



FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

Localización óptima de centros de acopio y rutas de recolección de materia prima entre proveedores, centros de acopio y la empresa El Ordeño S.A. para la mejora de sus procesos de distribución.

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Producción Industrial.

Profesor Guía

Msc. Ing. Logístico Frank Eduardo Alarcón Olalla

Autor

Xavier Andrés Pins León

2016

## **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

---

Frank Eduardo Alarcón Olalla

Msc. Ing. Logístico

C.I. 171331571-9

### **DECLARACIÓN DEL ESTUDIANTE**

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

---

Xavier Andrés Pins León

C.I. 0103481875

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer principalmente a Dios y a mis padres por todo su apoyo y cariño, por ser una guía en mi camino, por el amor incondicional, por toda su paciencia y por hacerme cada día una mejor persona, a mis hermanos por ser mi apoyo y compañía aún en los momentos más difíciles, por ser mis compañeros en la vida y cómplices tanto en las travesuras como en los logros alcanzados.

Quiero agradecer también a la empresa El Ordeño S.A. por todo su apoyo para la realización de esta tesis y en especial a Juan Pablo Grijalva por la apertura y motivación para convertir de este tema una pasión.

A todos mis profesores por ser más que educadores unos grandes amigos, con quien se ha podido contar en cualquier situación, a mi profesor guía por ayudarme a alcanzar esta meta que es tan importante en mi vida.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, ya que han sido las personas que, aunque presionaron por la culminación de este trabajo, fueron siempre los ejemplos a seguir que he tenido en mi vida y que pienso algún día poder llegar a ser para alguien, lo que ellos han llegado a ser en mi vida, los que me enseñaron todo el ejemplo de perseverancia y superación cuando los momentos se ponen difíciles, que no hay que bajar los brazos ante nada, que la humildad es lo más importante en la vida y que lo único que permanece junto ante cualquier problema es la familia y es lo que se debe tener siempre cerca.

## RESUMEN

Esta tesis trata sobre la optimización de las rutas de recolección de leche cruda que usa actualmente la empresa El Ordeño S.A; para lograr un mayor entendimiento sobre este tema se describen métodos óptimos, heurísticos y metaheurísticos y los diferentes tipos que existen. Para la creación de las nuevas rutas se utilizaron: el método de dos arcos, centro de gravedad, carga – distancia, Clarke y Wright y el algoritmo genético. Donde cada uno de estos dio un resultado diferente en cuanto a la creación de las rutas, con cada uno de estos métodos se obtuvieron variaciones en los resultados tanto en distancia como en costos por ruta, y se concluyó que las rutas que usa actualmente la empresa son la mejor opción para continuar usando ya que representan una mayor utilidad para la empresa, porque los costos de transportar e instalar la planta central de procesamiento de leche cruda en una de las ubicaciones ideales encontradas es demasiado elevado.

## **ABSTRACT**

This paper discusses the optimisation of raw milk collection routes that are currently used by the company El Ordeño S.A. In order to obtain a better understanding of this subject, different methods were utilized: optimal, heuristic and metaheuristic. Regarding the creation of new routes, the following methods were used: two arch method, center of gravity, load - distance, Clarke and Wright, and the genetic algorithm. Each of the different methods obtained diverse results regarding the creation of routes. The different methods obtained variations in both distance and cost per route. Therefore, it was concluded that the routes that are currently utilized by the company are the best option, as they represent higher utility for the company because because the cost of transporting and installing the central processing plant for raw milk in one of the ideal locations is too high.

# ÍNDICE

Introducción.....	1
Antecedentes .....	1
Alcance.....	3
Justificación.....	4
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos .....	5
1. Descripción de la situación actual de la empresa El Ordeño S.A.....	6
1.1 Distancia recorrida por el tanque cisterna. ....	7
1.2 Tiempos por ruta .....	9
1.3 Temperaturas al momento de la recolección .....	9
1.4 Cantidad producida por las haciendas asociadas y centros de acopio a la empresa El Ordeño .....	13
2. Referencias Bibliográficas.....	15

## 2.1: Significado de VRP y CVRP, Herramientas

exactas u óptimas .....	17
2.1.1 ¿Qué es VRP? .....	18
2.1.2 ¿Qué es CVRP? .....	19
2.2 Variaciones .....	19
2.2.1 VRP con ventanas de tiempo .....	19
2.2.2 VRP con recorrido de regreso (Backhaul) .....	20
2.2.3 VRP con restricción de distancia (Distance – Constrained VRP) .....	20
2.2.4 Método de ramificación y acotamiento (Branch and Bound) .....	21
2.2.5 Método de Centro de Gravedad .....	21
2.2.6 Método de Carga – Distancia .....	22
2.2.7 Algoritmo de Clarke y Wright .....	22
2.2.8 Algoritmo de Barrido (Sweep Algorythm) .....	23
2.2.9 Algoritmo de Pétalos .....	23
2.2.10 Método de Ruteo primero y Asignación después (Route first and cluster second) .....	23
2.2.11 Algoritmo Genético .....	23

3: Diseño y desarrollo del proceso .....	25
4: Validación del producto y proceso. ....	35
4.1 Método de los dos arcos.....	35
4.2 Método de Centro de Gravedad.....	43
4.3 Método de Carga – Distancia. ....	52
4.4 Método de Clarke y Wright.....	59
4.5 Algoritmo Genético .....	66
5. Análisis económico .....	82
5.1 Costos Iniciales .....	82
5.2 Costos por Algoritmo Genético .....	84
5.3 Costos por metodología de Clarke y Wright.....	86
5.4 Costos con el método de Centro de Gravedad.....	89
5.5 Costos con el método de Carga – Distancia .....	91
6. Recomendaciones y conclusiones.....	94
Conclusiones .....	94
Recomendaciones .....	96
Referencias .....	97

## Índice de figuras

Figura 1. Trazado actual de la ruta de recolección de leche.....	7
Figura 2. Representación gráfica de la ruta actual.....	8
Figura 3. Primer medidor de temperatura en el centro de acopio “La Chimba”.....	10
Figura 4. Segundo medidor de temperatura en el centro de acopio “La Chimba”.....	11
Figura 5. Tercer medidor de temperatura en el centro de acopio “La Chimba”.....	11
Figura 6. Cuarto medidor de temperatura en el centro de acopio “La Chimba”.....	12
Figura 7. Tabla de producción de leche por cada centro de acopio.....	14
Figura 8. Ubicación de los centros de acopio en el plano cartesiano.....	31
Figura 9. Trazado de la ruta actual en el plano cartesiano .....	31
Figura 10. Muestras de leche tomadas antes de ser transportadas .....	32
Figura 11. Muestra del examen de antibiótico en la leche tomada para la muestra.....	33
Figura 12. Muestras listas para ser transportadas.....	34
Figura 13. Primera propuesta de optimización con método de los dos arcos.....	37
Figura 14. Segunda propuesta de optimización con el método de los dos arcos .....	38
Figura 15. Tercera propuesta de optimización con el método de los dos arcos .....	39
Figura 16. Localización del punto ideal.....	49
Figura 17. Resultados después de la simulación.....	50

Figura 18. Localización de la planta central ficticia.....	56
Figura 19. Resultados de la simulación con la nueva ubicación de planta central .....	58
Figura 20. Trazado de las nuevas rutas propuestas .....	64
Figura 21. Diagrama de flujo del primer proceso del Algoritmo Genético .....	68
Figura 22. Diagrama de flujo para el ingreso de datos en el Algoritmo Genético.....	69
Figura 23. Diagrama de flujo para asegurar que se hayan visitado todos los puntos al menos una vez.....	70
Figura 24. Diagrama de flujo donde se asignan las mejores secuencias de ruta .....	71
Figura 25. Diagrama de flujo para la evaluación de la ruta.....	73
Figura 26. Lista de los centros de acopio .....	75
Figura 27. Llenado de tablas con distancias entre cada uno de los centros de acopio .....	76
Figura 28. Lista de los centros con la información completa.....	77
Figura 29. Lista de los centros de acopio en el orden de recolección actual.....	77
Figura 30. Demostración de la simulación con el Algoritmo Genético.....	79
Figura 31. Resultados de la simulación usando el Algoritmo Genético.....	80

## Índice de tablas

Tabla 1. Nombres de los centros de acopio .....	26
Tabla 2. Distancias entre cada uno de los centros de acopio .....	28
Tabla 3. Cuadro de distancias usando la metodología de Centro de Gravedad .....	43
Tabla 4. Tabla de coordenadas en los ejes X y Y .....	45
Tabla 5. Cantidad de litros de leche producidos por cada uno de los centros de acopio .....	47
Tabla 6. Coordenadas resultantes usando el método de Centro de Gravedad .....	48
Tabla 7. Coordenadas de la ubicación óptima.....	49
Tabla 8. Resultados de las distancias rectilínea y euclidiana .....	54
Tabla 9. Resultado del análisis de las distancias .....	55
Tabla 10. Cuadro de distancias usando la metodología de Carga - Distancia .....	57
Tabla 11. Cuadro de distancia usando la metodología de Clarke y Wright .....	60
Tabla 12. Tabla de ahorro de distancia .....	61
Tabla 13. Cuadro de la cantidad de litros de leche producidos por cada centro de acopio .....	62
Tabla 14. Cuadro con los centros en el orden a ser visitados .....	63
Tabla 15. Costos iniciales de la ruta actual .....	83
Tabla 16. Costo del vehículo 1 usando el Algoritmo Genético .....	84
Tabla 17. Costo del vehículo 2 usando el Algoritmo Genético .....	85
Tabla 18. Costo del vehículo 3 usando el Algoritmo Genético .....	85
Tabla 19. Costo del vehículo 4 usando el Algoritmo Genético.....	86

Tabla 20. Costo del vehículo 1 usando el Método de Clarke y Wright .....	87
Tabla 21. Costo del vehículo 2 usando el Método de Clarke y Wright .....	87
Tabla 22. Costo del vehículo 3 usando el Método de Clarke y Wright .....	88
Tabla 23. Costo del vehículo 4 usando el Método de Clarke y Wright .....	88
Tabla 24. Costo del vehículo 1 usando el Método de Centro de Gravedad .....	90
Tabla 25. Costo del vehículo 2 usando el Método de Centro de Gravedad .....	91
Tabla 26. Costo del vehículo 3 usando el Método de Centro de Gravedad .....	91
Tabla 27. Costo del vehículo 4 usando el Método de Centro de Gravedad .....	92
Tabla 28. Costo del vehículo 1 usando el Método de Carga – Distancia .....	93
Tabla 29. Costo del vehículo 2 usando el Método de Carga – Distancia .....	93
Tabla 30. Costo del vehículo 3 usando el Método de Carga – Distancia .....	94
Tabla 31. Costo del vehículo 4 usando el Método de Carga – Distancia .....	94
Tabla 32. Cuadro comparativo entre cada uno de los métodos utilizados .....	95

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes**

La planta de leche en polvo El Ordeño, comienza sus operaciones en el año 2002 en el sector de Machachi, provincia de Pichincha, motivada por los lineamientos de defensa del sector promulgados por la Asociación de Ganaderos de la Sierra y el Oriente.

Inicia oficialmente su actividad a partir del año 2003 con el fin de impulsar el desarrollo del sector ganadero, sustituir importaciones, captar los excedentes, abastecer de leche en polvo a los programas de alimentación del Gobierno, así como a la industria local procesadora de helados, galletas, confites y para la exportación.

Esta empresa ha continuado creciendo, y con el fin de afianzar el modelo, se inició con un proceso de diversificación de la producción para poder llegar a más mercados con leche de calidad, por lo que en el año 2012 se inauguró, con tecnología Tetra Pak, la planta más moderna del Ecuador para el proceso de leche UHT.

Gracias a esta planta se atiende a las familias con la mejor leche líquida del mercado y se contribuye a mejorar la nutrición de los niños ecuatorianos, apoyando la ampliación de la cobertura de alimentación por medio del Programa Desayuno Escolar y para la exportación.

El modelo que se planteó para esta nueva empresa fue el de la incorporación de pequeños productores campesinos e indígenas al circuito económico, la organización de grupos asociativos de estos productores con visión empresarial, dar la viabilidad de exportación a través de capacitación técnica y administrativa, y la potenciación de la gente del campo elevando el autoestima, hace de EL ORDEÑO una industria ecuatoriana que incentiva la producción de la leche en el Ecuador con una estrategia empresarial asociativa incluyente.

Entre las principales prácticas se busca que los productores vean y vivan las realidades de otros países, para lo cual se ha llevado a líderes a conocer los sistemas de producción en Nueva Zelanda, Colombia y Argentina. De esta forma no solo mejora su conocimiento, sino que se dan cuenta de que lo que se hace en otros lugares del mundo, y lo que ellos pueden hacer en sus tierras y de ese modo se empoderan del cambio y crece su autoestima.

El Ordeño sirve como ancla para que los productores que antes no tenían acceso a crédito para sus emprendimientos, sean ganaderos, industriales y hasta familiares, puedan ser beneficiarios a través de líneas de crédito concedidas por la banca pública o privada.

Bajo el modelo implantado por la empresa, los productores tienen la oportunidad de unirse, acceder a programas de capacitación, asistencia técnica, manejo de pasturas e incorporarse en programas de desarrollo genético, de gestión sanitaria, con lo cual llegan a producir mejor leche, obtienen precios justos que mejoran su calidad de vida.

El proceso de recolección de la leche se basa en los procesos implementados por El Ordeño para que todos los productores y colaboradores de esta empresa tengan el mismo sistema y así lograr estandarizar los procesos lo cual resulta en una gran ayuda para mantener un mejor control en la calidad de la materia prima.

El proceso consiste en que el pequeño productor ordeña la leche a las 04h00 y las 16h00 todos los días, llevando la leche a los tanques fríos que se encuentran en los centros de acopio cercanos; una vez que ha pasado todas las pruebas de control de calidad en cada uno de ellos, es enfriada para conservar su frescura, y es transportada en camiones cisterna, para evitar deterioros y que la materia prima llegue en las mejores condiciones antes de ser utilizada para la obtención de los productos.

Una vez que la leche llega a las plantas procesadoras, es sometida a rigurosos análisis, y destinada para la elaboración de leche en Polvo, siendo expuesta a tratamientos térmicos de pasteurización y evaporación para facilitar el secado en la Torre Spray.

Parte de la leche se utiliza para la producción de leche UHT en Brick o en Funda de Polietileno, siendo previamente esterilizada a temperaturas ultra altas, que garantizan su esterilidad comercial. La leche se controla desde la materia prima hasta el producto final, para asegurar que los productos cumplan con los estándares de calidad vigentes a nivel Nacional e Internacional.

### **Alcance**

Esta tesis va a seleccionar el mejor diseño para tener un buen sistema de recolección de materia prima hacia un centro de acopio de los productos de consumo masivo para la empresa El Ordeño, como también el análisis sobre donde se deben situar los centros de acopio, para que los socios de la empresa puedan dejar allí la leche después de cada ordeño.

El tiempo estipulado para la realización de esta tesis es de 5 meses, desde el momento que empieza la recolección de datos, es decir que este proyecto se dividirá en varias etapas hasta llegar a la conclusión y resultado final.

Se estudiará la ruta de Cayambe, para que los costos siempre sean los menores posibles, tanto para los socios, para que dejen la materia prima en los puntos de acopio y para la empresa, para que el costo de recolección por parte de los tanques cisterna sea el mínimo.

El análisis se llevará a cabo en la ciudad de Cayambe y se realizará el estudio y posicionamiento de los centros de acopio de las haciendas proveedoras que se encuentren en la provincia de Pichincha.

## **Justificación**

Tener un buen sistema de ruteado para disminuir los costos es una parte fundamental para cualquier empresa, que tenga la necesidad de usar vehículos en su logística, en este caso la empresa El Ordeño tiene más de 3000 socios hacendados, que proveen de leche para que en la planta se le dé el tratamiento adecuado y sea procesado hasta conseguir el producto final.

Es por estas razones por la que tener un sistema de rutas de recolección de los productos es importante para una empresa; muchas veces, no se ve un rendimiento óptimo en un corto plazo, pero a futuro se llega a eliminar costos innecesarios por reprocesos, que afectan al rendimiento de la empresa, una buena logística por parte de los socios como de la empresa ayudará a que las utilidades sean mejores.

Esto agrega valor tanto a la empresa por emplear un mejor sistema de recolección como a los que forman parte de este grupo, que podrán saber de manera más precisa donde dejar su producto después de cada ordeño y la empresa saber cuánto es el costo exacto por cada ruta y por cada camión cisterna.

## **Objetivo General**

Diseñar un modelo de ruteado para que todas las partes que están involucradas en el aprovisionamiento de materia prima hacia la empresa, tengan el menor costo posible, es decir relacionar a los centros de acopio y a la empresa para que las rutas de recolección sean las apropiadas para aumentar las utilidades.

## **Objetivos Específicos**

- Analizar la situación actual de la empresa del sistema de rutas, que tiene en la recolección de materia prima.
- Presentar una propuesta de donde estaría la mejor ubicación de los centros de acopio.
- Probar si las rutas propuestas disminuirán los costos de transporte.
- Presentar la propuesta de las rutas que tendrán que hacer los camiones de la empresa.

## **CAPÍTULO 1: Descripción de la Situación Actual de la empresa El Ordeño S.A.**

Actualmente en la empresa El Ordeño S.A. se tienen procedimientos y controles al momento de recolectar la leche desde los centros de acopio, pero no se tiene un control absoluto durante estos procesos, se busca que los socios de la empresa realicen y cumplan con los controles estándares establecidos que El Ordeño solicita, ya que cada productor está obligado a realizar pruebas de cada entrega de leche, las pruebas de calidad se las realiza en el centro de acopio antes de que la leche ingrese a los tanques cisternas para comprobar que cumplan con los estándares de calidad.

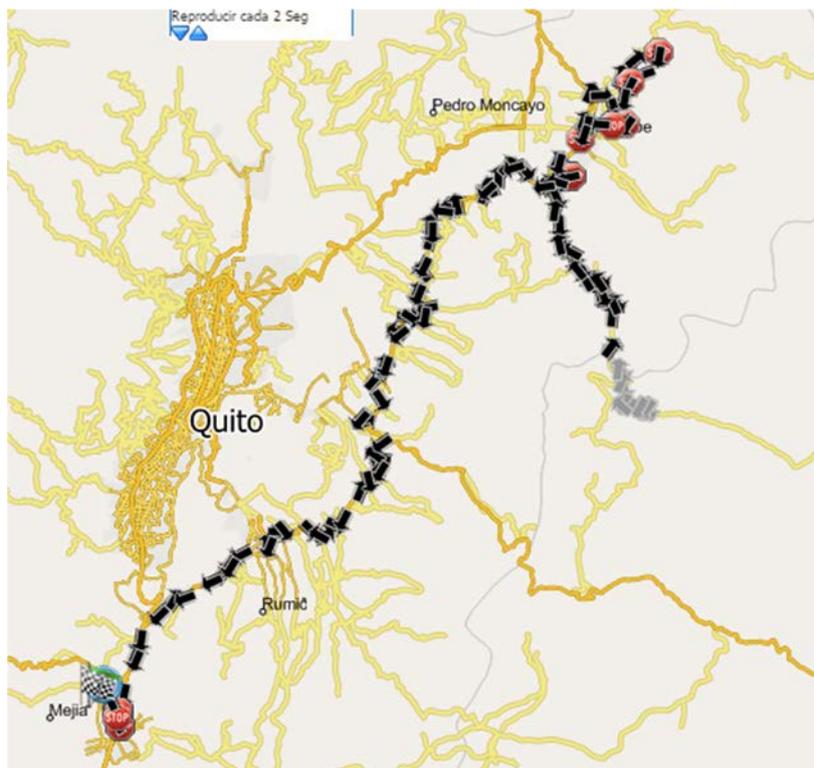
Estos procesos son necesarios para cumplir y mantener la calidad que la empresa ofrece, así también como para cumplir con todas las normas de inocuidad para el consumo humano; por lo tanto todos los procesos de los que se hablará en esta tesis están enfocados al tema de calidad.

