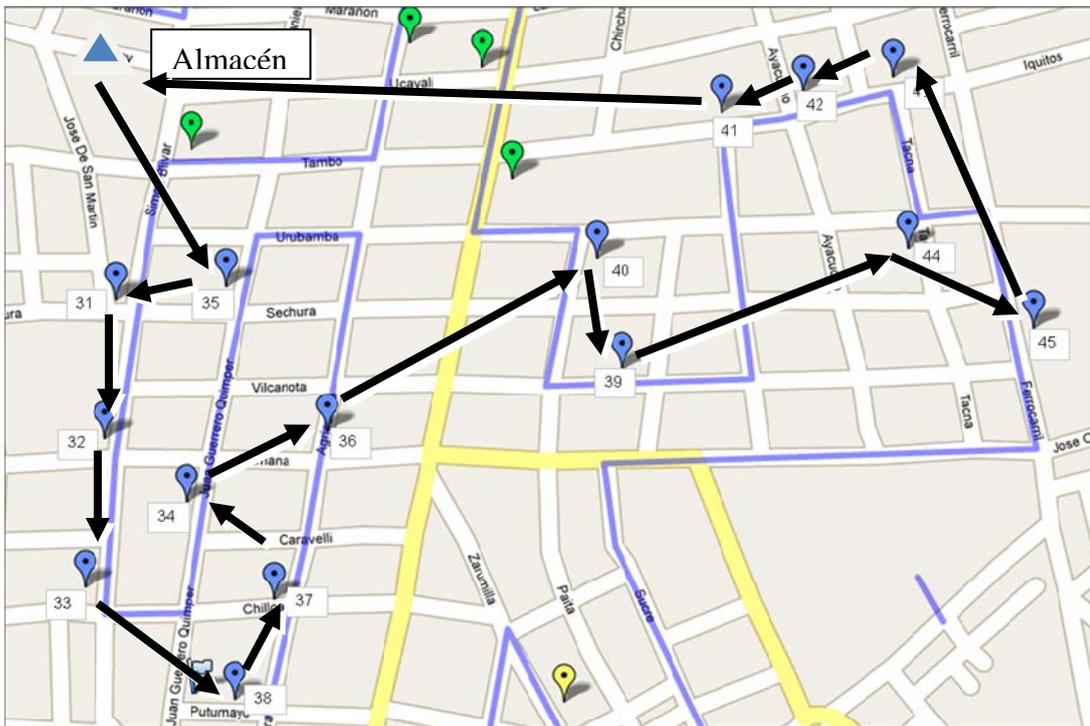
### Ruta para el 1° cluster (rojo)-VMT



Ruta para el 2° cluster (verde)-VMT



### Ruta para el 3° cluster (azul)



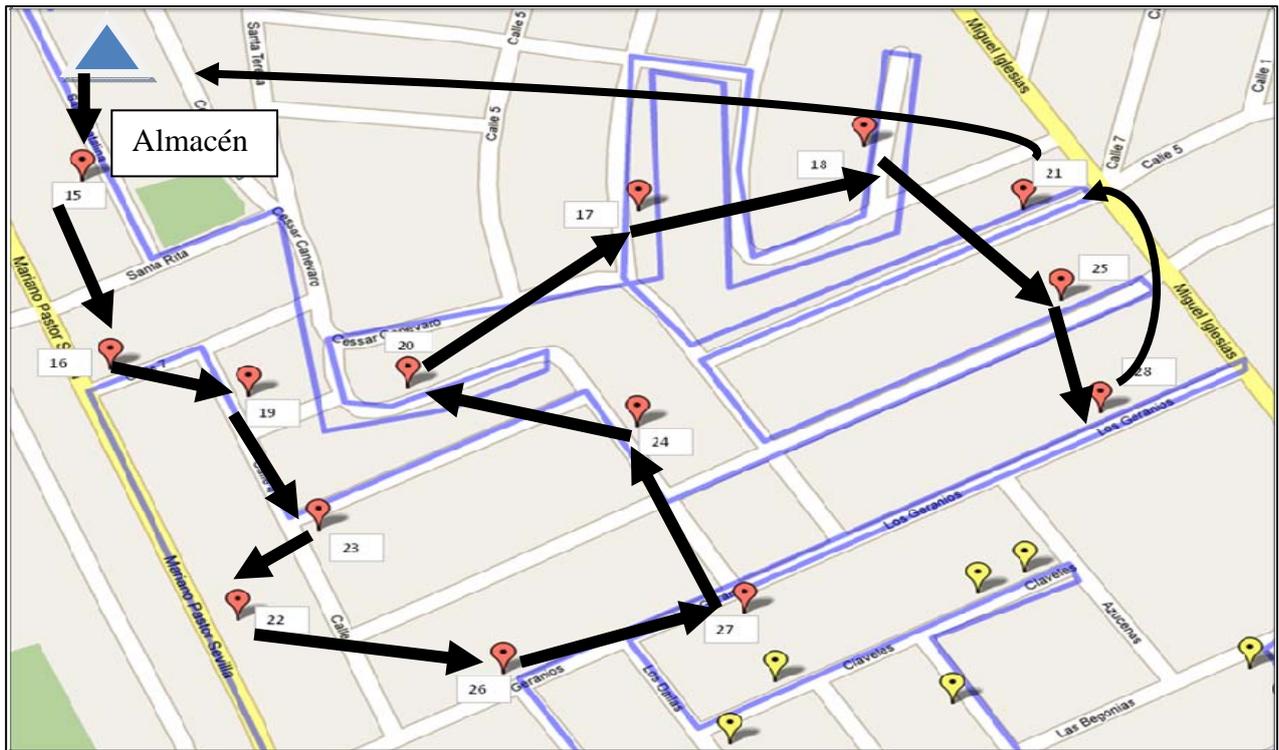