Se van a tratar cuatro pilares fundamentales, los mismos que estarán enfocados y guiados hacia el tema principal que es la calidad del producto terminado; estos pilares son: distancia recorrida por el tanque cisterna el cual recoge la leche en los centros de acopio; tiempo que le toma al tanque cisterna realizar el recorrido hasta completar la ruta establecida; la temperatura a la cual se recolecta la leche y a la cual se la deposita en los tanques de almacenamiento en planta central; y, por último, la cantidad producida por cada hacienda asociada a El Ordeño, quienes a su vez, realizan los primeros controles de calidad.

Este último criterio nos servirá para poner una restricción al momento de armar los algoritmos para la ruta porque los camiones tienen una capacidad limitada, en un caso ideal donde no existe esta restricción se podría cubrir la ruta con un solo tanque y se tomaría en cuenta solo la distancia que el camión recorre.

### 1.1 Distancia recorrida por el tanque cisterna.

Existen muchas rutas de recolección actualmente, porque se debe cubrir todos los puntos donde se deposita la leche a lo largo de toda la sierra y oriente Ecuatoriano. Las rutas con más complejidad son las que se encuentran en la parte oriental, son mayores distancias que cubrir y muchas veces no se logra completar el cupo para llenar el camión, por otro lado en la sierra las haciendas productoras se encuentran de manera más cercana pero hay mayor cantidad de centros de acopio, a continuación se muestra unas de las rutas actuales que recorren los diferentes tanques cisterna en la parte de la sierra, en la provincia de Pichincha.



*Figura 1.* Trazado real de la ruta de recolección de leche por parte del camión cisterna.

a) La ruta de Cayambe se ve con flechas negras b) La ruta de Oyacachi se representan con las flechas de color gris.

Esta imagen es una de las rutas que actualmente se recorre en Cayambe para la recolección de la leche en los diferentes centros de acopio, a continuación se muestra la otra ruta que se recorre en Cayambe:



Por último la ruta que queda pendiente es la que recoge solo la leche del centro de acopio de "La Chimba" donde se producen mas de 14000 litros diarios, pero dividido en dos ordeños, el ordeño de la mañana que es el que más aporte tiene con 8000 litros es la que ocupa un solo tanque cisterna.

## **1.2 Tiempos por ruta.**

Los tiempos de las rutas tienen mucha variación aunque tengan también mucha cercanía y en algunos casos hasta ciertos centros de acopio que son los mismos, a continuación se mencionan los tiempos de las rutas:

Cayambe Fvr se demora dos horas en recolectar y tres en viajar a la planta ya que carga en tres lugares.

Cayambe Scania se demora cuatro horas en recolectar y tres en viajar a la planta y el día que va a Oyacachi se demora cinco horas más

El Cayambe 3 se demora una hora en recolectar y tres horas en viajar a la planta.

Tabacundo se demora cuatro horas en recolectar y tres horas a la planta.

Considerando los tiempos de que el tanquero esta en Cayambe y se demora casi tres horas el tanquero desde Machachi a Cayambe.

## **1.3 Temperaturas al momento de la recolección**

La temperatura al momento del ordeño de las vacas es de 37° C, la cual una vez terminada el proceso se la tiene que enfriar de manera inmediata para evitar la proliferación de unidades formadoras de colonia (multiplicación de bacterias) en la leche, lo que significa que mientras menos sea el conteo bacteriano se va a lograr una calidad mucho mejor al momento de la recepción en planta central, por lo que se solicita que la leche, al momento de ser entregada en los centros de acopio, se la deposite directamente en los tanques de almacenamiento que enfrían la leche uniformemente hasta llegar a una temperatura óptima de 4 grados hasta 3,4 grados centígrados donde se evita el cultivo de estas bacterias, pero para que el tanque de refrigeración llegue a

esta temperatura necesita de mucho tiempo, por lo que se solicita a las personas que aportan con la leche a los diferentes centros de acopio que se realice la entrega a la misma hora para que no se desperdicie energía al momento del enfriamiento, por ejemplo, si una persona entrega a las 7 de la mañana 100 litros de leche, el tanque se va a demorar una hora y media en bajar la temperatura hasta la adecuada, pero si en medio proceso de enfriamiento de estos 100 litros de leche otra persona agrega 100 litros más a 37 grados, la temperatura de todo el tanque aumentará dando paso a que todo lo realizado anteriormente se desperdicie y que el tiempo de cultivo de estas bacterias se prolongue, afectando de manera global la calidad los 200 litros de leche que se encuentran depositados en el tanque.

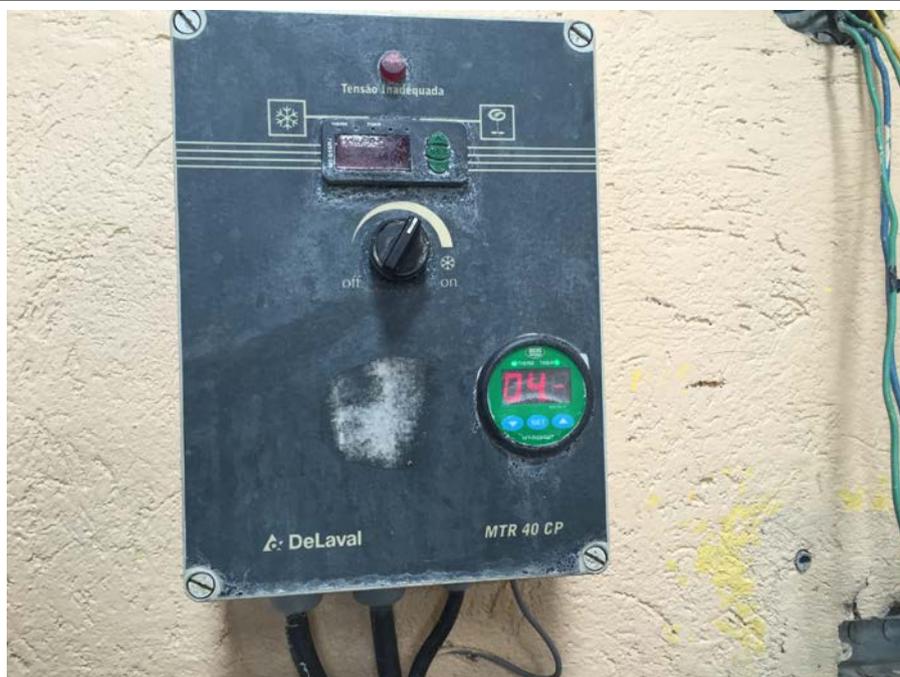
A continuación se muestran unas fotografías de las temperaturas a las que se recolecta la leche de 4 tanques de almacenamiento en el centro de acopio de "La Chimba", cada tanque de los mencionados tiene la capacidad de almacenar 2000 litros.



**Figura 3. Medidor de temperatura del tanque de enfriamiento de leche en el centro de acopio de La Chimba.**



*Figura 4.* Medidor del segundo tanque de enfriamiento de leche cruda en el mismo centro de acopio.



*Figura 5.* Medidor de temperatura del tercer tanque de enfriamiento del centro de acopio de La Chimba.



**Figura 6. Cuarto medidor de temperatura del tanque de enfriamiento del centro de acopio de La Chimba.**

Aquí se puede apreciar las diferentes temperaturas a las que los tanques de almacenamiento se encuentran al momento de la recolección de la leche, entonces si sacamos un promedio de las temperaturas de los 4 tanques se tiene que la temperatura promedio en el tanque es de 5,5 grados centígrados, a esto debemos considerar que los tanques cisternas que llevan la leche a planta central no tienen un mecanismo para enfriar la leche durante el trayecto, solo se tienen sistemas de aislamiento de temperatura pero no es el método más eficiente que se tiene, entonces cuando toda esta leche llega a planta central y se realiza el análisis de la leche que se va a recibir se tiene que la temperatura ya no es de 5,5 sino de casi 9 grados, es decir, durante todo el recorrido del camión la calidad se vio afectada por el cultivo de las bacterias.

#### **1.4 Cantidad producida por las haciendas asociadas y centros de acopio a la empresa El Ordeño.**

El último de los criterios a tomar en cuenta para la optimización de las rutas de recolección es el de la cantidad producida por cada hacienda o centro de acopio que aporta a la empresa con su producción de leche, esto ayudará a definir la cantidad de rutas y tanques cisterna que se necesitarán para cubrir eficientemente las rutas y que los costos de transporte disminuyan por cada litro de leche, a continuación se muestra una tabla con todos los datos de los socios actuales y las cantidades que aportan:

RUTAS DE TRANSPORTE DE LECHE							
N	TRANSPORTISTA	CÓDIGO	NOMBRE	HACIENDA	LITROS		
ALDAG	RAMON GUERRERO	0001	AGRIMAX	EL PRADO	66		
		0088	ASO. TRABAJADORES AGRICOLAS AUTONOMOS EL CORAZON	AYCHAPICHO EL CORAZON	300		
		0006	ARROYO VORBECK ANNIE EUNICE	NISHALLACTA	376		
		0004	AMAGUA LUIS	COTOGCHOA	578		
		0014	CONSUMER PRODUCTS S. A.	LA COCHA	680		
	RAMON GUERRERO	0051	SOCIEDAD CIVIL CARDANI	CASIGANDA	1338		
		0002	AGROEMAGER CIA.LTDA(ROMERO OÑATE MIRIAM)	LA MERCED	400		
	C1	0013	COMPAÑIA INDUSTRIAL OBRAGO S.A	LA COCHA DE PINANTURA	1336		
		0045	PREDIOS TANDAPUNGO S.A.	SANTAFÉ	858		
		0042	PEÑA MENA MARCELO ALFREDO	LA PRIMAVERA	400		
		0037	NARANJO ITURRALDE FRANCISCO JOSE	ANAPAMBA	422		
		0056	TOBAR RIVADENEIRA ANA MERCEDES	SAN FRANCISCO	399		
		0054	TOBAR GUILLERMO - LA ESPERANZA	LA ESPERANZA	1909		
		0055	TOBAR RIBADENEIRA GUILLERMO FRANCISCO	EL CONSUELO	798		
		CAYANI- PV	CARLOS VARGAS CARLOS VARGAS	0097	LA CHIMBA	ASO. LA CHIMBA	6871
0091	C. A. DE LECHE JATARI GUAGRA PESILLO			ASO. PESILLO	1985		
N1	0069		A. A. CAMPO VERDE DE TURUCUCHO	ASO. TURUCUCHO	2331		
CAYAMBE SC	FRANCISCO VARGAS	0081	A.P.A EL PROGRESO DE CARIACU	ASO. CARIACU	2727		
		0105	ASOCIACION AGROPECUARIA OYACACHI	ASO. OYACACHI	3465		
		0093	COMUNA SANTO DOMINGO Nº 2 (ASOLFALCAI)	ASO. FALDAS DEL CAYAMBE	2493		
		0089	ASO. T. AUTONOMOS. LA JOSEFINA - M. TUTILLO	LA JOSEFINA	563		
		0064	VORBECK PACHANO GONZALO MANUEL	LA GITANILLA	1210		
	JOSE CUALCHI N3	0084	A.P.A. ÑUKANCHIC ALLPA - PULIZA	ASO. PULIZA	1952		
		0040	PAEZ NARVAEZ MARIA MAGDALENA	SANTA ROSA	255		
		0085	ASO. PRODUCTORES LACT. PUERTA DEL SOL	ASO. PUERTAS DEL SOL CANGAHUA	1701		
		0065	A. LACTEA SANTO DOMINGO S.A NUTRALAC	SANTO DOMINGO Nº 2	1560		
		CAYAMBE 3	ROBERT ACURIO				
N2	0097		LA CHIMBA 1	ASO. LA CHIMBA	14819		
V. HERMOSO	FRANCISCO VARGAS - LUIS TIGASI						
	OC1	0067	ASOCIACION AGRICOLA GANADERA 11 DE JUNIO	ASO. 11 DE JUNIO	9660		
SURO - CHILLOGALLO	PATRICIO TIPANTA	0047	PUCUNA PUCUNA JOSE PEDRO	TRES CISNES	142		
		0031	LEON PRADO FANNY ALEXANDRA	EL PRADO	367		
		0003	ALCOCEER LOGACHO JANETH DEL ROCIO	SAN MATEO	154		
		0100	TIPANTA DIAZ HERMAN PATRICIO	EL SURO	4121		
		0021	GOMEZ DE LA TORRE BONIFAZ RODRIGO ANTONIO	SAN CRISTOBAL	526		
		0038	ORELLANA PERALTA GALO HONORATO	PULLINGATE	700		
		0058	TORRES SANTIAGO	CUENDINA	139		
		0060	VALDIVIESO CARRERA GLORIA MARINA	SAN LUIS	637		
		0007	AULESTIA GAME JUAN FERNANDO	SAN JUAN DE CHILLOGALLO	153		
		0011	CARRILLO CARRILLO JORGE GIOVANNY	RODEOPAMBA	90		
	WILLIAM ARMAS LIZANDRO CHICAS C2 Y C3	0010	CANDO LOPEZ CHRISTIAN ALBERTO	LA TABLERA	60		
		0049	RUIZ ENRIQUEZ FREDDY IVAN	SAN JUAN DE CHILLOGALLO	158		
		0059	TRUEBA CHIRIBOGA JOSE MARIA	RODEOPAMBA	148		
		0095	CUASAPAZ HUERA LAURA ALICIA	HACIENDA LG.	300		
		0043	PEÑA SOLANO ISRAEL	GUAYRALOMA	200		
		0039	PACHECO ORTEGA MARIA ISABEL	SAN VICENTE	400		
		0090	ASOCIACION DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS SAN JUAN DE CHILLOGALLO	ASO. SAN JUAN DE CHILLOGALLO	405		
		0034	MARTINEZ BADILLO JORGE WILSON	FUERRES	80		
		INTAG	MARCELO BRAVO	0073	ASOCIACION DE GANADEROS TULIPE	ASO. TULIPE	1750
				122	ING. DIEGO ARIAS	ING. DIEGO ARIAS	160
OC2	0094		CORPORACIÓN DE PRODUCTORES INTAG LECHE	ASO. INTAG - CORPIL	2500		
URQUQUI - TABACUNDO	FRANCISCO VARGAS	0080	A.P.A EL DUJE	ASO. OLMEDO	458		
		0077	ASO. PROD. AGRI. Y GAN. TIERRA FERTIL - MOYURCO	ASO. MOYURCO	415		
		0070	A. A. PARA EL DESARROLLO SAN PABLITO	ASO. SAN PABLITO	1286		
		0017	DE LA PAZ CALISTO FRANCISCO JOSE ALEJANDRO	LA CASTALIA	847		
		0099	PRODUCTORES DE LECHE IRENE DEL NORTE	ASO. EL CHAUPÍ	2805		
	ANGEL GUANO N4	0025	GRIJALVA GARZON HUGO ALFREDO - SANTA TERESITA	SANTA TERESITA	1679		
		0078	A.P.A. A. SUMAK KAWSAY Y SAN PABLO URCO	ASO. SAN PABLO URCO	1606		
		0075	ASOCIACION DE MUJERES JATUN ÑAN	ASO. MUJERES DE CAJAS	930		
		0050	SERFIDEC	LA ROSIERA	590		
		0101	ULCUANGO NEPAS ANGEL SALOMON	REY SALOMON	560		

Figura 7. Tabla de cantidad de producción de leche por cada centro de acopio de todas las rutas de la parte noroccidental de la provincia de Pichincha.

## Capítulo 2: Referencias bibliográficas

Esta revisión bibliográfica hace referencia a lo existente en la literatura acerca de Problemas de Ruteo de Vehículos (VRP por sus siglas en inglés), mencionando tanto el tipo de problemas que se ha atacado, como sus formulaciones y soluciones propuestas por los distintos autores, además de las diferentes variaciones que estos presentan.

En este capítulo, se describirán ciertos términos y métodos que se utilizarán para el análisis y obtención de diferentes soluciones para el mismo problema de ruteado de vehículos para la empresa El Ordeño S.A; donde lo que se busca es la maximización de la utilidad mediante la optimización de las rutas de recolección de leche cruda, y, en el caso de ser necesarios y de que sea posible la relocalización de alguno o algunos de los centros de acopio, sin perder el enfoque de la calidad de la leche. Entonces para continuar, primero se mencionarán ciertos términos que serán más adelante utilizados en el transcurso de esta tesis y también se añadirán los significados o su utilidad e importancia para la toma de decisiones para encontrar una solución.

Antes de pasar a las definiciones hay que saber que existen tres tipos de herramientas para la solución de estos problemas que están divididos en familias, las cuales se las ha calificado como:

- 1.- Óptimas o exactas.
- 2.- Heurísticas.
- 3.- Meta heurísticas.

Las primeras que se mencionarán son las exactas, las cuales son mucho más generales, es decir, su solución se puede aplicar para diferentes problemas muy similares, sus condiciones iniciales se pueden modificar dependiendo de lo que se desee conseguir por parte de quien las use. Con el uso de solo estas

herramientas es difícil encontrar una solución óptima, para lo cual se desarrollaron con el paso de los años las herramientas heurísticas.

Las herramientas heurísticas las cuales son más específicas, la palabra heurística significa en griego “hallar, desambiguación”, por eso con estas herramientas se tiene que enfocar en cuál es el problema y que es lo que se quiere conseguir, con el uso conjunto de las dos primeras herramientas ya se podría encontrar la mejor solución para el problema planteado pero aún depende mucho de cómo se haya planteado el problema y de cual sea la función objetivo.

Por definición los métodos meta heurísticos son: “Una metaheurística es un método heurístico para resolver un tipo de problema computacional general, usando los parámetros dados por el usuario sobre unos procedimientos genéricos y abstractos de una manera que se espera eficiente. Normalmente, estos procedimientos son heurísticos. El nombre combina el prefijo griego "meta" ("más allá", aquí con el sentido de "nivel superior") y "heurístico" (de εὐρίσκειν, heuriskein, "encontrar").”

Una vez definidos las tres familias, pasamos al significado y explicación de los diferentes tipos de herramientas, se analizarán igual que la numeración con la cual se definieron anteriormente.

## 2.1: Significado de VRP y CVRP, Herramientas exactas u óptimas.

Para comenzar con esta revisión, es necesario remontarse al año 1956 cuando Flood, plantea el Problema del Vendedor Viajero (TSP). El problema se puede plantear como sigue:

Un vendedor necesita visitar  $n$  puntos de la ciudad, sin importar el orden en que lo haga, cada uno exactamente una vez y en el menor tiempo posible. En el contexto de lo que se verá más adelante, podríamos decir que el vendedor viajero es asociable a un operador de un servicio puerta a puerta que debe atender a la demanda ubicada en la posición de cada uno de los  $n$  nodos que debe visitar.

Luego de la aparición del problema del vendedor viajero y de su formulación, aparece el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), que es una generalización del TSP, y que se enuncia como sigue:

Se cuenta con una flota de  $m$  vehículos cada uno con capacidad  $Q$ , y se necesita despachar carga a  $n$  puntos de la ciudad partiendo cada vehículo desde algún almacén. Cada uno de los puntos  $i$  tiene asociada una demanda  $d_i$  que debe ser satisfecha por uno y solo uno de los vehículos.

Existen muchos tipos de herramientas para dar soluciones a problemas en las empresas, pero unas de las herramientas más utilizadas para este tipo de situaciones donde está involucrado temas de transporte, tanto para la recolección, distribución, transporte de materia prima, manejos de inventarios, etc. son las llamadas VRP y CVRP por sus siglas en inglés, cada una de estas tiene diferentes tipos de variaciones según la necesidad de la empresa y el caso que aplique. Los casos dependerán de lo que se quiera lograr en la empresa, es decir, la empresa debe tener muy clara cuál es su función objetivo y que se quiere lograr. A continuación se mencionan las definiciones de VRP, CVRP y las variaciones que cada una de ellas posee.

### 2.1.1 ¿Qué es VRP?

Por definición de sus siglas significa “Problema de ruteado de vehículos” (Vehicle Routing Problem) que en realidad son un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas. Desde los que son más sencillos hasta algunos que hoy en día siguen siendo materia de investigación.