### Ruta para el 4° cluster (amarillo)



### Ruta para el 1° cluster (azul)-SJM



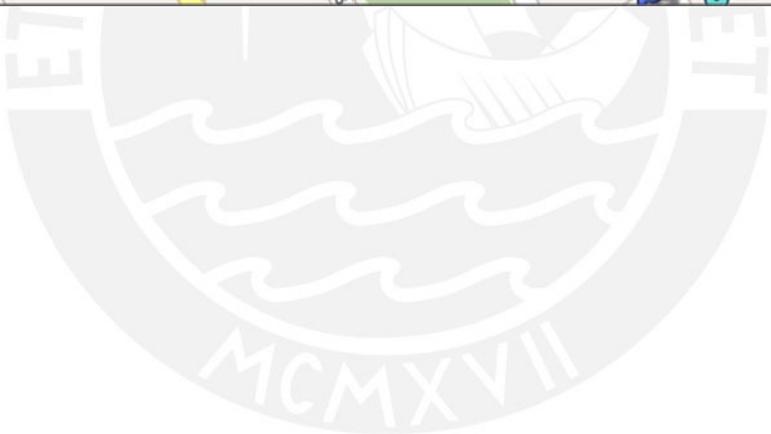
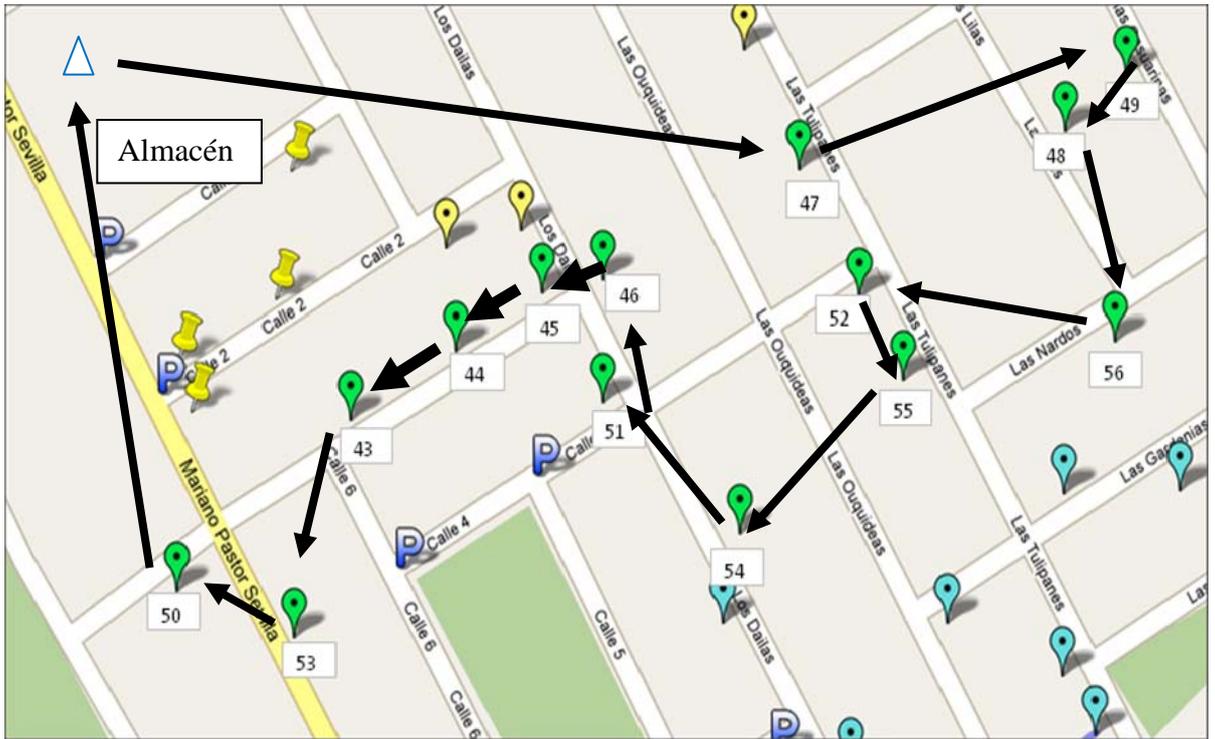
### Ruta para el 2º cluster (rojo)-SJM