Existe una definición, según Dantzig (Noviembre 8, 1914 – Mayo 13, 2005, científico matemático Estadounidense conocido por su desarrollo del algoritmo “simplex”, un algoritmo para resolver los problemas de programación lineal) “En general, se trata de averiguar las rutas de un grupo de vehículos encargados del transporte para dar servicio a unos clientes. Este tipo de problemas pertenece a los problemas de optimización combinatoria.” En la literatura científica, Dantzig y Ramser fueron los primeros autores en 1959, cuando estudiaron la aplicación real en la distribución de gasolina para estaciones de carburante.

La función objetivo depende de la clasificación y características que se tengan en el problema. Lo más habitual es intentar: minimizar el costo total de la operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera, maximizar la utilidad, maximizar un mejor servicio al cliente, minimizar la cantidad de vehículos a utilizar, equilibrar la utilización de los recursos, etc.

### **2.1.2 ¿Qué es CVRP?**

Al igual que la descripción anterior sobre el Problema de ruteado de vehículos, se va a agregar una variante o característica que se tomara como un criterio importante al momento de seleccionar un tipo de solución, la cual es la capacidad de carga que tiene cada vehículo usado para el transporte de bienes, entonces por sus siglas significa “Problema de ruteado de vehículos por capacidad”.

## **2.2 Variaciones**

Para los VRP tenemos las siguientes variaciones:

### **2.2.1 VRP con ventanas de tiempo:**

Para extender el VRP tradicional agregando la restricción adicional de asociar una ventana de tiempo a cada cliente, donde se define un intervalo de tiempo en el que cada cliente debe ser atendido y se obtiene el problema del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (Vehicle Routing Problem with Time Windows, o VRPTW por sus siglas en inglés). “Al considerar estas ventanas de tiempo, el costo del ruteo y planificación incluyen: la distancia total recorrida que está asociada al tiempo total de viaje, el tiempo total de espera en que se incurre cuando un vehículo llega muy temprano a la ubicación de un cliente y el tiempo total de servicio (tiempo para descargar o cargar todas las mercaderías solicitadas por cada cliente). Claramente, el tiempo en el que se inicia el servicio a un cliente debe ser mayor o igual al inicio de su ventana de tiempo y el instante en que se llega a cada cliente debe ser menor o igual al fin de su ventana de tiempo. Si un vehículo llega a la ubicación de un cliente antes del inicio de su ventana de tiempo, debe esperar hasta esa hora para servir a ese cliente.”

### **2.2.2 VRP con recorrido de regreso (Backhaul en inglés)**

A diferencia del VRP con ventanas de tiempo, este tipo tiene la particularidad que se aprovecha cada viaje que haga el vehículo para llevar carga todo el tiempo, por ejemplo:

Un vehículo sale de un punto A con su máxima capacidad ocupada y tiene como destino llegar a un punto B donde tiene que descargar todo el material, después de ese recorrido y que se haya realizado la descarga el vehículo tiene que volver al punto A, pero en este caso se aprovecha su regreso para llevar mercadería desde el punto B al punto A, entonces de esta manera se disminuye el costo de transporte, ya que el regreso del vehículo al punto A es obligatorio, por lo que se disminuye el uso de vehículos y la cantidad de rutas, pero se aumenta el tiempo en la carga y descarga de material.

### **2.2.3 VRP con restricción de distancia (Distance – Constrained VRP)**

Esta clase de VRP se lo realiza mediante un gráfico donde se ubican en coordenadas  $i, j$  cada vértice, los vértices indican donde están ubicados los puntos que el vehículo de cada ruta debe recorrer o detenerse, al lado de cada vértice se coloca una cifra (peso) que puede tener varias razones, cantidad a recoger, cantidad a descargar, ponderación de importancia, etc. Todas estas cifras ayudarán a definir las rutas a recorrer y a trazar las rutas más óptimas, estos vértices se los une mediante arcos o líneas rectas, estas líneas también tienen un peso, que puede significar la distancia a recorrer, distancia entre vértices o de igual manera la ponderación de importancia de las rutas para conectar los vértices, entonces tomando en cuenta todas las restricciones que se tienen al momento de unir los vértices y teniendo la función objetiva definida se encontrarán las rutas óptimas.

#### **2.2.4 Método de ramificación y acotamiento (Branch and Bound)**

Este es el primer método heurístico que se describirá. El método de ramificación y acotamiento ha sido usado extensivamente durante la última década para la optimización y obtención de mejores resultados para métodos como el VRP con restricción de distancia. En este algoritmo el árbol de búsqueda tiene tantos niveles como rutas de vehículos y cada nivel contiene un conjunto de rutas de vehículos, para ello Christofides, Mingozzi y Toth proponen una implementación en la cual determinan una rama en cada nivel y una se descarta al paso de selección de la ruta. Se puede construir un árbol limitado manteniendo pocas rutas en cada nivel.

#### **2.2.5 Método de Centro de Gravedad.**

El método del centro de gravedad consiste en un sistema de ecuaciones de localización de un punto considerando otros existentes. Ésta es una técnica muy sencilla y se utiliza con mayor frecuencia para determinar la ubicación de bodegas intermedias y puntos de distribución teniendo en cuenta las distancias que las separan y el aporte (en términos de utilidad, producción o capacidad) de cada instalación. Para esta tesis se determinará una ubicación ficticia donde se podría ubicar la planta central de procesamiento de leche cruda para disminuir los costos de transporte.

### **2.2.6 Método de Carga – Distancia.**

Este método va muy de la mano con el método de Centro de Gravedad descrito anteriormente, ya que usan el mismo cuadro de distancias y utiliza las coordenadas usadas para encontrar el centro de gravedad, la diferencia consta en que con las ecuaciones usadas dentro de este método sirven como referencia para encontrar un punto óptimo existente real dentro de una ruta o un mapa donde se pueda ubicar en este caso la planta central de procesamiento de la materia prima.

### **2.2.7 Algoritmo de Clarke y Wright**

Este es uno de los algoritmos más comúnmente utilizados porque define como solución el ahorro de dinero, optimización de costos, reducción de distancias por recorrer, recorridos internos dentro de fábricas, entre muchas otras relacionadas, Clarke y Wright describen este algoritmo uniendo dos rutas en una sola teniendo como variable de decisión la cantidad de vehículos a usarse, naturalmente los números que se obtengan van a ser muy variables por lo que Vigo hace un incremento a este algoritmo usando siempre las distancias reales e incluye como una variable de decisión la carga admisible para cada camión donde los datos obtenidos anteriormente cambian casi a totalidad, entonces se puede decir que este algoritmo se lo puede usar en condiciones ideales o cuando el número de vehículos a usar no influyen en la disminución de costos. El algoritmo original de Clarke y Wright produce buenas rutas al inicio pero no concluye de manera óptima, pues incluye algunas rutas circulares. El algoritmo de Clarke y Wright mejorado propuesto por Laporte, Toth y Vigo generalizaron los ahorros mediante un parámetro llamado Shape Parameter o Parámetro de Forma que penaliza la unión de rutas con clientes lejanos.

### **2.2.8 Algoritmo de Barrido (Sweep Algorithm)**

Consiste en formar grupos trazando una semirrecta con origen en el depósito e incorporando a los clientes hasta violar la restricción de capacidad. Una ruta de vehículos es obtenida para el agrupamiento resolviendo un TSP (Travelling Salesman Problem). En algunos casos de implementación es necesaria una fase de post-optimización en la cual los vértices se intercambian entre agrupamientos adyacentes y las rutas son re-optimizadas.

### **2.2.9 Algoritmo de Pétalos**

Este algoritmo es una extensión del algoritmo de barrido y se utiliza para generar varias rutas llamadas “pétalos” con el fin de hacer una selección final resolviendo un Set Partitioning Problem. Donde los clientes son visitados una sola vez, pero pueden ser visitados por varias rutas.

### **2.2.10 Método de Ruteo primero y Asignación después (Route first and cluster second)**

Este método consiste de dos etapas o fases. En la primera se calcula una ruta en general que visita a todos los clientes resolviendo un TSP (Travelling Salesman Problem) sin tener en cuenta las restricciones del problema. Luego en la segunda etapa o fase, esta ruta general se descompone en varias rutas factibles, es decir, teniendo en cuenta la solución de la primera fase se determina la mejor partición teniendo en cuenta la capacidad del vehículo.

### **2.2.11 Algoritmo Genético**

Inspirado en la teoría de la evolución de Darwin, este algoritmo parte de una población inicial de individuos que representan soluciones iniciales factibles pero sub-óptimas. A continuación el algoritmo “evoluciona” mediante el uso de operadores evolutivos que combinan y modifican a los individuos de la

población creando una nueva. Para cada individuo se define una función de aptitud  $f(i)$  que califica su idoneidad. Generalmente, se trabajan tres operadores: selección, cruzamiento y mutación.

### **Capítulo 3: Diseño y desarrollo del proceso**

Para continuar con el tema de las rutas en este capítulo se comenzará al estudio y análisis de la ruta usando el método de TSP que es la manera con la que se armó la ruta por parte de la empresa, descrito en el capítulo 2, en el siguiente capítulo a este se usarán más herramientas según sea la conveniencia del caso ya que no todos los métodos anteriormente descritos son óptimos para el caso que se presenta en esta tesis. Volveremos a hacer énfasis en el tema de calidad, ese es nuestro objetivo, como se mencionó en el primer capítulo todos los análisis serán para obtener una mayor calidad de producto al momento de la recolección de la leche cruda de esta manera incrementaremos la producción de leche en polvo y la utilidad de la empresa, tomando muy en cuenta las otras restricciones o pilares para el cumplimiento de lo dicho anteriormente.

Primeramente se comenzará con el análisis de los datos usando el método TSP que es Travelling Salesman Problem que en español se traduce a el Problema del Viajero o viajante, que es el método inicial de toda la cadena de algoritmos y diferentes soluciones que se describieron en el capítulo anterior, siendo como base de los siguientes métodos a utilizar de esa manera se tendrá un conocimiento de los costos actuales que representa la ruta de recolección de leche, tomando en cuenta la cantidad de litros que está cargando y el costo del combustible que consume para cubrir la ruta entera hasta llegar a Machachi.

Ahora incluiremos las fórmulas que el problema del viajero necesita para su utilización con las rutas actuales con las que cuenta la empresa El Ordeño S.A. para ver cual es su situación actual en cuanto a rutas se trata para que en el siguiente capítulo se pueda realizar la propuesta de mejora y más adelante la comparación en el ámbito económico de las mismas.

La cantidad de posibles soluciones para este tipo de modelos se representa con la fórmula  $(n-1)!/2$  cuando se tienen distancias simétricas, por ejemplo, si tenemos cinco nodos la ecuación queda de la siguiente manera  $(5-1)!/2=12$ .

Aquí se muestra un cuadro con los centros de acopio de la ruta de Cayambe que recorre uno de los camiones de El Ordeño S.A.

Tabla 1. Nombres de los centros de acopio de la ruta de Cayambe en orden de visita por parte del camión cisterna.

	Nombre Centro de Acopio
CAYAMBE	Tierra Fértil
CAYAMBE	Rey Salomón
CAYAMBE	Irene del Norte
CAYAMBE	Sumag Kawsai
CAYAMBE	El Dije
CAYAMBE	Jatari Guagra
CAYAMBE	Campo verde
CAYAMBE	El Ordeño
CAYAMBE	Nucanchic Allpa
CAYAMBE	El Progreso
CAYAMBE	Faldas del Cayambe
CAYAMBE	Nutralac SA
CAYAMBE	La Josefina
CAYAMBE	Cangahua
PEDRO MONCAYO	AAPEDSPA
PEDRO MONCAYO	Jatum Ñan

Entonces haciendo referencia a los datos que presenta El Ordeño en cada ruta tenemos lo siguiente, en la ruta de Cayambe existen actualmente 16 nodos, entonces usando la ecuación anterior obtenemos  $(16-1)!/2= 653837184000$  soluciones, si no se tuvieran un mayor número de restricciones se tuvieran que

probar cada una de las opciones de soluciones hasta encontrar la que obtenga un menor número al momento de sumar las distancias hasta completar toda la ruta visitando cada centro de acopio una vez.

Para tener un primer criterio de decisión vamos a tomar en cuenta como si el primer nodo que se menciona es donde va a empezar y es el más lejano en cuestión de distancia desde la planta central, entonces vemos que si agregamos la distancia entre cada uno de los centros como si fuera la ponderación (peso) entre cada centro. Esto nos va a servir para poder unir cada uno de los centros de acopio al más cercano hasta completar la ruta.

Tabla 2. Distancias entre cada uno de los centros de la ruta estudiada.

Centros de Acopio		
Zona	Nombre Centro de Acopio	distancia entre centros
CAYAMBE	Tierra Fértil	Inicio
CAYAMBE	Rey Salomón	1
CAYAMBE	Irene del Norte	2
CAYAMBE	Sumag Kawsai	4
CAYAMBE	El Dije	1
CAYAMBE	Jatari Guagra	4
CAYAMBE	Campo verde	6
CAYAMBE	El Ordeño	7
CAYAMBE	Ñucanchic Allpa	3
CAYAMBE	El Progreso	5
CAYAMBE	Faldas del Cayambe	5
CAYAMBE	Nutralac SA	4
CAYAMBE	La Josefina	2
CAYAMBE	Cangahua	17
PEDRO MONCAYO	AAPEDSPA	14
PEDRO MONCAYO	Jatum Ñan	2

Entonces las fórmulas de TSP son:

Donde  $n$  = número de clientes incluido la planta central,  $c_{ij}$  = costo de ir de  $i$  a  $j$ ,

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el vehiculo viaja de } i \text{ a } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

(ecuación 1)

Entonces,

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \text{ para todo } j \quad (\text{ecuación 2})$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ para todo } i \quad (\text{ecuación 3})$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \text{ para todo } i, j \quad (\text{ecuación 4})$$

Las restricciones (1) y (2) se aseguran que cada cliente sea visitado exactamente una solo vez.

Para plasmar la situación actual de la ruta de Cayambe, se describirá primero la fórmula para la minimización de costos; entonces, los valores que serán fijos son los que la empresa paga por cada litro de leche transportado, que son \$0.03 centavos de dólar; la cantidad de diésel promedio, que consume el camión, que es de 42,5 galones; transformando a dólares, tenemos un costo de \$1,03 dólares por galón; en total son \$43,77 dólares para llenar el tanque de combustible. Entonces poniendo en forma de ecuación tenemos:

Ecuación general o ecuación 1 como se mencionó anteriormente :

$$\begin{aligned} & \$0,03(1000+560+2805+2000+1000+6700+2331+2300+14000+3600+3400+220 \\ & 0+4500+250+1400+1000)+ \\ & \$43,77/(110+1+2+4+1+4+6+7+3+5+5+4+2+17+14+2+110) \end{aligned}$$

Sumando se obtendría:

$$\$0,03(47046) + \$43,77/297 = \$1411,38 + \$43,77 = \$1455,15.$$

Si se divide, como dice la ecuación, se obtiene el costo por km recorrido, pero se suma solo la cantidad de dólares que se necesita para llenar el tanque de

combustible; es por eso que solo se suma el costo total, no los \$0,14 centavos/km.

De esta ecuación, se puede resaltar que el costo de transportar la leche tiene un costo fijo pero lo que tiene variación es la distancia que se va a recorrer; la optimización no está en recolectar más cantidad de leche, sino en recorrer menos distancia para recolectar la misma cantidad de litros. Se debe tener también en cuenta que esta cantidad de kilómetros, los 297, es si es que un solo camión lograra recolectar toda la cantidad de leche, pero como tienen una restricción de capacidad se tiene que recolectar con 3 vehículos más, lo cual da un total de 682 kilómetros recorrido por parte de los 4 camiones cisterna.

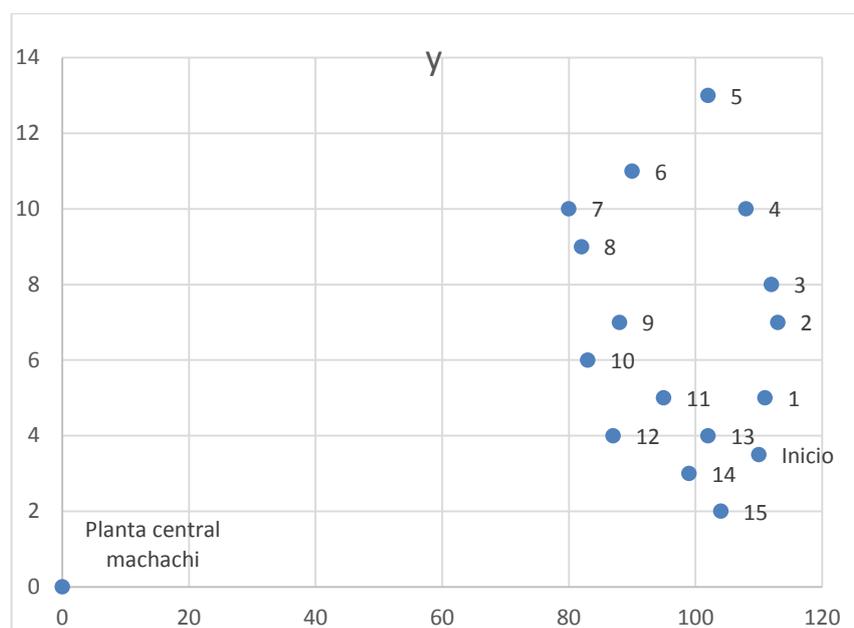
El resultado de la ecuación general para los costos que maneja actualmente la empresa El Ordeño S.A. es de: \$1.455,15, para cubrir el total de la ruta sabiendo que al chofer se le paga por kilómetro recorrido y sabiendo el costo promedio de llenar un tanque de combustible; entonces, este valor de la ecuación general actual será la restricción para la optimización de las rutas en el futuro, cuando se analice con algunas de las herramientas mencionadas en el capítulo 2.

Es necesario saber también el costo de cada litro de leche de manera total, es decir una vez que se sabe ya los costos de la recolección y el transporte, hasta la planta central, para eso tenemos la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Costo total}}{\text{Cantidad de litros transportados}} = \frac{\$1455,15 \text{ dolares}}{47096 \text{ litros}} = \$0,031 \text{ centavos por litro.}$$

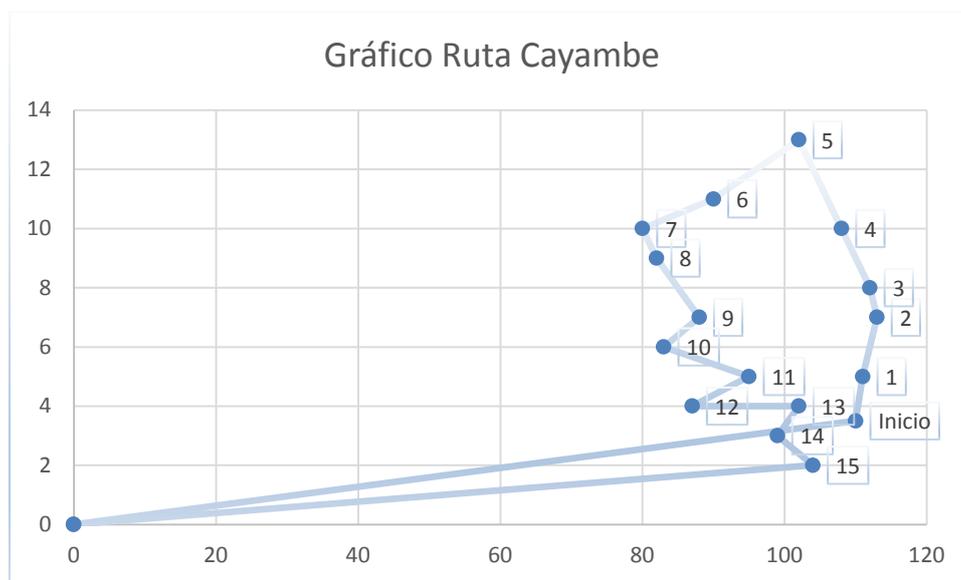
En la ecuación anterior se demuestra el costo de transportar un litro de leche, costo que se usó para la ecuación general.

En el siguiente gráfico se muestra la distribución de los centros de acopio y la planta central ubicada en Machachi unidos por las líneas que muestran la ruta actual de los camiones.



**Figura 8.** Ubicación de los centros de acopio en el plano cartesiano con relación en el eje x como distancias en kilómetros.

En la gráfica se pueden observar la ubicación de los centros de acopio; en la siguiente se muestra la ruta del camión cubriendo los puntos de la ruta.



**Figura 9.** Trazado de la ruta actual en orden de visita de cada uno de los centros de acopio para la recolección de la leche cruda.

Esta es la ruta que se recorre a diario por parte del tanque cisterna, que recoge la leche; es importante mencionar que el tiempo de ciclo de la ruta (el tiempo que toma recorrer toda la ruta y recoger la leche de los centros de acopio) es de 6 horas en promedio, lo cual da tiempo para que la leche pueda enfriarse en los tanques, para mantener siempre una calidad óptima y no tenga aumento en UFC's que significa <sup>1</sup>Unidades Formadoras de Colonia. Es decir proliferación de bacterias, se tiene como información por toma de medidas de las temperaturas, cuando llega el camión a la planta que hay un aumento de casi 2°C, lo cual está dentro de los límites propuestos por la parte encargada de la calidad en la empresa. Mientras más fría llegue la carga, mejor es para la empresa por temas de calidad.

A continuación se muestran fotografías de cómo se maneja el control de la temperatura al momento de tomar las muestras In-Situ.



**Figura 10. Demostración del medio de transporte de las muestras tomadas de cada uno de los tanques de enfriamiento de leche cruda en el centro de acopio de La Chimba, también se observa el medio de transporte de los tarros de muestras con temperatura controlada.**

<sup>1</sup> Unidades Formadoras de Colonias (abreviadamente, UFC) es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente. Expresa el número relativo de microorganismos de un taxón determinado en un volumen de un metro cúbico de agua.

En esta imagen se puede observar con números azules el tanque de donde se sacó la muestra; en la etiqueta, se indica la temperatura a la que se tomó la muestra, la hora y si contiene o no antibiótico. De esta manera, se controla la calidad del lote de leche, en caso de que se detecte que una muestra tiene antibiótico, ya no se la recoge para que no contamine a los demás litros ya recogidos.



**Figura 11.** Muestra del examen realizado para la detección de antibiótico en las muestras de la leche cruda que se encuentran en cada uno de los tanques de enfriamiento. Cuando la tira muestra las tres líneas de color violeta significa que la muestra esta libre de antibiótico.



**Figura 12. Muestras listas para ser transportadas en el camión cisterna una vez aprobadas las muestras y realizado los exámenes correspondientes.**

Esta es la manera en como se transportan las muestras de la leche, que serán entregadas en el laboratorio de planta central para su análisis y posterior aprobación en caso de que no se detecte ningún inconveniente según los estándares de calidad propuestos por la empresa.

## Capítulo 4: Validación del producto y proceso.

En este capítulo daremos paso al análisis más profundo de la ruta estudiada y se harán propuestas para mejorar el rendimiento y la optimización de la ruta; se hará uso de otras herramientas más que solo el TSP ya que como se mencionó en el capítulo 2 no da una solución óptima, solo da indicios de que se pueden realizar mejoras. Para esto, se utilizarán herramientas heurísticas y metaheurísticas para obtener la mejor solución, aumentando la utilidad de la empresa, reduciendo costos de transporte, a través de la disminución de la distancia que recorre, agregando, en el caso de que sea factible, un segundo vehículo a la ruta o aumentando la capacidad de carga del tanquero.

### 4.1 Método de los dos arcos.

Para este método, se ocupa una fórmula donde se observan la cantidad de opción se solución que existen, esta ecuación es la siguiente:

$$(n * (n-1) / 2) - n \quad \text{(ecuación 5)}$$

Donde n son los números de centros dentro de la ruta, reemplazando los valores se obtiene,

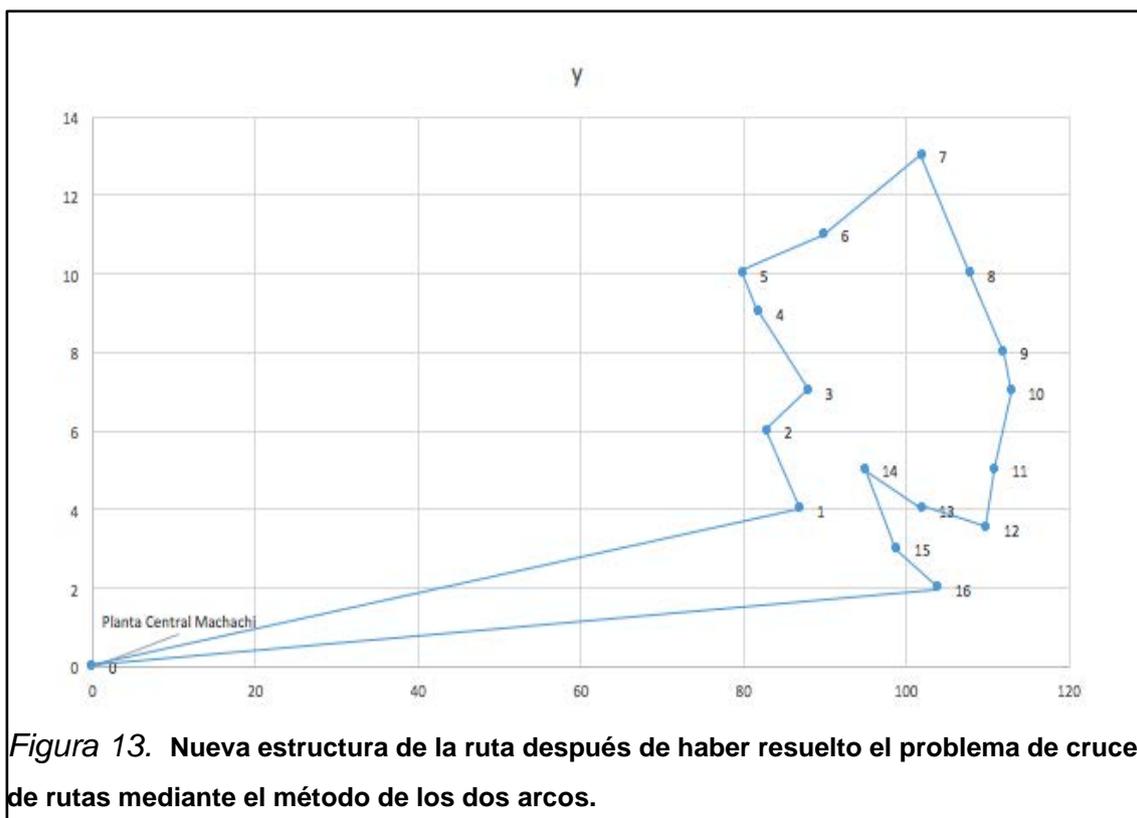
$$(16 * (15) / 2) - 16 = 104$$

Es decir, se tienen 104 soluciones diferentes para poder trazar las rutas dentro de esta zona; de toda esta cantidad de soluciones, se trazan únicamente tres que van a ser resueltas y expresadas mostrando las diferentes opciones que se pueden obtener, es lógico pensar que no se pueden realizar todas las soluciones y después hacer el cálculo de cual es la más óptima sin la ayuda de un software, es por esta razón que solo se hacen 3 propuestas de soluciones.

Ya se observó el método de TSP que es un método de apertura, definido así porque es una entrada a los demás métodos de optimización, teniendo en cuenta el ejercicio realizado anteriormente, se ve en el gráfico que la ruta tiene un cruce de líneas, lo que teóricamente no debería suceder, porque no es óptimo, se deben observar las líneas de la ruta claras y despejadas, porque, cuando se tiene un cruce entre líneas significa que es una oportunidad de mejora. A continuación se realizará el método de dos arcos, que como su metodología dice, es un procedimiento en el cual se eliminan dos arcos a la vez, es decir dos líneas de la ruta establecida mediante el TSP, esto permite volver a revisar las distancias entre los centros, una vez determinadas las distancias entre cada uno de los puntos, se unen los que se conecten con menor ponderación o peso. El proceso se repite las veces que sean necesarias hasta completar la ruta y lograr disminuir las distancias, habrá casos donde no se pueda efectuar este método, porque no hay manera de reducir distancias, de esta manera se logra identificar la menor distancia entre los centros de acopio y se puede reducir el recorrido del camión transportador de leche.

La ponderación actual que tiene la ruta de Cayambe es de 297. Esto se mide sumando la cantidad de kilómetros que recorre el camión para llegar de un punto a otro; en la tabla que se encuentra en el capítulo 3, se tienen las distancias en kilómetros que separan los centros de acopio, a estas distancias hay que sumar el trayecto que se toma desde la planta central, hasta el inicio de la ruta y así mismo el retorno hasta en punto de inicio; en promedio se obtuvo que es de 110 kilómetros lo cual da como resultado 220 km sumando la ida y la vuelta.

Ahora usando el método de los dos arcos obtenemos los siguientes resultados: (también se muestran en las imágenes los cambios que se realizaron)

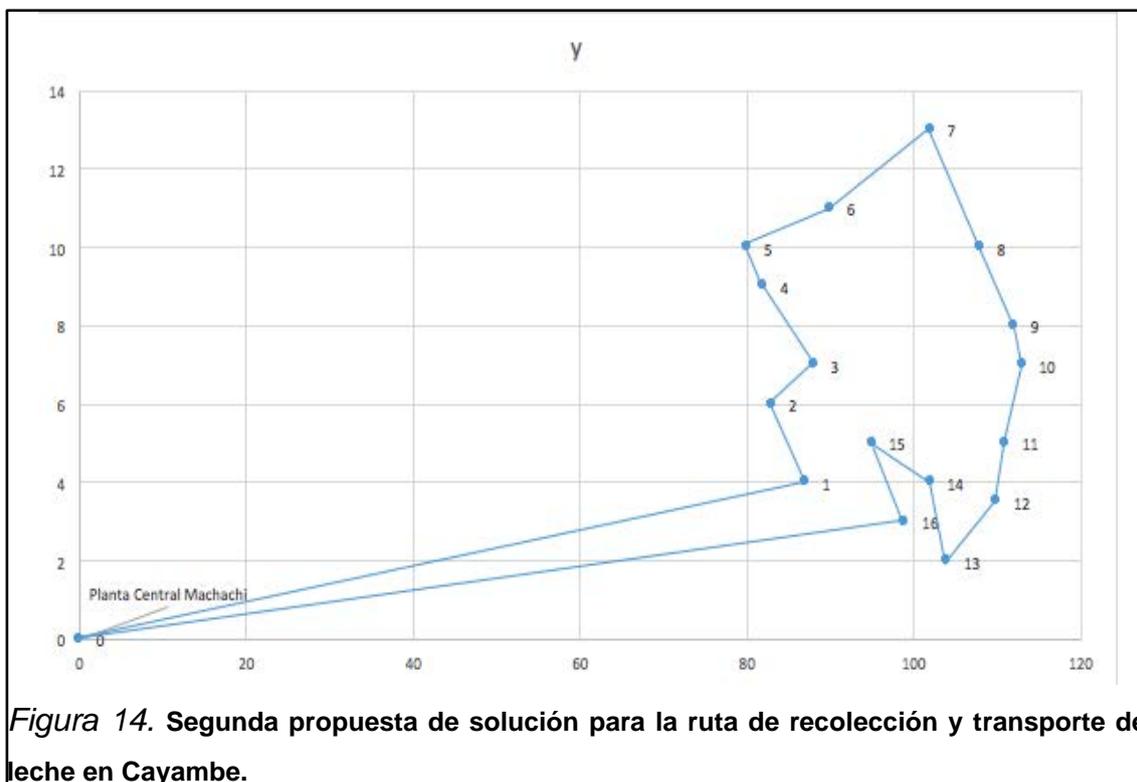


Aquí se puede ver la opción 1; el resultado de la ruta una vez sometido al método de los dos arcos, lo más notorio es el cambio de ruta y que se eliminó el cruce que se tenía de las líneas que salían de la planta central con la que llegaba. Se ve bastante más claro el gráfico y fácil de entender. Durante el desarrollo de este método, se elige siempre el centro más cercano entre los puntos de la ruta, pero así también se tienen puntos donde se tiene que elegir el más lejano para que la ruta mantenga un orden, como se ve en el punto 13, donde el más cercano es el 15; pero si se uniera de esa manera, el punto 14 quedaría aislado y no se completa la ruta.

Con esta ruta, se tiene una ponderación de 290; es decir se reducen 7 kilómetros de recorrido en la ruta de Cayambe lo cual representa un ahorro en combustible de \$1,01 dólares en cada viaje; como este es un recorrido diario, se obtiene un aumento en la utilidad mensual de \$22,22 dólares, lo que representa \$266,64 dólares anuales.

Esto quiere decir que si usamos la ecuación general, mencionada en el capítulo anterior, obtenemos:

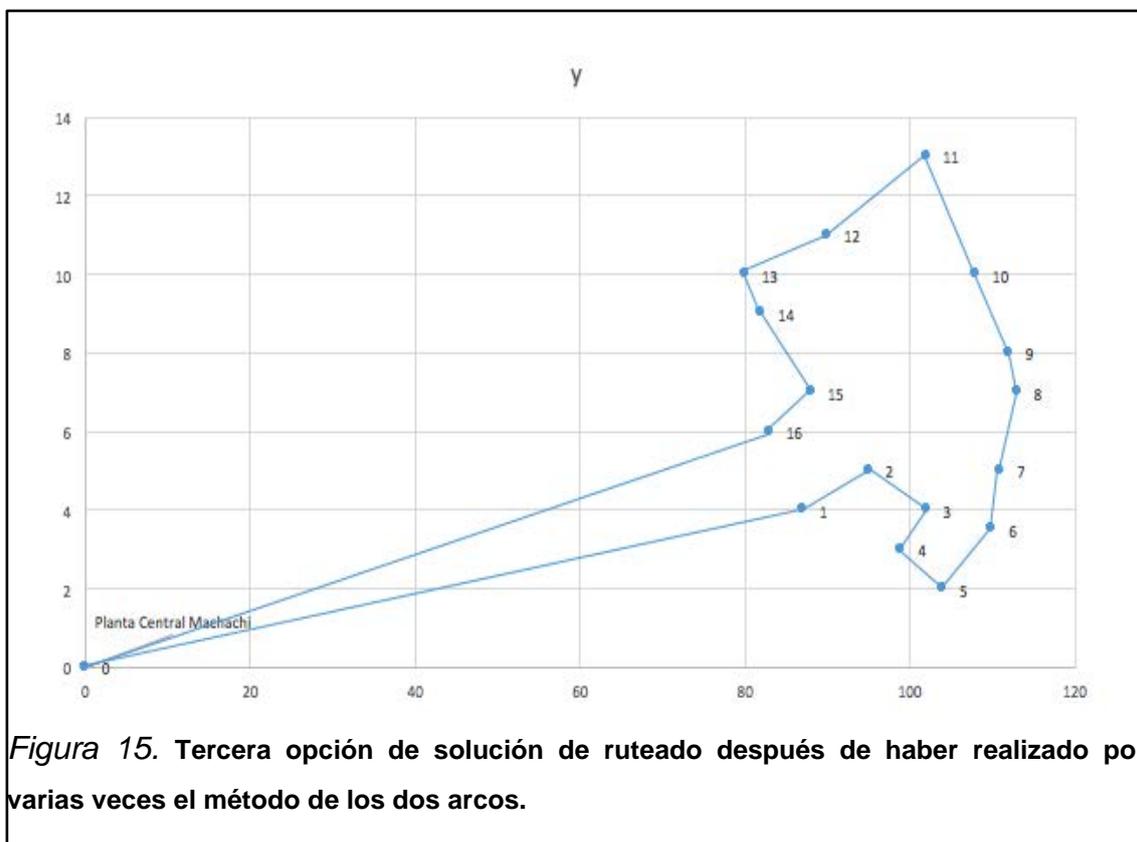
$\$0,03(47046) + \$41,5 = \$1411,38 + \$41,5 = \$1452,88$ , lo que concuerda con nuestro ahorro mencionado.



Realizando una segunda vez el mismo método logramos ver una opción diferente de solución, cambiando la ruta desde el punto 12, que es donde se pueden realizar la mayor cantidad de cambios por la cercanía de los puntos, con esta opción se tiene una ponderación de la ruta de 280 km de recorrido, es decir, se reduce 17 kilómetros que en dólares representa \$2,44 dólares diarios, mensualmente \$73,2 dólares y anualmente se tiene un ahorro de \$878,4 dólares solo en cuestión de combustible, lo que es claramente una optimización de la ruta.

$\$0,03(47046) + \$40,06 = \$1411,38 + \$40,06 = \$1451,44$  como resultado del transporte de leche y el consumo de combustible, ahora se puede ver un ahorro en el combustible de más de 2 dólares diarios.

Como una tercera opción, se hizo un nuevo análisis usando el método de los dos arcos y se obtuvo la siguiente ruta:



Se nota un cambio significativo en cuestión de visualización de la ruta, donde se localizó un cambio importante en el inicio de la ruta, en el punto dos y en el final. Con esta opción, la ponderación que se obtuvo en el recorrido total de la ruta es de 279 kilómetros, donde existe una reducción de 18 km, haciendo los cálculos se obtiene un ahorro diario de \$2,58 dólares, mensualmente de \$77,4 y una utilidad anual de \$928,8 dólares.

$\$0,03(47046) + \$39,92 = \$1411,38 + \$39,92 = \$1451,3$ , aquí se demuestra el ahorro que se tiene solamente reduciendo la distancia y recolectando la misma cantidad de litros de leche.

Si se realiza este método para cada una de las rutas que se tiene en la empresa El Ordeño tendría un aumento de las utilidades de manera

significativa, lo cual, al final del año contable, daría un aumento sustancial de la utilidad que la podría reinvertir en capacitaciones; aumento de espacio laboral, mejoramiento de las máquinas, o, crear un fondo común para el mantenimiento y control de la operatividad de las máquinas críticas de la operación de leche en polvo.

Estas opciones de soluciones son netamente teóricas y serían totalmente aplicables si es que las vías fueran rectas y no hubieran fallas geológicas en la topografía del camino, lo cual permitiría realizar estas rutas en líneas completamente rectas. En el caso de que ocurriera, se podrían tener los ahorros contemplados en estos análisis. Este análisis se lo realiza tomando en cuenta la distancia recorrida por el camión tanquero; en este caso no aplica la restricción de la capacidad porque esta ruta, que se recorre actualmente el vehículo asignado abastece con la capacidad de la ruta; si fuera el caso de que el camión no logra cargar toda la leche de todos los centros se tendría que acoplar un vehículo extra para realizar una segunda ruta. Actualmente, para abastecer el centro de acopio de los 14000 litros de leche que producen diariamente se tienen dos rutas, una que va solo a ese centro cada mañana; y, el camión de la tarde, que es el que recorre la ruta plasmada en este análisis. Los dos camiones tienen una capacidad de 12000 litros, que se dividen en 3 compartimientos. Cabe recalcar que en cualquier punto de la ruta, los miembros de Agrocalidad pueden hacer controles en la calidad de la leche con un aviso anticipado a planta central; de esta manera, en caso de que el chofer encargado haya tenido algún error en la verificación de la calidad del producto, y este se detecta por parte de este agente regulador, se puede ordenar inmediatamente el drenaje del compartimiento contaminado; de esta manera, al momento de llegar a planta central no se contamina el resto de la leche que se encuentran en los otros compartimientos.