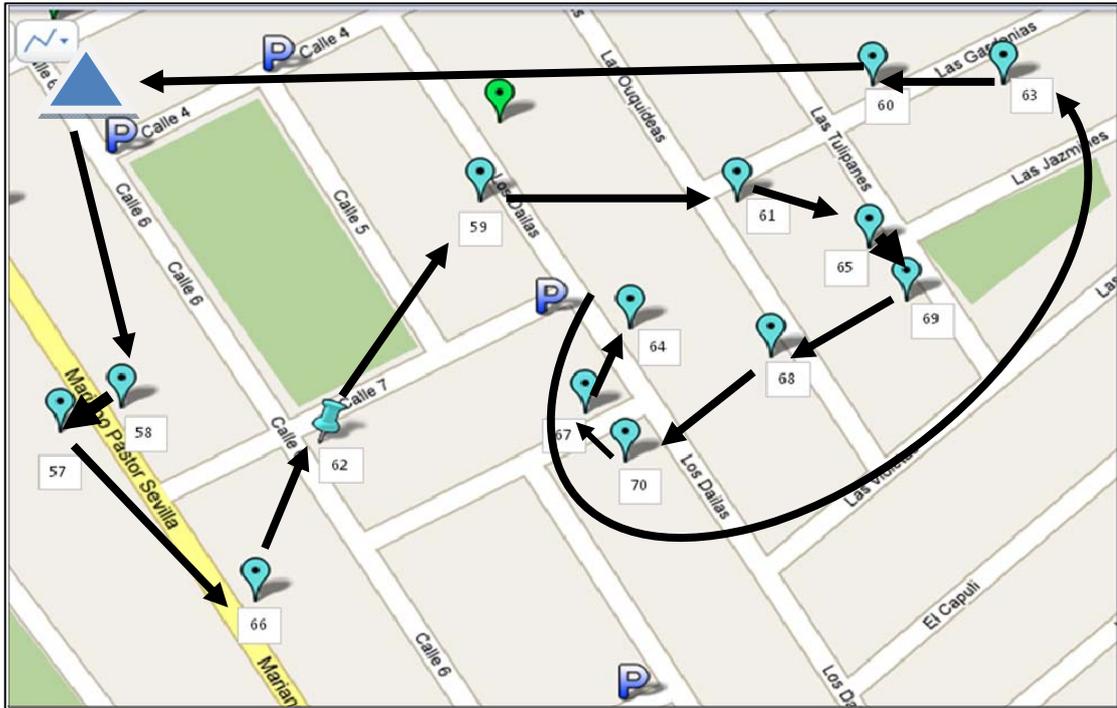
### Ruta para el 3° cluster (amarillo)-SJM