El método utilizado en esta ocasión es muy parecido al sistema de inserción más cercana, descrito en el capítulo número 2, donde se enfoca netamente en las distancias, si se usa el método de inserción más cercana se debería hacer

base en planta central y medir para identificar cual es el centro de acopio más cercano, para que ese sea el primer punto a visitar, una vez descubierto el punto 1, se mide cual es el menor recorrido hasta el siguiente centro, para que sea el segundo punto de la ruta y así sucesivamente hasta completar toda la ruta. En este caso, para esta ruta en particular, no se hará el método de inserción mas cercana ya que da como resultado la misma ruta que se obtuvo usando el método del vecino más cercano, así también, se obtuvieron los mismo ahorros correspondientes al tema de consumo de combustible de los camiones, en esta ocasión no se toman en cuenta la cantidad de litros de leche recolectados, porque tienen un costo fijo y la cantidad se mantiene constante porque es la misma ruta, en caso de que hubieran otras rutas diferentes que pasen por los mismo puntos, se tendría que realizar este método para ver en que ruta es más conveniente, para que se tomen en cuenta a los centros de acopio; pero como se tiene una sola ruta no es necesario. En el caso de que se requiera incluir nuevos puntos para visitar dentro de la misma ruta, es conveniente usar este método mencionado, porque nos va a mostrar cual se encuentra dentro de una menor distancia para poder organizar la ruta de mejor manera.

Una vez identificados los ahorros, con la metodología de los dos arcos, se observó de manera sencilla que la ruta es optimizable, pero es necesario aplicar una metodología heurística para poder obtener mejores resultados con ahorros amplios y con un análisis más profundo de la ruta, donde se pondrán las distancias entre cada punto por donde tiene que pasar el camión, la misma tabla que se usó para el método anterior será ocupada para esta nueva metodología, en esta ocasión, las fórmulas son complejas y se logrará observar una ubicación ficticia, donde se optimizaría de manera más grande las utilidades. Obviamente si se decidiera poner la planta en la ubicación ficticia, se incurriría en costos de montar nuevamente la planta y el transporte de todos los equipos, más el paro de la producción durante el tiempo que demore ponerla en funcionamiento nuevamente. Este análisis económico, se lo realizará en el capítulo siguiente, donde se evaluará la posibilidad de mover la fábrica y los

ahorros que representaría para esta ruta, el que se tenga una segunda planta de procesamiento de leche para transformarla en leche en polvo, y cuál sería su capacidad de procesamiento diaria optimizando los tiempos de recolección de la leche, por medio de la disminución de las distancias recorridas dentro de la ruta

## 4.2 Método de Centro de Gravedad.

Para poder empezar con el uso de este método, se tiene que ubicar en un cuadro bien organizado todas las distancias entre los centros. Las distancias que se encuentran en el siguiente cuadro representan las distancias durante la ruta, es decir, las distancias que tiene que recorrer el camión para cumplir con el recorrido completo de la ruta. Se tienen identificados los kilómetros totales, desde el primer centro de acopio hasta el último, pero no se tiene identificado las distancias desde planta central hasta el inicio de la ruta, a continuación se muestra el siguiente cuadro con las distancias:

Tabla 3. Cuadro de distancias entre cada centro de acopio usando la metodología de Centro de Gravedad.

Centros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	2	3	6	8	15	11	13	13	11	12	7	9	3	2	3
2	2	0	2	3	6	13	10	14	14	11	12	9	11	3	4	5
3	3	2	0	1	3	10	9	12	12	10	11	7	9	6	7	8
4	6	3	1	0	2	9	7	11	11	10	12	9	13	6	7	8
5	8	6	3	2	0	8	3	10	10	8	11	8	12	9	10	13
6	15	13	10	9	8	0	2	8	9	11	12	12	13	13	14	15
7	11	10	9	7	3	2	0	1	4	9	10	13	15	16	17	18
8	13	14	12	11	10	8	1	0	1	4	5	8	9	11	2	13
9	13	14	12	11	10	9	4	1	0	4	5	8	10	12	13	14
10	11	11	10	10	8	11	9	4	4	0	3	5	3	5	7	8
11	12	12	11	12	11	12	10	5	5	3	0	4	3	3	5	6
12	7	9	7	9	8	12	13	8	8	5	4	0	3	3	5	6
13	9	11	9	13	12	13	15	9	10	3	3	3	0	5	4	6
14	3	3	6	6	9	13	16	11	12	5	3	3	5	0	1	2
15	2	4	7	7	10	14	17	2	13	7	5	5	4	1	0	2
16	3	5	8	8	13	15	18	13	14	8	6	6	6	2	2	0

Se ve en el cuadro las distancias en kilómetros, para evitar confusiones, se colocaron los números cero (0) en negrita, para que se note claramente la separación de los dos triángulos formados, cada uno de los cuales contienen las mismas distancias entre cada uno de los centros de acopio.

Clarke y Wright dicen en su publicación; “Una de las técnicas generales de ubicación más utilizadas, ya que combina diversos factores y tiene un formato fácil de entender, ponderar los factores es una manera de asignar valores cuantitativos a todos los factores relacionados con cada alternativa de decisión y de derivar una calificación compuesta, que puede ser usada con fines de comparación. Esto lleva al decisor a incluir sus propias preferencias al decidir la ubicación, y puede conjugar ambos factores cuantitativos y cualitativos.” (Clark y Wright, 1964)

Para ver la mejor ubicación, en este caso ficticia porque servirá solo como ejercicio práctico para esta tesis, a esta nueva ubicación la llamaremos centro de gravedad; como resultado dará las mejores coordenadas donde se debe asentar la planta central, para que las distancias sean las óptimas y obtener una mayor rentabilidad. En caso de que se tenga unas coordenadas muy cercanas a donde se encuentra un centro de acopio, por facilidad y por disponibilidad, se lo podría situar en ese punto.

Primeramente, se deben tener las coordenadas de cada uno de los puntos en una tabla donde podamos realizar los cálculos respectivos con las fórmulas que se mencionarán más adelante; a continuación se muestra la tabla con las coordenadas de la ubicación de los puntos de la ruta de Cayambe con los 16 centros de acopio; el primer punto y el último son la planta central, pero se lo pone dos veces para cerrar la ruta, es decir que cumpla con un inicio y un final.

Tabla 4. Tabla de coordenadas en el eje X y Y de los centros de acopio ubicados en la ruta de Cayambe.

Punto	x	y
1	0	0
2	110	3,5
3	111	5
4	113	7
5	112	8
6	108	10
7	102	13
8	90	11
9	80	10
10	82	9
11	88	7
12	83	6
13	95	5
14	87	4
15	102	4
16	99	3
17	104	2
18	0	0

En la tabla se trabaja con los dos ejes de referencia para la ubicación de las coordenadas. En el eje X, como referencia, se usó los 110 kilómetros de distancia promedio que existe entre Machachi y Cayambe; con respecto a eso, se colocaron los demás puntos donde se encuentran ubicados los centros de acopio de la respectiva ruta; por otro lado, en el eje Y están solamente coordenadas sin relación alguna, pero expresan de manera gráfica la ubicación de los puntos dentro de la ruta vista en dos dimensiones.

Una vez que se tienen las coordenadas de cada uno de los puntos se necesita saber como usarlos para encontrar el centro de gravedad; para esto, se

necesitan las fórmulas que propone el algoritmo de Clarke y Wright. Para poder empezar con su metodología, las ecuaciones que se usarán son las siguientes:

Coordenada X de la instalación del centro de gravedad:

$$C_x: \frac{\sum C_i \times D_{ix} \times V_i}{\sum C_i \times V_i} \quad (\text{ecuación 6})$$

Coordenada Y de la instalación del centro de gravedad:

$$C_y: \frac{\sum C_i \times D_{iy} \times V_i}{\sum C_i \times V_i} \quad (\text{ecuación 7})$$

Donde:

$C_i$  = costo unitario de transporte al punto  $i$

$D_i$  = distancia entre el punto  $i$  y el lugar donde se encuentra la instalación.

$V_i$  = Volumen o peso de los materiales movidos desde o hacia  $i$ .

Para dar inicio a los cálculos a realizarse, se debe usar la tabla de las distancias en cada uno de los ejes, a esta tabla además se tiene que agregar la cantidad de litros que produce cada uno de los centros de acopio, posteriormente se tiene que realizar la sumatoria de las tres columnas mencionadas, a continuación se muestra en la imagen como queda la tabla con la nueva parte agregada:

Tabla 5. Cantidad de litros que se producen en cada centro de acopio junto con sus coordenadas y la suma de cada una de las columnas en la última fila.

Punto	Longitud	Latitud	Cantidad de litros producidos
1	0	0	0
2	110	3,5	1000
3	111	5	500
4	113	7	2200
5	112	8	2000
6	108	10	1000
7	102	13	6700
8	90	11	2300
9	80	10	14000
10	82	9	3600
11	88	7	3400
12	83	6	2200
13	95	5	4500
14	87	4	250
15	102	4	800
16	99	3	1400
17	104	2	1000
18	0	0	0
<b>Suma</b>	<b>1566</b>	<b>107,5</b>	<b>46850</b>

Como se ve en la tabla se cambiaron los títulos de las columnas de las coordenadas X y Y a longitud y latitud respectivamente, para después hacer uso de las letras X y Y de nuevo, que expresan los puntos de las ubicaciones actuales de los centros de acopio, en la parte inferior de la tabla está realizado solamente la suma vertical de las tres columnas. Ahora que ya se tiene la primera parte de la tabla se debe agregar dos columnas más, donde los cálculos que se realizarán serán cada una de las coordenadas de los puntos por la cantidad de litros producidos en cada centro, es decir, se multiplicará la

columna de longitud por la cantidad de litros de leche y lo mismo con la columna latitud, expresado esto en la misma tabla que se ha trabajado se tiene:

Tabla 6. Coordenadas resultantes necesarias para continuar con el proceso del método de Centro de Gravedad.

Punto	Longitud	Latitud	Cantidad de litros producidos	X	Y
1	0	0	0	0	0
2	110	3,5	1000	110000	3500
3	111	5	500	55500	2500
4	113	7	2200	248600	15400
5	112	8	2000	224000	16000
6	108	10	1000	108000	10000
7	102	13	6700	683400	87100
8	90	11	2300	207000	25300
9	80	10	14000	1120000	140000
10	82	9	3600	295200	32400
11	88	7	3400	299200	23800
12	83	6	2200	182600	13200
13	95	5	4500	427500	22500
14	87	4	250	21750	1000
15	102	4	800	81600	3200
16	99	3	1400	138600	4200
17	104	2	1000	104000	2000
18	0	0	0	0	0
Suma	1566	107,5	46850		

Con la tabla ya completa con los datos necesarios para poder sacar las coordenadas más óptimas, de donde debería estar situado la planta central ficticia o centro de gravedad, para lograr disminuir los costos de las operaciones de transporte se debe realizar el cálculo siguiente:

Para las coordenadas en X, se realiza la suma total de la columna "X" y se la divide para la suma total de la columna de los litros producidos; y lo mismo para las coordenadas en Y, completando la tabla con las ubicaciones ideales se tiene:

Tabla 7. Coordenadas de la ubicación óptima según la metodología de Centro de Gravedad.

Punto	Longitud	Latitud	Cantidad de litros producidos	X	Y	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
1	0	0	0	0	0	91,93	8,58
2	110	3,5	1000	110000	3500		
3	111	5	500	55500	2500		
4	113	7	2200	248600	15400		
5	112	8	2000	224000	16000		
6	108	10	1000	108000	10000		
7	102	13	6700	683400	87100		
8	90	11	2300	207000	25300		
9	80	10	14000	1120000	140000		
10	82	9	3600	295200	32400		
11	88	7	3400	299200	23800		
12	83	6	2200	182600	13200		
13	95	5	4500	427500	22500		
14	87	4	250	21750	1000		
15	102	4	800	81600	3200		
16	99	3	1400	138600	4200		
17	104	2	1000	104000	2000		
18	0	0	0	0	0		
Suma	1566	107,5	46850				

En el gráfico de dispersión de los puntos de coordenadas de la ruta se tiene:

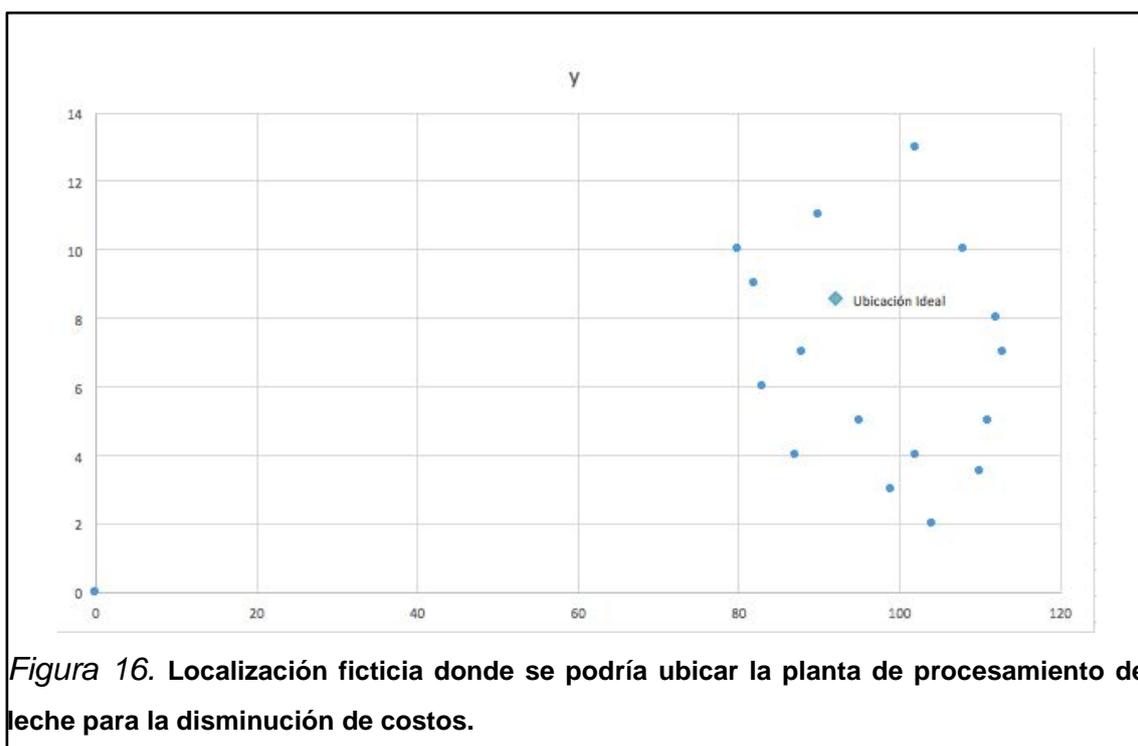
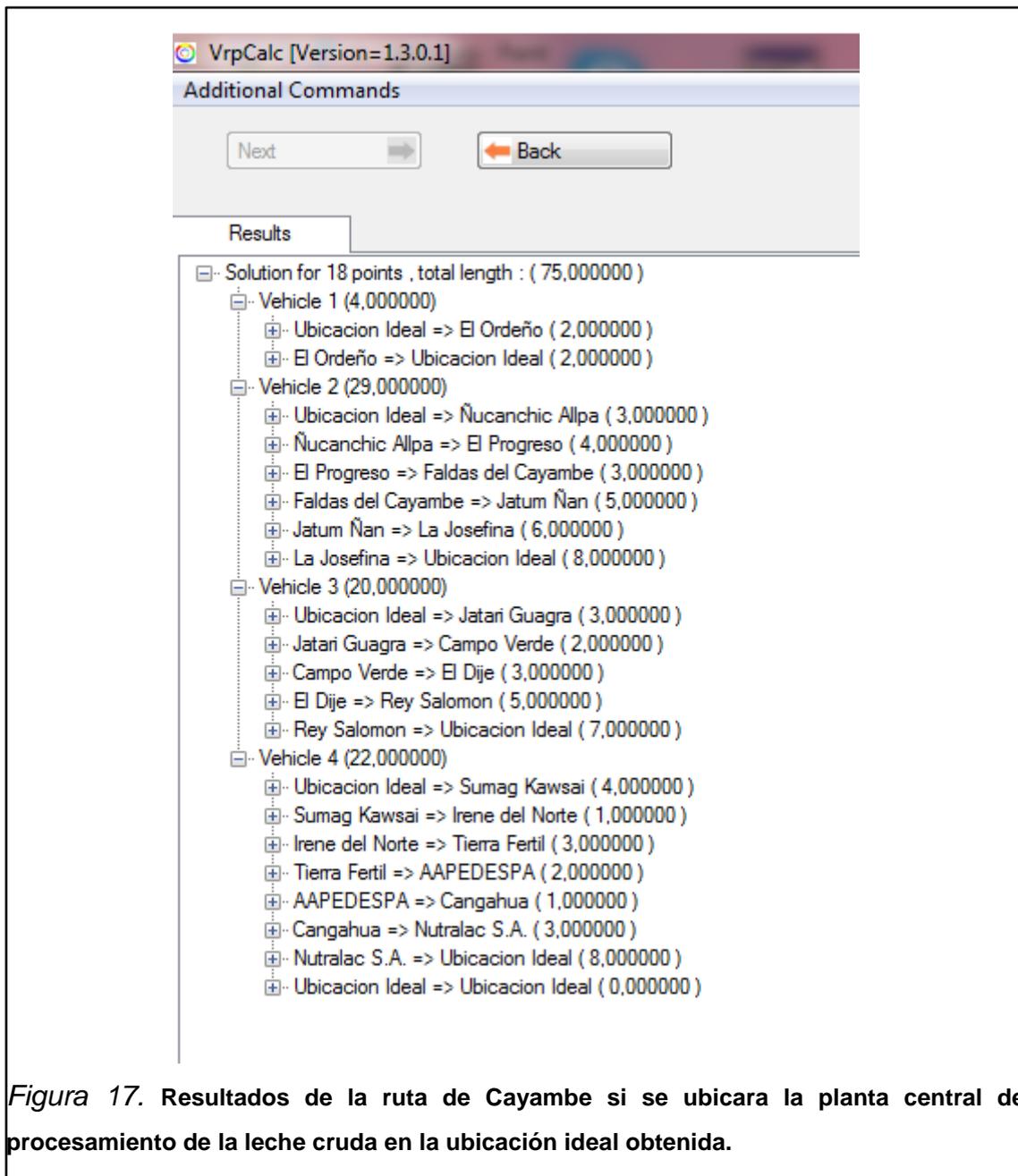


Figura 16. Localización ficticia donde se podría ubicar la planta de procesamiento de leche para la disminución de costos.

Una vez encontrada la ubicación ideal donde se debería ubicar la planta central dentro de esta localidad y específicamente dentro de esta ruta, se tiene que tener en cuenta cuales serían las rutas que cada uno de los vehículos deberían recorrer. Para esto, se usaron los datos antes mencionados como la distancia entre los puntos y la producción de leche de cada uno de los centros.



*Figura 17.* Resultados de la ruta de Cayambe si se ubicara la planta central de procesamiento de la leche cruda en la ubicación ideal obtenida.

Estos son los resultados que se obtuvieron para cada uno de los vehículos sin violar las restricciones de capacidad puestas, se realizará la demostración de la disminución de los costos usando estos datos en el siguiente capítulo correspondiente al análisis económico.

### 4.3 Método de Carga – Distancia.

Una vez que se tienen los dos puntos de la nueva coordenada, donde teóricamente todos los costos se reducirían y se obtendría una mayor utilidad, se requiere hacer el análisis del acercamiento a un punto real de la ruta. Esto quiere decir que vamos a situar en un punto real de la ruta nuestra planta de procesamiento de leche cruda, ya que no se sabe si en el punto ideal ficticio se puede ubicar en dichas coordenadas. De esta manera, tenemos que realizar dos estudios para obtener una ubicación certera. Estos dos nuevos estudios son los de la distancia rectilínea y la distancia euclidiana, los cuales mediante un par de ecuaciones nos darán distancias entre el centro de acopio con la ubicación ideal y los centros de acopios reales dentro de la ruta. Una vez obtenidas estas distancias, lo que nos dará la solución serán las menores distancias que se encuentren; se podrían obtener dos centros diferentes, por el uso de las ecuaciones, pero en el mejor de los casos, los dos métodos deberían coincidir en el mismo centro de acopio. A este método se lo llama “método de carga – distancia”.

Para realizar el método de distancia rectilínea, que es el primer paso dentro de esta metodología, se enumerarán en los siguientes pasos detallados:

1. Los valores que se utilizarán son los siguientes, ubicación de la planta ideal y las coordenadas de longitud y latitud, las cuales se obtuvieron en las tablas anteriores.
2. Todos los valores a usar deben estar dentro de valores absolutos.
3. Primero se usan los valores de X y después los de Y, como se indican en la ecuación número 8.
4. Xb significa el punto de llegada y Xa representa el punto de salida, lo mismo para las coordenadas Y.

$$\text{Distancia rectilínea: } D_{ab} = |Xb - Xa| + |Yb - Ya| \quad (\text{ecuación 8})$$

Para obtener la distancia euclidiana, se siguen los siguientes pasos:

1. Los mismos valores antes encontrados ( $X_b$ ,  $X_a$ ,  $Y_b$  y  $Y_a$ ) serán utilizados.
2. Utilizar la ecuación número 9 para obtener el resultado.

$$\text{Distancia Euclidiana: } D_{ab} = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} \quad (\text{ecuación 9})$$

Una vez encontrados estos dos valores, tanto la distancia rectilínea como la euclidiana, es necesario ponerlos en una tabla

En la siguiente tabla, las dos primeras columnas son los valores encontrados usando la ecuación 8, la tercera columna representa la sumatoria de las dos anteriores. Para la cuarta y última columna se escribe los valores encontrados con la ecuación 9, ya realizada la suma y los cálculos correspondientes.

Tabla 8. Resultados de los métodos rectilíneo y euclidiana para la localización del mejor centro de acopio.

Distancias entre los centros de acopio y la planta ideal			
91,93	8,58	100,51	92,33
18,07	5,08	23,15	18,77
19,07	3,58	22,65	19,40
21,07	1,58	22,65	21,13
20,07	0,58	20,65	20,08
16,07	1,42	17,49	16,13
10,07	4,42	14,49	11,00
1,93	2,42	4,35	3,10
11,93	1,42	13,35	12,01
9,93	0,42	10,35	9,94
3,93	1,58	5,51	4,24
8,93	2,58	11,51	9,30
3,07	3,58	6,65	4,72
4,93	4,58	9,51	6,73
10,07	4,58	14,65	11,06
7,07	5,58	12,65	9,01
12,07	6,58	18,65	13,75
91,93	8,58	100,51	92,33
Distancia Rectilínea		Distancia Euclidiana	

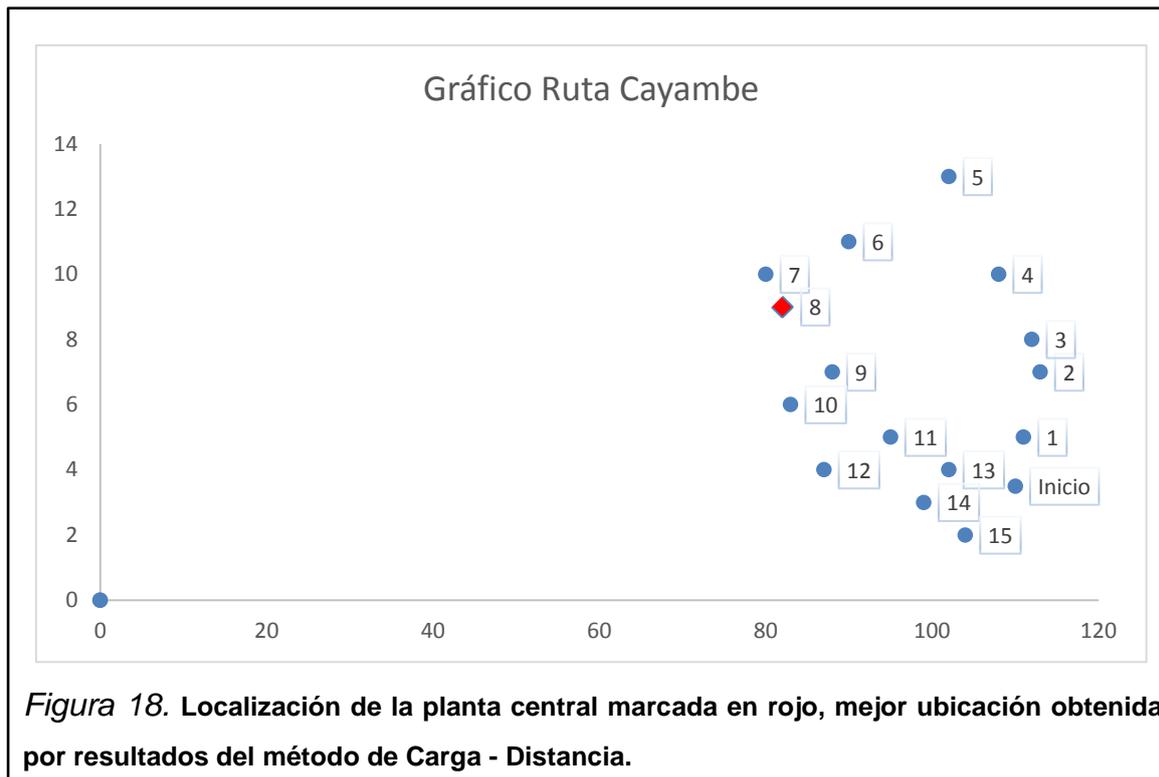
Entonces, suponiendo que no se puede ubicar la planta ficticia en las coordenadas que obtuvimos mediante el método de Centro de Gravedad, se tiene que analizar la mejor opción para ubicar en los puntos que se tienen actualmente activos dentro de la ruta. Para decidir esto, se observa las menores distancias de cada uno de los puntos que se han analizado. En la tabla siguiente, se muestran de un color diferente la ubicación más cercana a este punto "ficticio", el cual sería la mejor posición para asentar la planta de procesamiento de leche cruda dentro de esta ruta. Como se mencionó anteriormente la mejor ubicación en caso de que se obtengan dos centros de

acopio distintos, uno según cada método, se compara con la sumatoria de las distancias rectilíneas y las distancias euclidianas, y se elige la menor distancia obtenida para ver después a que centro de acopio pertenece y realizar la selección de ese punto de la ruta.

Tabla 9. Resultados de las distancias rectilíneas y euclidianas para identificar el centro de acopio más óptimo para la ubicación de la planta central.

Distancias entre los centros de acopio y la planta ideal			
91,93	8,58	100,51	92,33
18,07	5,08	23,15	18,77
19,07	3,58	22,65	19,40
21,07	1,58	22,65	21,13
20,07	0,58	20,65	20,08
16,07	1,42	17,49	16,13
10,07	4,42	14,49	11,00
1,93	2,42	4,35	3,10
11,93	1,42	13,35	12,01
9,93	0,42	10,35	9,94
3,93	1,58	5,51	4,24
8,93	2,58	11,51	9,30
3,07	3,58	6,65	4,72
4,93	4,58	9,51	6,73
10,07	4,58	14,65	11,06
7,07	5,58	12,65	9,01
12,07	6,58	18,65	13,75
91,93	8,58	100,51	92,33
Distancia Rectilínea			Distancia Euclidiana

Como se observa en la tabla 9 los dos tipos de distancias utilizadas, tanto la rectilínea como la euclidiana, coinciden en el mismo centro, lo cual resulta lo mas óptimo y no hay necesidad de hacer la comparación de las distancias entre los métodos. Usando estas distancias, se obtiene que el mejor centro de acopio para el procesamiento de leche cruda con esta ruta es el punto 8, a continuación se muestra en el plano la ubicación de dicho centro.



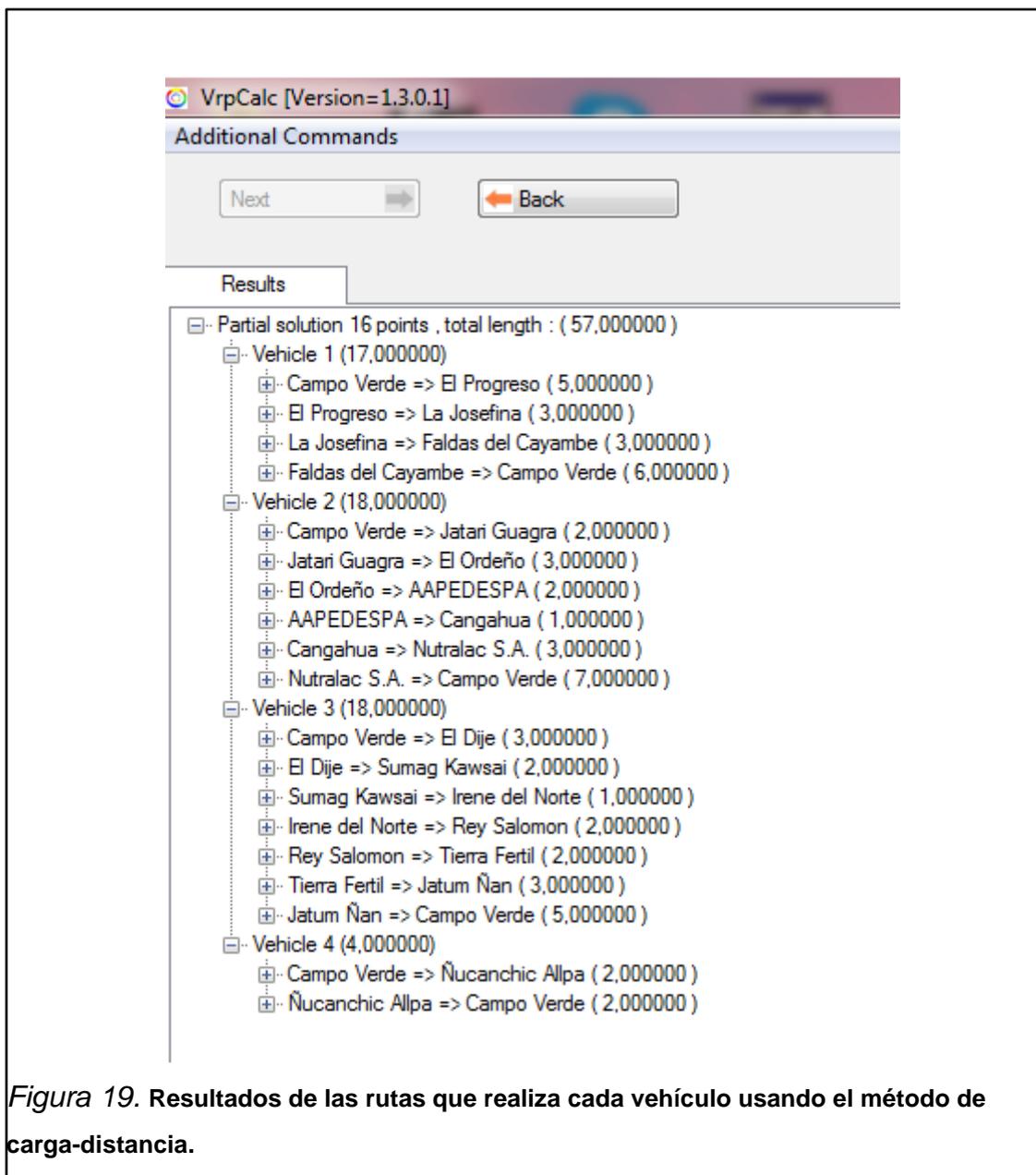
Gráficamente se tiene la ubicación ideal asentado en el punto 8, como muestra la tabla 9, según todos los cálculos de las distancias este punto tiene la ventaja de reducir distancias dentro de la ruta, es decir, disminuir los costos de transporte, y teniendo por efecto un aumento de las utilidades de la empresa. Como se mencionó anteriormente, el análisis económico de estas propuestas de mejora de la ruta se las realizará en el siguiente capítulo.

Al igual que en el método anterior se debe tener un cuadro con las distancias que separa a cada uno de los centros de acopio que se encuentran dentro de la ruta, el cuadro de las distancias es el siguiente:

Tabla 10. Cuadro de distancias para el método de Carga – distancia.

Centros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	2	3	6	8	15	11	13	13	11	12	7	9	3	2	3
2	2	0	2	3	6	13	10	14	14	11	12	9	11	3	4	5
3	3	2	0	1	3	10	9	12	12	10	11	7	9	6	7	8
4	6	3	1	0	2	9	7	11	11	10	12	9	13	6	7	8
5	8	6	3	2	0	8	3	10	10	8	11	8	12	9	10	13
6	15	13	10	9	8	0	2	8	9	11	12	12	13	13	14	15
7	11	10	9	7	3	2	0	1	4	9	10	13	15	16	17	18
8	13	14	12	11	10	8	1	0	1	4	5	8	9	11	2	13
9	13	14	12	11	10	9	4	1	0	4	5	8	10	12	13	14
10	11	11	10	10	8	11	9	4	4	0	3	5	3	5	7	8
11	12	12	11	12	11	12	10	5	5	3	0	4	3	3	5	6
12	7	9	7	9	8	12	13	8	8	5	4	0	3	3	5	6
13	9	11	9	13	12	13	15	9	10	3	3	3	0	5	4	6
14	3	3	6	6	9	13	16	11	12	5	3	3	5	0	1	2
15	2	4	7	7	10	14	17	2	13	7	5	5	4	1	0	2
16	3	5	8	8	13	15	18	13	14	8	6	6	6	2	2	0

Después de ya haber obtenido todas estas distancias lo único que queda por hacer es el estudio de las rutas y esto fueron los resultados que se obtuvieron:



Culminado este proceso de análisis de las rutas, usando estos métodos, solo queda por comprobar los resultados usando el método de Clarke y Wright, el cual es el que se acerca más a la realidad actual de la empresa. Posteriormente en el siguiente capítulo, realizar el análisis económico y hacer un comparativo de todos y ver cual es el más eficiente y con cual se obtiene una mayor utilidad mediante la reducción de los costos.

#### **4.4 Método de Clarke y Wright.**

Vale aclarar que a partir de este punto el inicio de las rutas seguirá siendo la ubicación real de la planta central ya que si se usa el punto ficticio o el centro de acopio número 8, se perdería el motivo de la tesis que es la optimización real de la ruta de recolección de leche cruda en Cayambe. Por este motivo, de ahora en adelante, el armado de las rutas y las tablas de ahorro partirán desde el punto (0,0) visto en la figura 10.

Para continuar con el proceso y poder usar la metodología de Clarke y Wright, se necesita poner en una tabla las distancias de cada uno de los centros con respecto a los demás, esta tabla ayudará a ver cuales son los centros donde se puede obtener mayor cantidad de ahorro, por medio de distancias recorridas y, posteriormente, según la cantidad de leche producida por cada centro se arma la ruta o las rutas, ya que se debe tener en cuenta que los camiones tienen una capacidad limitada para el transporte de leche, esta restricción dará como resultado cuántos camiones se deben usar para la ruta estudiada en esta tesis.

A continuación se muestra en la siguiente tabla las distancias relacionadas entre cada uno de los centros de acopio:

Tabla 11. Cuadro de distancia con respecto a cada uno de los centros de acopio.

Centros	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	110	111	113	112	108	102	90	80	82	88	83	95	87	102	99	104
1	110	0	2	5	6	8	15	13	13	13	11	12	7	9	3	2	3
2	111	2	0	2	3	6	13	12	14	14	11	12	9	11	3	4	5
3	113	5	2	0	1	3	10	9	12	12	10	11	7	9	6	7	8
4	112	6	3	1	0	2	9	8	11	11	10	12	9	13	6	7	8
5	108	8	6	3	2	0	8	7	10	10	8	11	8	12	9	10	13
6	102	15	13	10	9	8	0	4	8	9	11	12	12	13	13	14	15
7	90	13	12	9	8	7	4	0	4	4	7	9	10	12	12	13	14
8	80	13	14	12	11	10	8	4	0	1	4	5	8	9	11	12	13
9	82	13	14	12	11	10	9	4	1	0	4	5	8	10	12	13	14
10	88	11	11	10	10	8	11	7	4	4	0	3	5	3	5	7	8
11	83	12	12	11	12	11	12	9	5	5	3	0	4	3	6	5	6
12	95	7	9	7	9	8	12	10	8	8	5	4	0	3	3	5	6
13	87	9	11	9	13	12	13	12	9	10	3	3	3	0	5	4	6
14	102	3	3	6	6	9	13	12	11	12	5	6	3	5	0	1	2
15	99	2	4	7	7	10	14	13	12	13	7	5	5	4	1	0	2
16	104	3	5	8	8	13	15	14	13	14	8	6	6	6	2	2	0

Después de haber obtenido ya el cuadro completo de las distancias entre cada uno de los centros, se necesita obtener una tabla de ahorros, para obtener esta parte tan importante de esta metodología, Clarke y Wright da la siguiente ecuación:

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde,

S = el ahorro del punto de partida al punto de llegada.

C = costo del transporte de un punto de salida a uno de llegada.

Una vez realizada esta ecuación para cada uno de los puntos de la ruta se obtiene la tabla de ahorros que es la siguiente:

Tabla 12. Tabla de ahorros por método de Clarke y Wright

Centros	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		0	222	219	212	200	185	171	171	178	180	191	191	204	205	209	170
2		222	0	3	3	6	3	10	9	10	6	5	0	0	-1	-1	1
3		219	3	0	4	4	5	-1	0	4	-2	-1	1	1	-3	-3	2
4		212	3	4	0	3	8	9	11	1	2	5	-3	-4	-4	-4	6
5		200	6	4	3	0	1	0	-2	0	0	-3	-2	-1	-1	-2	-3
6		185	3	5	8	1	0	7	8	9	9	8	9	9	8	8	-1
7		171	10	-1	9	0	7	0	4	2	4	3	3	3	3	2	-2
8		171	9	0	11	-2	8	4	0	2	1	0	-1	-1	0	1	2
9		178	10	4	1	0	9	2	2	0	6	8	10	10	9	10	1
10		180	6	-2	2	0	9	4	1	6	0	2	2	0	2	2	12
11		191	5	-1	5	-3	8	3	0	8	2	0	2	7	6	4	13
12		191	0	1	-3	-2	9	3	-1	10	2	2	0	1	2	2	-1
13		204	0	1	-4	-1	9	3	-1	10	0	7	1	0	1	2	2
14		205	-1	-3	-4	-1	8	3	0	9	2	6	2	3	0	2	2
15		209	-1	-3	-4	-2	8	2	1	10	2	4	2	5	2	0	-3
16		170	1	2	6	-3	-1	-2	2	1	12	13	-1	-1	2	-3	0

Esta tabla muestra que la mayor cantidad de ahorro que se puede dar es justamente en la conexión del primer nodo que es la planta central con los nodos de la ruta. Cabe recalcar que estos ahorros son en cuestión de distancia y no de dinero, para saber el ahorro obtenido en dólares se realizará el análisis económico en el siguiente capítulo, aquí no se presenta la columna del punto de planta central ya que por la ecuación no se obtendría un resultado porque se requiere un punto de salida y otro de llegada entonces como resultado se tendría una indeterminación. Después de haber obtenido este cuadro se tiene que observar los ahorros mayores para por ese nodo comenzar la unión para las rutas, en este punto es donde se ocupa el cuadro con los nodos y la cantidad de leche producida por cada centro de acopio, a continuación se muestra la tabla dicha:

Tabla 13. Cuadro con la producción en cantidad de litros de leche por cada centro de acopio.