### Ruta para el 4° cluster (verde)-SJM



### Ruta para el 5° cluster (celeste)-SJM



### Anexo 4: Cuadros para la aplicación del algoritmo de Ahorros 1 °Cluster (rojo)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	64978	64972	65075	65046	65049	65070	64950	65041	65056	65033	65001	64935	64991	65063	
2		2	65177	65111	65117	65134	65139	65140	65150	65196	65124	65080	65002	65073	65180	
3			3	65147	65195	65251	65277	65295	65320	65394	65280	65230	65146	65230	65365	
4				4	65274	65276	65277	65276	65268	65276	65260	65226	65159	65217	65290	
5					5	65404	65404	65404	65397	65401	65386	65352	65279	65342	65418	
6						6	65601	65600	65593	65587	65583	65545	65470	65536	65615	
7							7	65801	65792	65760	65784	65744	65664	65736	65813	
8								8	66122	66016	66184	66137	66050	66135	66200	
9									9	66094	66152	66098	66004	66106	66222	
10										10	66071	66030	65938	66062	66263	
11											11	66346	66254	66350	66393	
12												12	66507	66590	66510	
13													13	66672	66496	
14														14	66664	
15															15	

T=0	
<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> misma ruta	
<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span> Ahorro max	

ruta	0	13	14	15	12	11	8	9	10	7	6	5	4	3	2	1	0
------	---	----	----	----	----	----	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

2° Cluster(verde)-VMT

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	16	66183.3	66204.92	66340.5	66199.95	66207.38	66196.48	66182.08	66174.3	66182.84	66118.44	66075.62	66016.24	66047	65989.22
		17	66374.46	66540.9	66393.14	66386.79	66391.2	66329.5	66317.62	66338.8	66239.5	66169.85	66110.31	66154.65	66089.45
			18	66666.9	66533.92	66541.94	66531.24	66494.69	66482.81	66501.74	66404.61	66327.46	66271.27	66317.86	66251.1
				19	66847.57	66826.64	66850	66750.72	66738.3	66776.32	66637	66527.44	66481.5	66543.12	66471.55
					20	66756.3	66776.37	66681.64	66669.63	66708.83	66564.55	66446.06	66404.34	66469.23	66398
						21	66822.02	66765.25	66752.36	66787.79	66648.45	66525.25	66486.69	66553	66481.34
							22	66888.87	66892.67	66975.08	66755.5	66580.73	66574.9	66664.2	66584.32
								23	67127.19	67138.91	67006.5	66809.54	66825.54	66913.11	66841.15
									24	67250.63	67108.93	66868.62	66927.49	67028.97	66960.2
										25	67125.68	66864.89	66955.5	67089.48	67034.57
											26	66907.97	66996.41	67084.07	67011.55
												27	66860.19	66887.25	66833.71
													28	67147.19	67130.02
														29	67227.74
															30

T=0	
misma ruta	
Ahorro max	

RUTA

0	27	28	29	30	26	24	25	23	22	19	20	21	18	17	16	0
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---