Punto	Cantidad de litros producidos
1	0
2	1000
3	500
4	2200
5	2000
6	1000
7	6700
8	2300
9	14000
10	3600
11	3400
12	2200
13	4500
14	250
15	800
16	1400
17	1000
18	0

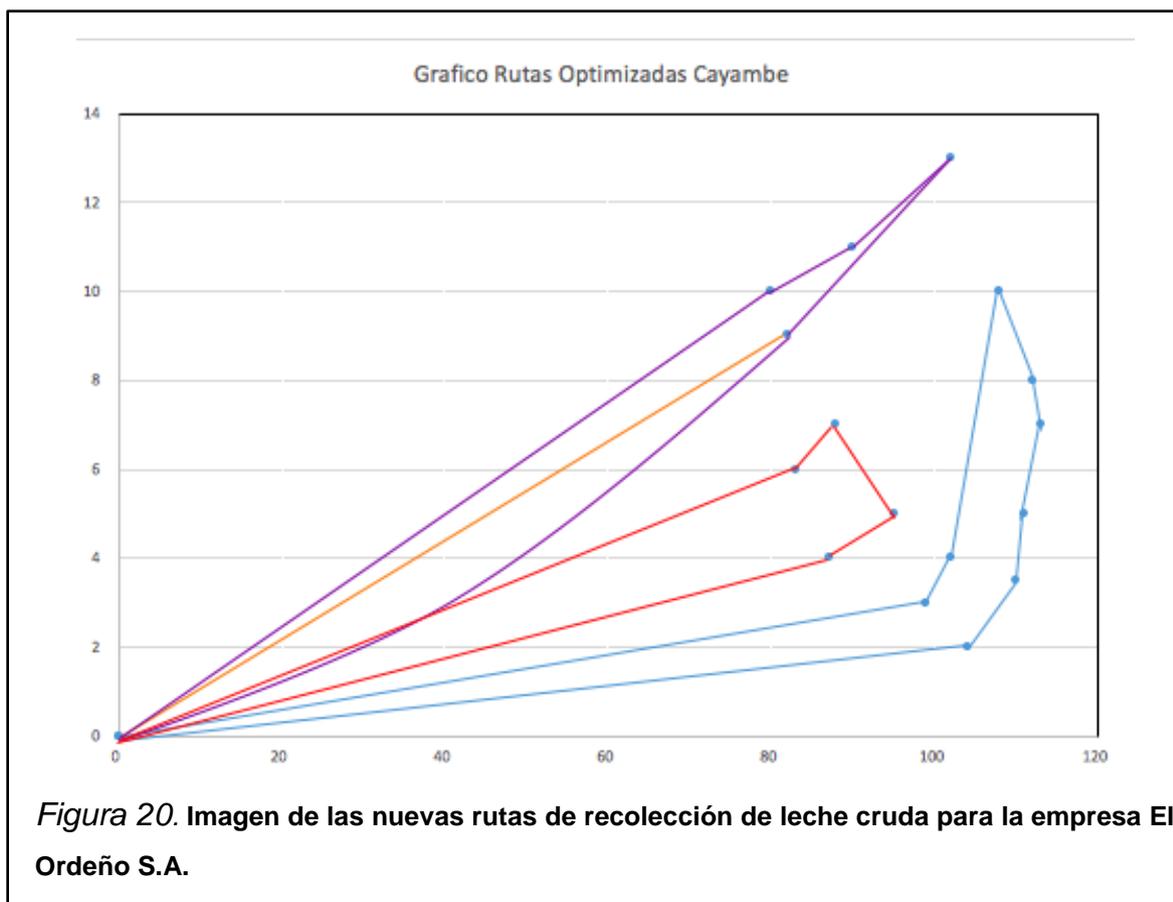
Este cuadro sirve para ver las restricciones de cada camión al momento de formar las rutas ya que los camiones tienen un cupo limitado de carga.

Para la realización de las rutas vamos a suponer que los camiones que ocupan esta ruta van a tener todos la misma capacidad de carga, serán de 12000 litros que es la capacidad promedio que tienen los camiones que trabajan para la empresa El Ordeño S.A; a continuación se muestra cual es el orden de visita de los puntos por parte del camión recolector según los ahorros y su capacidad.

Tabla 14. Tabla con los puntos a visitar por parte del camión según los ahorros y capacidad de carga.

Centros a visitar	Ahorro	Producción en litros
1-2	222	1000
2-3	219	500
3-4	212	2200
4-15	209	1000
15-14	205	1400
14-13	204	800
13-5	200	2000
5-12	191	2200
12-11	191	3400
11-6	185	1000
6-10	180	3600
10-9	178	14000
9-8	171	2300
8-7	171	6700
7-16	170	4500

En la tabla se ven las secuencias de las conexiones de cada uno de los centros de acopio con la cantidad de ahorro y los litros producidos por cada centro, donde dará una guía de los centros que se visitarán hasta completar los 12000 litros que es el cupo de cada camión, entonces una vez descrito el método que se llevará a cabo se muestran las siguientes rutas con las que se optimizarán las utilidades.



En la figura 20, se ven claramente las nuevas rutas desde el punto de partida que es planta central, donde se hace el procesamiento de la leche cruda, que es el fin también de la ruta. La ruta de color anaranjado, es la ruta donde se producen 14000 litros de leche diario; este es el centro de acopio “La Chimba”, por lo cual se debe poner a una ruta adyacente como apoyo para este centro y recolecte los 2000 litros sobrantes; por lo cual, se le adjunta a la ruta de color púrpura ya que es la más cercana y queda en el transcurso de regreso a planta central pasar por dicho centro de acopio. También se ve el incremento de una ruta extra; con este planteamiento, a lo comparado con la situación real que vive la empresa; esta ruta adicional creada se debe a las restricciones de capacidad del camión que se puso para el estudio de esta tesis. En caso de que hubieran camiones con capacidades mayores a los 12000 litros, lo más conveniente sería usar este tipo de camiones para disminuir la cantidad de rutas, pero aumentaría las distancias a recorrer y por lo tanto el tiempo de ejecución hasta completar la ruta. En el caso de que se requiera el uso de los camiones mencionados, se debería realizar prácticamente el mismo análisis ya

realizado, pero solo cambiando la restricción de la capacidad de los vehículos para el transporte; las distancias se mantienen y las coordenadas de los centros de acopio también. En el siguiente capítulo, se mostrarán los análisis económicos según las distancias recorridas y la capacidad que se llevan por parte de cada una de las rutas hasta la planta central, donde se realiza la descarga de toda la leche cruda posterior al análisis de laboratorio, para verificar que se cumpla con la calidad requerida.

#### 4.5 Algoritmo Genético.

Por último tenemos el método metaheurístico del algoritmo genético, los algoritmos genéticos son modelos matemáticos de búsqueda de soluciones cuya esencia se enmarca en la teoría de la evolución, en los principios de la genética, esto es, los mecanismos de selección natural y de supervivencia del más apto. Los algoritmos genéticos son una rama de la inteligencia artificial que imita la evolución biológica para resolver problemas de búsquedas y optimización; estos se basan en el proceso genético de los organismos vivos. Son algoritmos que trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a determinado problema. A cada individuo se le asigna un valor o puntuación relacionado con la “bondad” de dicha solución. La “bondad” en este caso significa la capacidad de asimilación o adaptación al circuito al que se somete el algoritmo, es decir, mide la capacidad de respuesta de cada individuo antes las diferentes situaciones que se puede presentar dentro de los cálculos que se realizan para la obtención de los diferentes resultados propuestos por este método.

Este tipo de algoritmos se usa con mayor frecuencia en la parte de sistemas informáticos, ya que es una pieza fundamental de la inteligencia artificial. Se lo usa para la distribución de los chips dentro del “mainboard” o placa madre para que todos tengan una conexión relevante y funcione de manera óptima la placa.

Según Cerrolaza y Annicchiarico (1996), pioneros en el área de los algoritmos genéticos y desarrolladores de los diagramas de flujo y cálculos para el desarrollo de este método por medio de sistemas de simulación, los principios más aceptados por los biólogos referentes a los mecanismos que guían la evolución son:

- Los procesos de evolución operan sobre los cromosomas, elementos orgánicos que codifican estructuras.

- El proceso de selección natural es el que permite que los cromosomas más aptos se reproduzcan con una probabilidad mayor que los que no lo son.
- El proceso de reproducción ocurre cuando la evolución toma lugar, bien sea por cruce o por mutación.

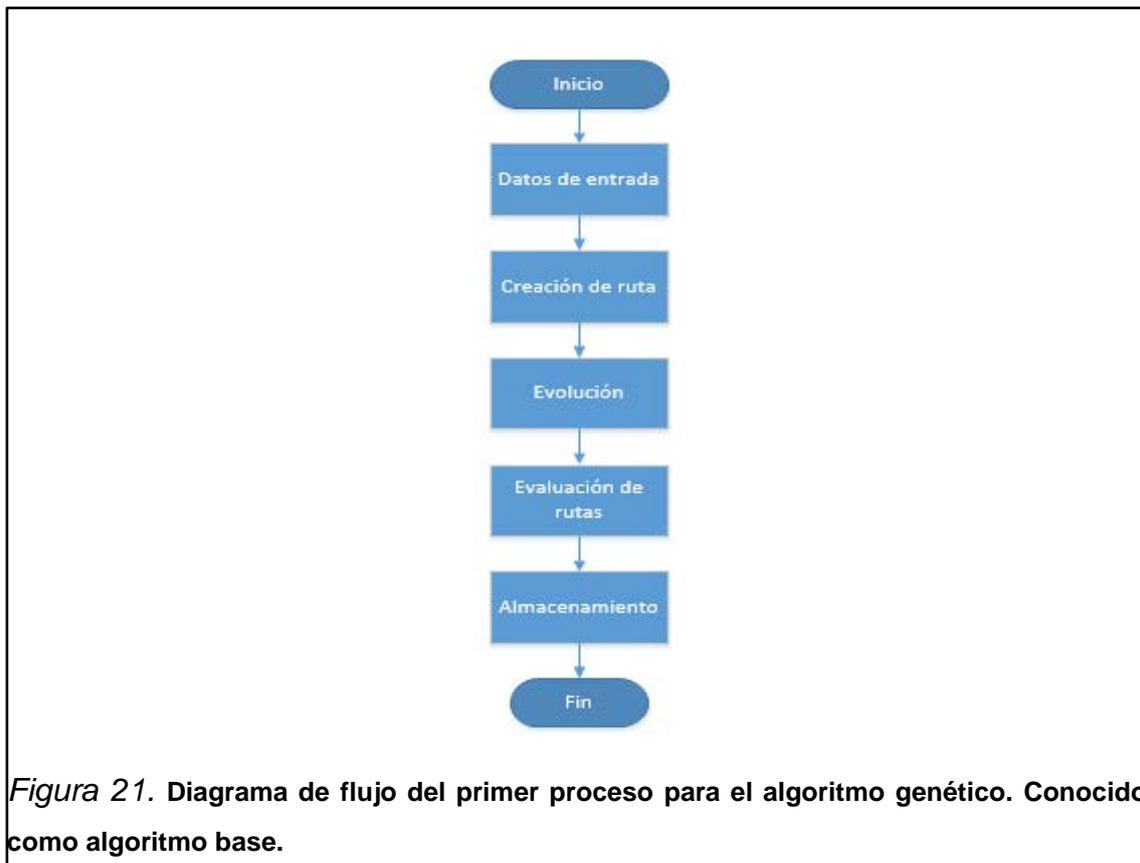
Entonces para enfocar estos principios en el problema planteado se debe definir lo siguiente:

- Diseñar una representación cromosomal codificada de la solución.
- La forma de creación de la población inicial.
- Una función de mérito, evaluación o aptitud.
- Los operadores genéticos y su forma de aplicación.

Tanto los principios que mencionan los biólogos, como lo mencionado en el párrafo anterior, son las bases teóricas del algoritmo genético. En el siguiente diagrama de flujo, se muestra el sistema en el que el algoritmo funciona de tal manera que se tenga un mejor entendimiento de lo que se realiza. Hay que tener muy en cuenta que con cada corrida de la simulación del algoritmo genético puede dar soluciones distintas, ya que son algoritmos de búsquedas múltiples, esto quiere decir que dan varias soluciones, unas más calificadas que otras. Este tipo de algoritmos descarta inmediatamente, espacios malos al tener una convergencia rápida. Estas simulaciones se las realizan en programas especializados; en estos tipos de algoritmos, para este caso en específico se utilizará un software llamado VRPcalc, que es un sistema libre de uso gratuito que se utilizará posteriormente después de los diagramas de flujo.

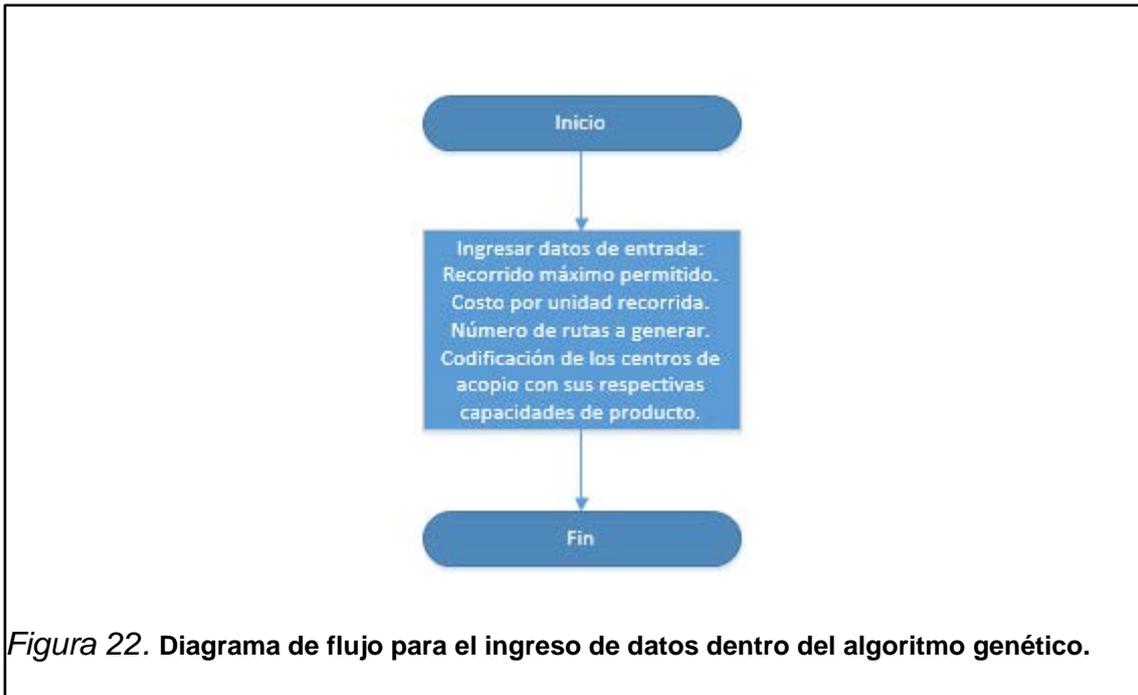
Los diagramas de flujo que se describirán más adelante son de igual manera algoritmos, estos algoritmos son usados de manera de codificación individual, la unión de todos estos diagramas de flujo crean el algoritmo genético completo, por lo que se verá en algunos de ellos “llamados” a algunos de ellos dentro de los otros diagramas.

El primero de los diagramas es el que representa el algoritmo base que es el siguiente:



Este diagrama de flujo muestra el proceso general con el que funciona el algoritmo genético; es decir, muestra cada una de las etapas que debe cumplir el programa a usar, para que se pueda obtener un resultado óptimo.

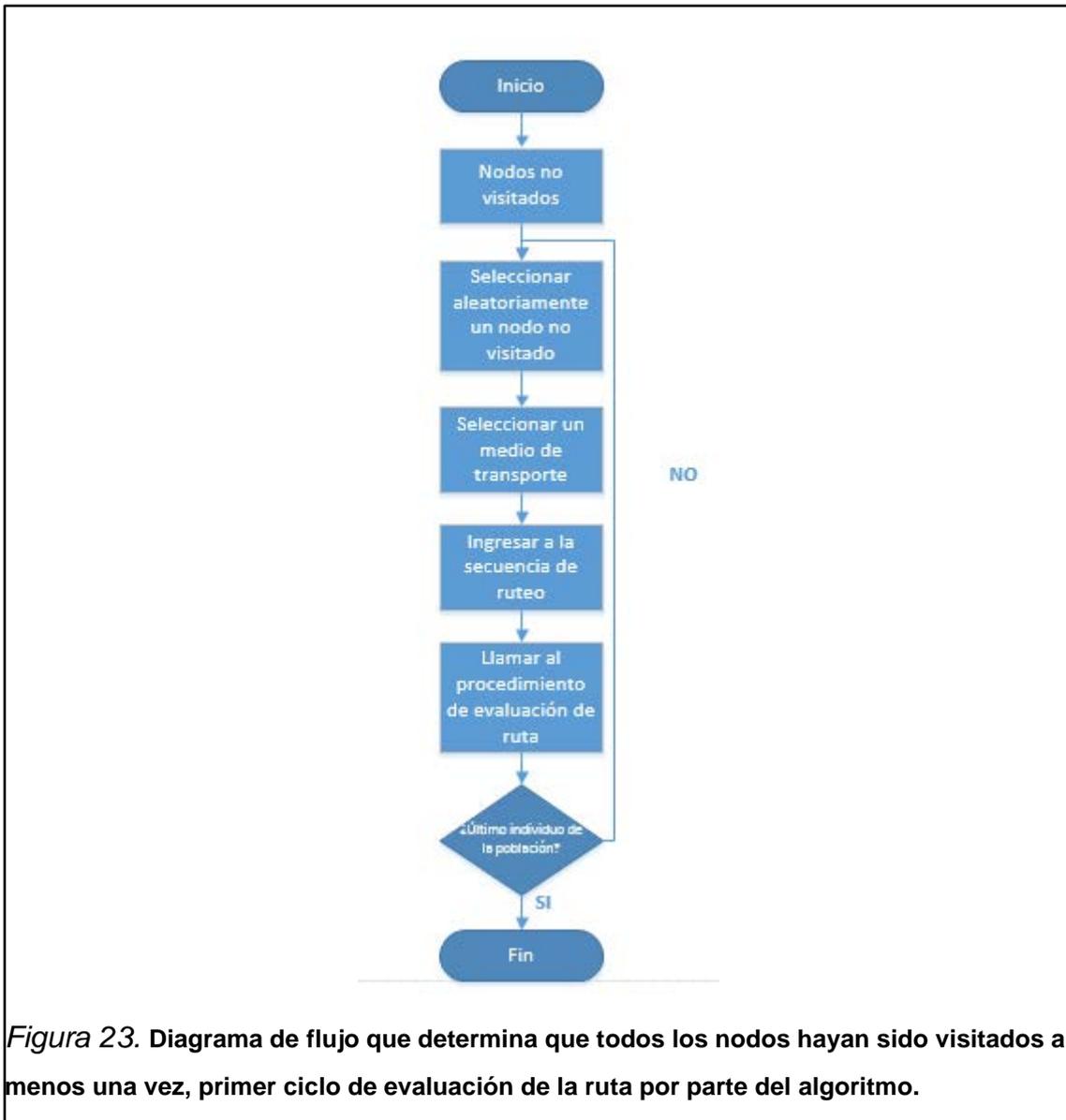
El siguiente de los diagramas es el modo en el que se ingresan los datos necesarios para que el algoritmo tenga la suficiente “alimentación” que el programa entienda qué es lo que debe hacer y qué es lo que se busca como resultado.



*Figura 22.* Diagrama de flujo para el ingreso de datos dentro del algoritmo genético.