3° Cluster (azul)-VMT

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	67257.21	67223.42	67274.73	67213.26	67252.71	67276.13	67270.58	67097.97	67023.61	66817.49	66768.37	66711.81	66877.24	66879.68	
32	67467.35	67491.77	67243	67388.56	67487.68	67502.28	67196.58	67093.04	66866.62	66819.38	66766.19	66956.96	66973.67		
33	67573.96	67221.8	67436.51	67641.37	67713.1	67250.28	67121.27	66884.65	66841.34	66792.06	67006.17	67038.9			
34	67309.86	67540.57	67675.56	67675.78	67348.3	67226.68	66991.05	66946.9	66896.7	67105.62	67131.12				
35	67362.04	67336.99	67313.93	67237.18	67167.15	66962.57	66914.05	66858.01	67024.3	67025					
36	67641.38	67608.87	67505.63	67385.66	67147.55	67105.04	67055.55	67263.38	67284.08						
37	67887.8	67503.06	67352.36	67109.07	67071.85	67028.63	67261.72	67305.09							
38	67485.66	67325.6	67081.45	67046.99	67006.27	67249.3	67303.65								
39	67670.96	67455.91	67433.92	67399.74	67635.45	67657.79									
40	67436.28	67397.96	67349.7	67535.69	67531.22										
41	67512.14	67455.51	67550.9	67530											
42	67564.26	67621.61	67606.71												
43	67664.82	67674.38													
44	67959.22														
45															

T=0

misma ruta

Ahorro max

RUTA

0	35	31	32	33	38	37	34	36	40	39	44	45	43	42	41	0
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---

4° Cluster(amarillo)-VMT

	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	46	68358.6	68187.42	68189.7	68168.4	68216.98	68130.9	68129.04	68229.31	68344.13	68369.21	68342	68372.85	68391.7	68372.69		
		47	68376.18	68400.1	68383.69	68437.29	68351.63	68351.7	68452.24	68563.93	68580.03	68556.93	68572.99	68570.62	68574.65		
			48	68520.72	68497.74	68514.83	68450.27	68434.76	68505.33	68460.92	68461.52	68523.65	68481.68	68432.8	68511.98		
				49	68674.54	68693.83	68628.78	68614.47	68684.6	68527.4	68537.82	68670.33	68598.11	68524.03	68653.93		
					50	68852.96	68814.44	68797.75	68856.62	68528.99	68549.92	68764.61	68654.89	68559.23	68751.47		
						51	68912.72	68911.23	68990.36	68597.65	68628.34	68898.06	68770.27	68662.24	68889.72		
							52	69160.98	69175.06	68510.39	68542.65	68860.37	68709.32	68590.96	68884.97		
								53	69396.78	68518.51	68559.61	68924.56	68762.58	68637.45	68994.91		
									54	68625.22	68671.75	69055.69	68894.06	68766.76	69155.27		
										55	68740.22	68732.04	68738.32	68710.79	68744.44		
											56	68792.8	68813	68790.71	68815.93		
												57	69038.63	68911.18	69182.88		
													58	68972.82	69098.87		
														59	68989.61		
															60		
RUTA	0	48	49	50	51	52	54	53	57	60	58	59	56	55	47	46	0

1° Cluster (azul)-SJM

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	54506.03	54527.2	54497.54	54494.26	54505.29	54522.75	54494	54519.67	54509.51	54523.58	54521.01	54503	54525.82	
2		54584.04	54611.31	54605.9	54613.57	54601.29	54602.49	54613.38	54611.96	54605.72	54611.06	54607.9	54618.34	
3			54601.3	54613.66	54637.87	54675.86	54627.4	54667.55	54651.44	54675.8	54672.9	54643.45	54676.52	
4				54601.3	54693.76	54698.33	54658.31	54688.84	54686.03	54693.83	54670.81	54682.19	54691.84	54693.26
5					54782.44	54713.68	54774.53	54758.94	54776.6	54737.74	54755.92	54776.6	54771.11	
6						54791.77	54888.75	54861.3	54893.1	54836.43	54864.3	54893.24	54885.53	
7							54804.66	54887.7	54853.48	54920.65	54912.15	54851.84	54916.54	
8								54891.47	54956.63	54876.1	54914.15	54978.93	54954.61	
9									54946.12	54955.73	54975.89	54944.27	54984.64	
10										54937.42	54977.34	55011.78	55011.36	
11											55051.36	54960.11	55068.69	
12												55007.81	55103.47	
13													55084.03	
14														14

misma ruta   
 t=0   
 ruta

RUTA 0 1 3 7 9 11 12 14 13 10 8 6 5 4 2 0



3° Cluster (amarillo)-SJM

	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42		
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	29	56138.28	56099.96	56227.44	56212.18	56180.12	56113.55	56136.26	56176.97	56143.99	56226.09	56242.31	56221.7	56121.68		
		30	56201.82	56130.65	56224.22	56084.32	56193.75	56042.19	56085.65	56051.53	56149.08	56178.38	56226.49	56196.16		
			31	56093.59	56194.3	56047.61	56199.46	56004.84	56048.95	56015.33	56114.73	56146.13	56203.89	56200.36		
				32	56221.58	56253.14	56120.47	56209.56	56250.66	56217.48	56296.07	56307.28	56251.03	56132.63		
					33	56184.55	56238.72	56145.57	56190.23	56156.31	56260.44	56291.91	56336.03	56248.82		
						34	56090.47	56356.77	56393.6	56363.14	56382.82	56364.84	56320.16	56107.35		
							35	56057.11	56104.02	56071.91	56181.74	56220.44	56304.34	56398.83		
								36	56433	56481.63	56373.41	56352.14	56210.91	56077.5		
misma ruta t=0 ruta									37	56445.29	56419.5	56397.71	56258.1	56124.68		
										38	56390.65	56370.02	56226.79	56093.89		
											39	56479.26	56337.8	56204.77		
												40	56376.78	56244.67		
													41	56346.19		
														42		
RUTA	0	29	32	34	36	38	37	39	40	41	42	35	33	30	31	0

4° Cluster (verde)-SJM

	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56		
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
	43	56520	56478.7	56424.49	56363.64	56295.96	56255.47	56514.81	56515.32	56414.95	56557.53	56513.65	56431.31	56362.61		
		44	56519.16	56504.35	56403.94	56335.64	56295.22	56454.65	56546.5	56452.02	56505.9	56535.08	56464.62	56397.68		
			45	56544.3	56444.8	56375.56	56335.64	56414.35	56563.78	56488.66	56468.68	56550.02	56497.18	56432.39		
				46	56479.55	56411.6	56371.28	56400.55	56576.22	56524.2	56457.36	56572.34	56531.23	56467.54		
					47	56488.76	56450.48	56300.33	56493.39	56566.73	56360.71	56536.11	56563.23	56525.1		
						48	56597.68	56235.91	56435.15	56555.27	56301.56	56510.67	56577.52	56630.21		
							49	56194.26	56393.12	56512.82	56259.18	56469.23	56536.62	56603.27		
								50	56461.15	56358.48	56619.48	56476.67	56379.99	56310.71		
									51	56556.72	56526.45	56646.05	56575.36	56506.64		
										52	56425.37	56630.92	56675.01	56622.89		
											53	56551.81	56451.17	56383.35		
												54	56672.37	56610.2		
													55	56671.62		
														56		
RUTA	0	47	49	48	56	52	55	54	51	46	45	44	43	53	50	0

5° Cluster (celeste)-SJM

	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	56867.3	56691.53	56565.37	56648.87	56845.29	56530.53	56731.59	56648.45	56890.74	56780.74	56712	56660.04	56786.18		
58		56704.9	56577.82	56661.06	56854.5	56544.04	56743.69	56661.24	56885.05	56791.28	56723.35	56672.19	56795.82		
59			56711.87	56788.07	56794.56	56674.98	56836.12	56778.88	56775.84	56845.84	56818.11	56881.93	56840.96		
60				56832.1	56682.92	56842.4	56796.62	56873.75	56672.83	56790.19	56842.88	56871.51	56801.79		
61					56770.14	56802.06	56883.87	56908.51	56760.32	56877.08	56914.63	56906.34	56885.3		
62						56653.85	56861.43	56777.11	56961.33	56915.73	56844.66	56791.6	56921.19		
63							56874	56866.81	56645.51	56766.45	56829.09	56873.42	56782.55		
64								56896.78	56855.16	56973.02	56956.69	56908.09	56975.13		
65									56775.71	56897.85	56962.38	56994.57	56914.94		
66										56918.82	56849.23	56795.63	56936.18		
67											56969.46	56915.4	57035.54		
68												56985.55	56991.65		
69													56939.71		
70														70	
TA	0	60	63	64	67	70	68	69	65	61	59	62	66	57	58 0

misma  
ruta  
t=0  
ruta