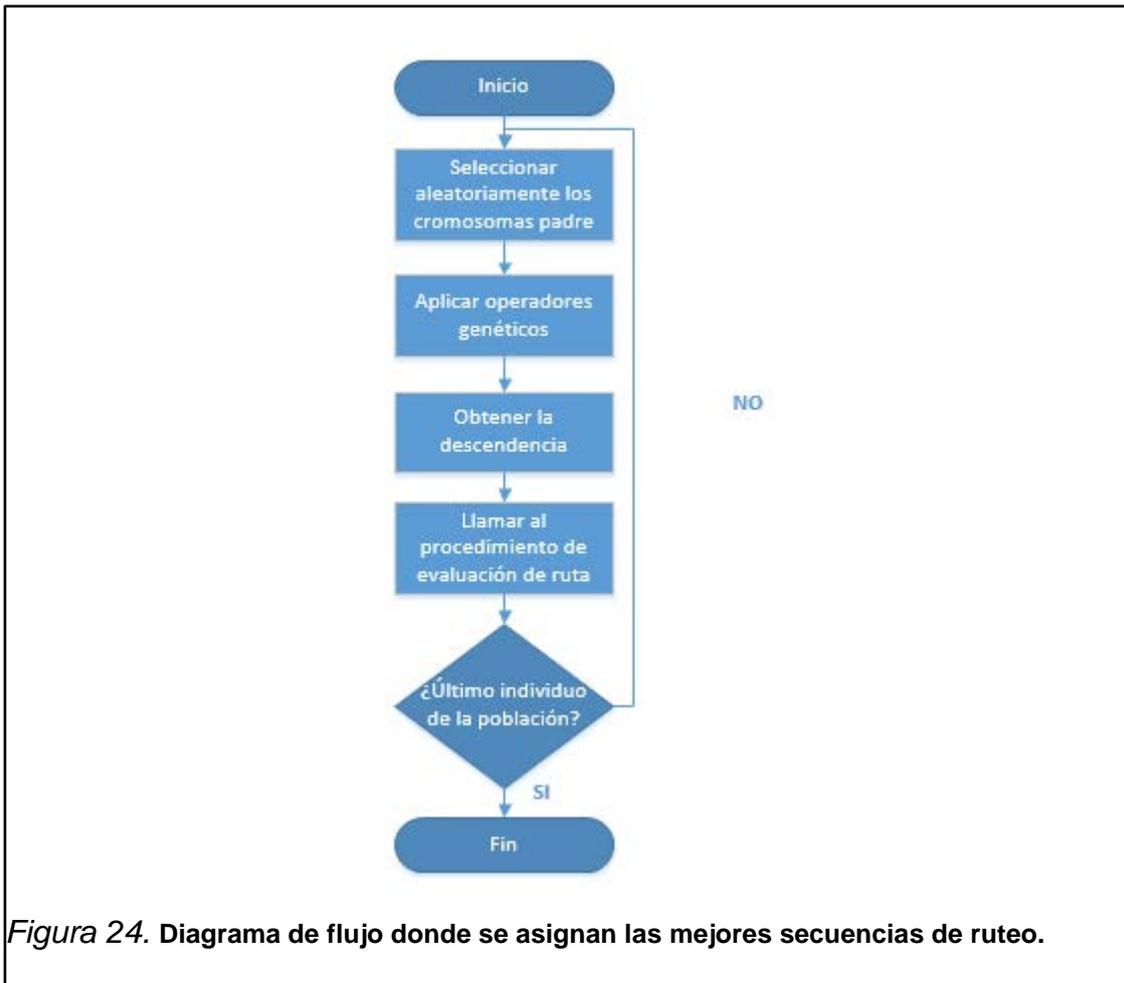
Este es el paso más sencillo, que se encuentra dentro del algoritmo genético ya que solo solicita la información que se va a evaluar, pero al mismo tiempo es el que marcará la pauta entre si se va a obtener un buen resultado o no; entonces, esto le convierte al mismo tiempo en la pieza más importante para el uso de dicho algoritmo. En caso de que se ingrese la información incorrecta, se obtendrán resultados negativos, o que no reflejan lo que se busca.

En el siguiente diagrama se observa el primer llamado a la evaluación de ruta, lo que causa, que según las ecuaciones instaladas dentro de la programación del algoritmo, den el mejor resultado, reduciendo las distancias a recorrer, por parte de los camiones cisterna, que recorren la ruta programada por la empresa, el diagrama es el siguiente:



Este algoritmo verifica que los nodos dentro de la ruta sean visitados al menos una vez cada uno y no quede ninguno sin visitar, para que la ruta esté completa en su totalidad y automáticamente asigna una secuencia de visita o ruteo, para después ser evaluado por las ecuaciones antes mencionadas que se mostrarán más adelante.

Antes de culminar se tiene el siguiente diagrama de flujo para el control de las secuencias de ruteo, es el siguiente:



*Figura 24.* Diagrama de flujo donde se asignan las mejores secuencias de ruteo.

En esta etapa se arma la secuencia de los nodos a visitar para que los valores obtenidos sean los menores en cuestión de distancia, con este algoritmo solo se obtienen valores de distancia ya que la información que se debe ingresar es la tabla de distancias que se obtuvo con el método de Clarke y Wright que se usó anteriormente para el armado de las rutas vistas en la figura 11. Hay que recalcar que no siempre se van a obtener los mismos resultados porque cada corrida del programa se analizan los modos de manera aleatoria.

Por último se tiene el algoritmo de evaluación de la ruta que se mencionan en los diagramas anteriores, este algoritmo es el encargado de todos los cálculos que se deben realizar junto con las ecuaciones que se mostrarán a continuación y después el gráfico del diagrama de flujo.

$$CTR_i = \sum_{j=1}^m CFMTU_j + \sum_{i=1}^n DRR_i * CUR \quad (\text{ecuación 11})$$

Donde:

$CTR_i$  = Costo total de la ruta i.

$CFMTU_j$  = Costo fijo por medio de transporte j utilizado.

$DRR_i$  = Distancia recorrida por la ruta i.

$CUR$  = Costo por unidad recorrida.

Para las restricciones dentro de la programación se usaron las siguientes fórmulas:

$$DRR_i \leq RMPR \quad (\text{ecuación 12})$$

$$VCDR_i \leq CMMT_j \quad (\text{ecuación 13})$$

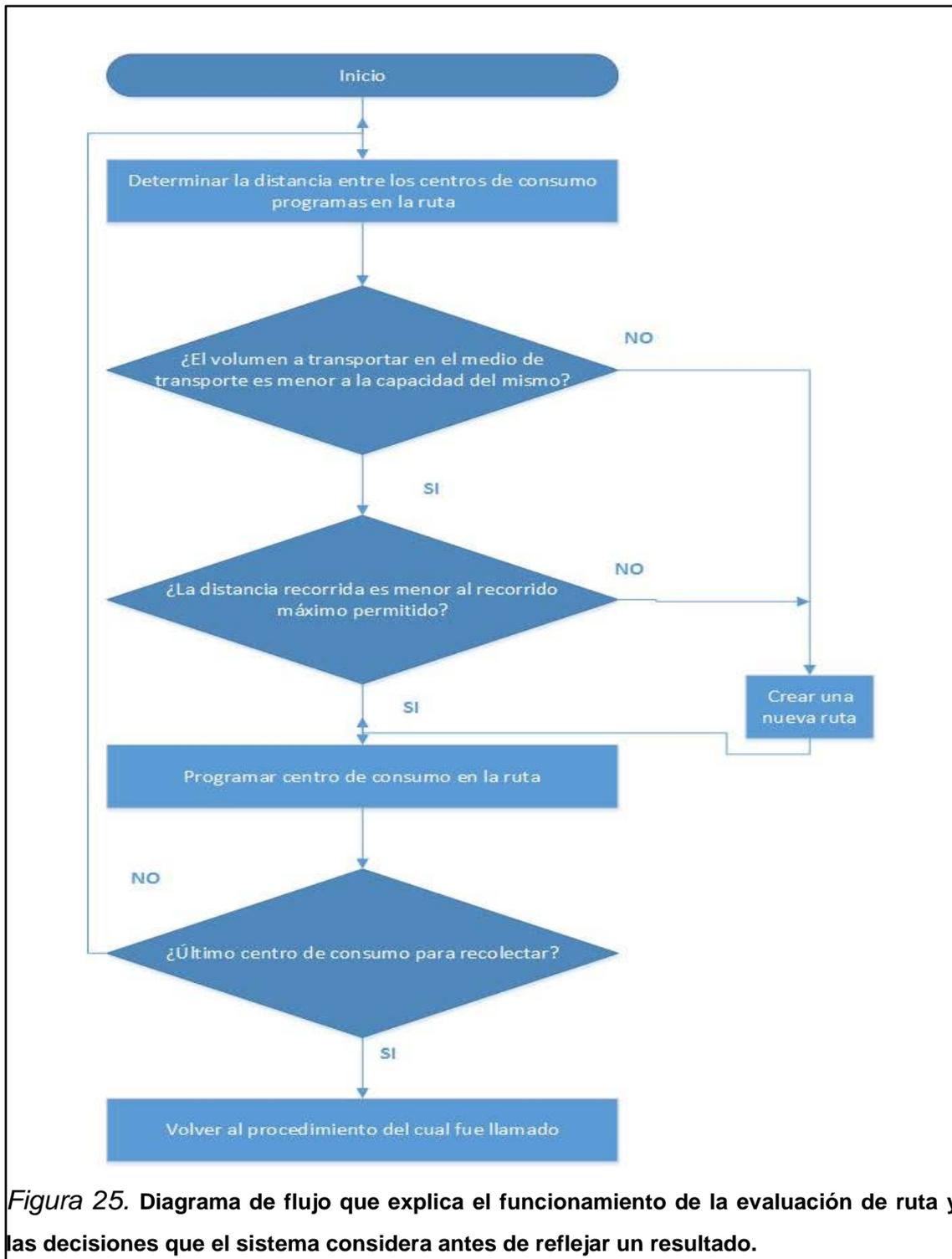
Donde:

$RMPR$  = Recorrido máximo permitido por ruta.

$VCDR_i$  = Volumen de carga demandada por la ruta i.

$CMMT_j$  = Capacidad máxima del medio de transporte j.

Y el algoritmo con el que funcionan todas estas ecuaciones para el análisis de las rutas es el siguiente:



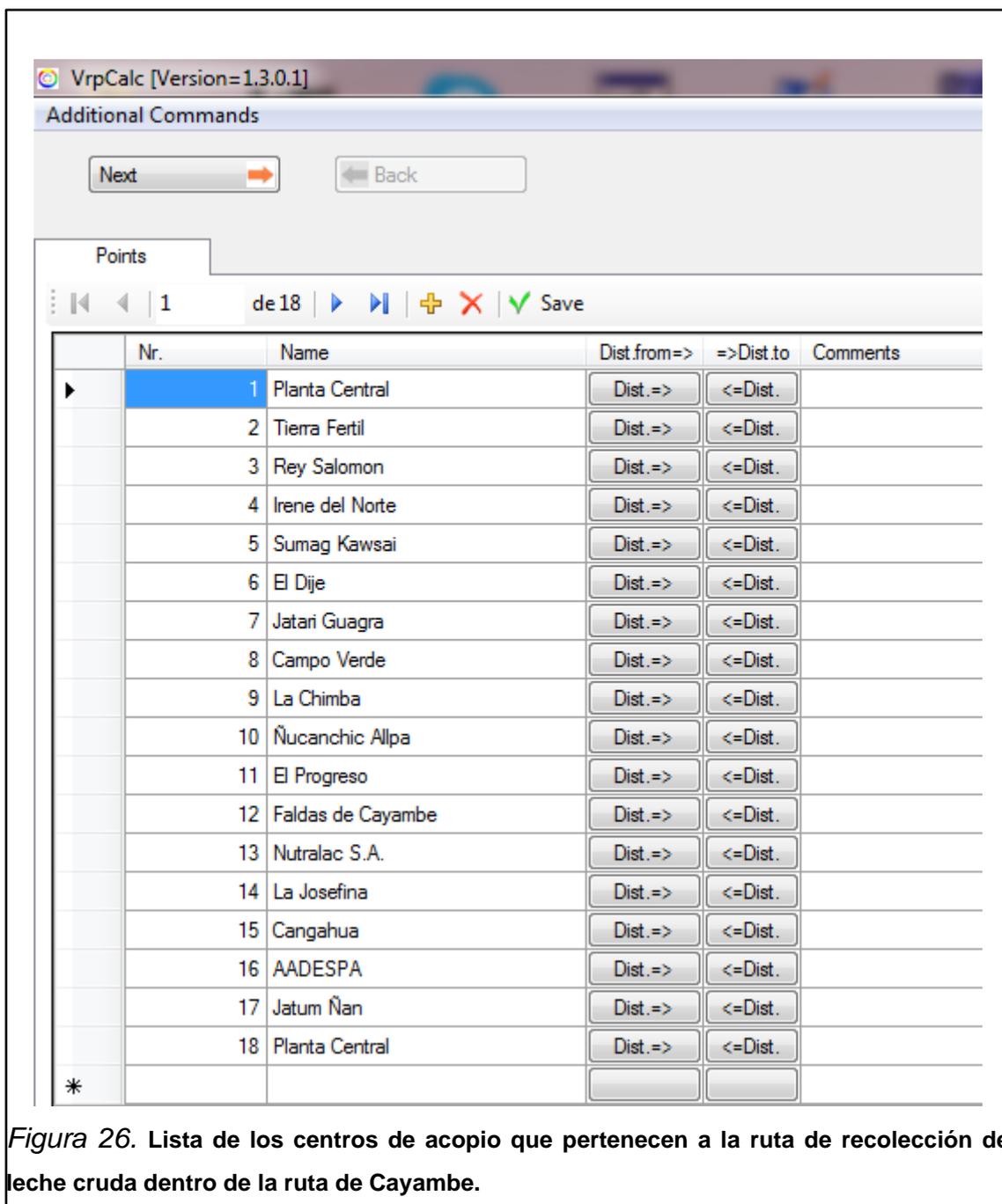
**Figura 25. Diagrama de flujo que explica el funcionamiento de la evaluación de ruta y las decisiones que el sistema considera antes de reflejar un resultado.**

Entonces una vez que se tiene entendido el sistema que usa el algoritmo se procede a alimentar la información necesaria dentro del software para que se puedan obtener los mejores resultados, como se mencionó anteriormente, lo que se tiene que ingresar como información primaria es la tabla de distancias

que se representa en la figura de la tabla 10, se ingresa las distancias que se tiene entre cada uno de los centros, se puede tomar el triangulo de la parte superior como la inferior divididos por la línea de ceros, son exactamente los mismo valores. Una vez que ya se tiene ingresados los datos se procede a poner las ecuaciones y las restricciones antes mencionadas para que el sistema entienda que es lo que se quiere que haga con las distancias antes ingresadas, cuando se haya terminado este proceso solo se tiene que correr el programa y observar los resultados, los mejores resultados serán aquellos que reflejen los menores valores, porque se están analizando las distancias y no los ahorros, si fuera el caso contrario se tendría que buscar el mayor número posible, pero si se usara de esa manera no se llegaría a tener la secuencia de las rutas lo que daría como innecesario el proceso realizado con la tabla de los ahorros.

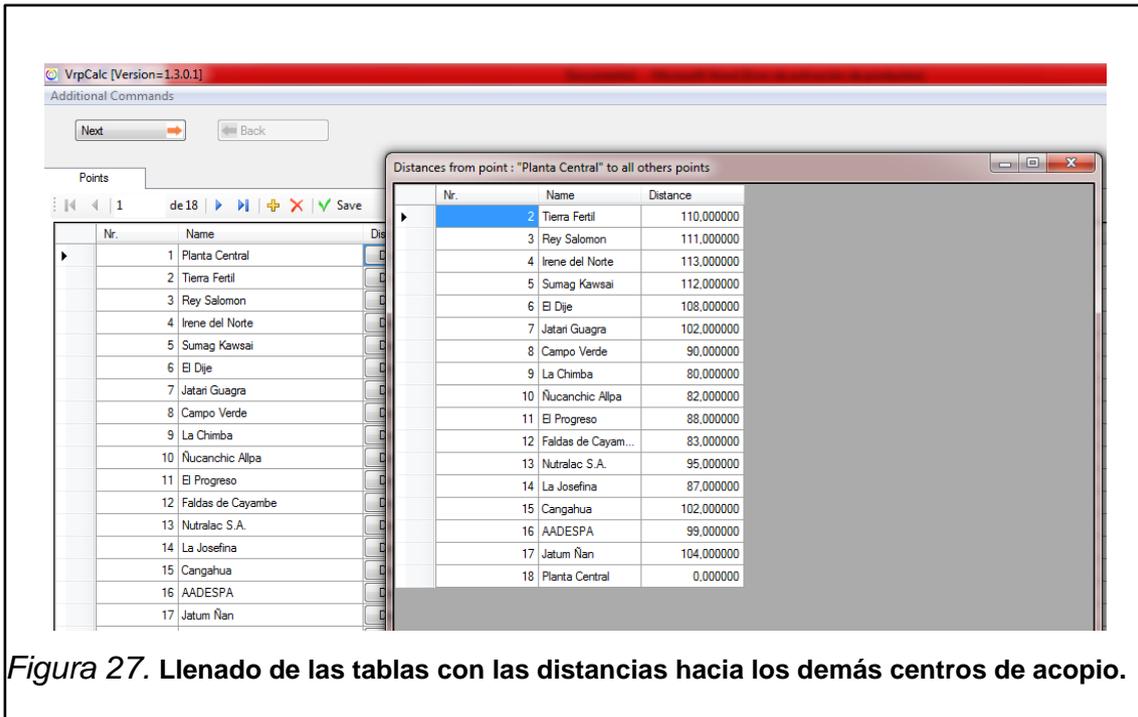
A continuación se muestran con imágenes de paso a paso como se tiene que trabajar con el sistema, tanto el ingreso de datos, las ecuaciones y como interpretar los resultados que arroja el sistema como culminación de los procesos antes vistos.

Los primeros pasos que se realizaron son llenar la información de cada uno de los centros de acopio junto con las distancias hacia los otros centros de acopio, para después pasar a una segunda tabla donde se seleccionan los centros de acopio activos dentro de la ruta, esta es una opción que da el software de manera automática para que en caso de que se deje de trabajar con alguno de los centros se los pueda sacar o poner de la ruta cuando se lo necesite, a continuación se muestran las imágenes.



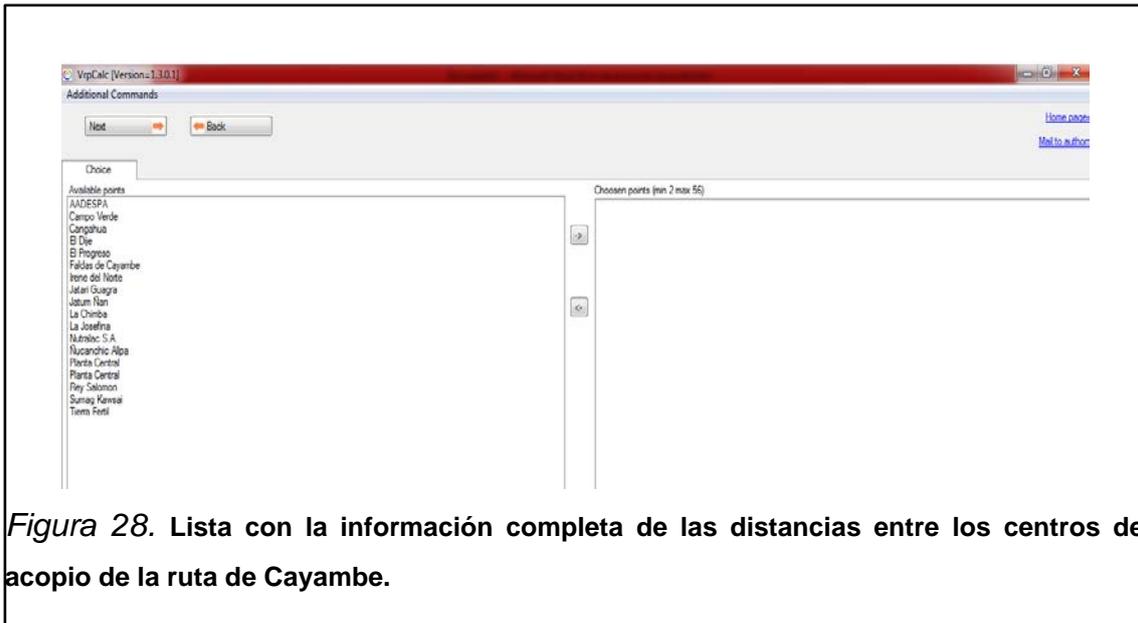
**Figura 26.** Lista de los centros de acopio que pertenecen a la ruta de recolección de leche cruda dentro de la ruta de Cayambe.

En la figura 26 se ve el primer paso que se realiza usando el sistema VrpCalc para después poner la información con las distancias como se mencionó anteriormente, en la siguiente imagen se ve como se completa la información mencionada.



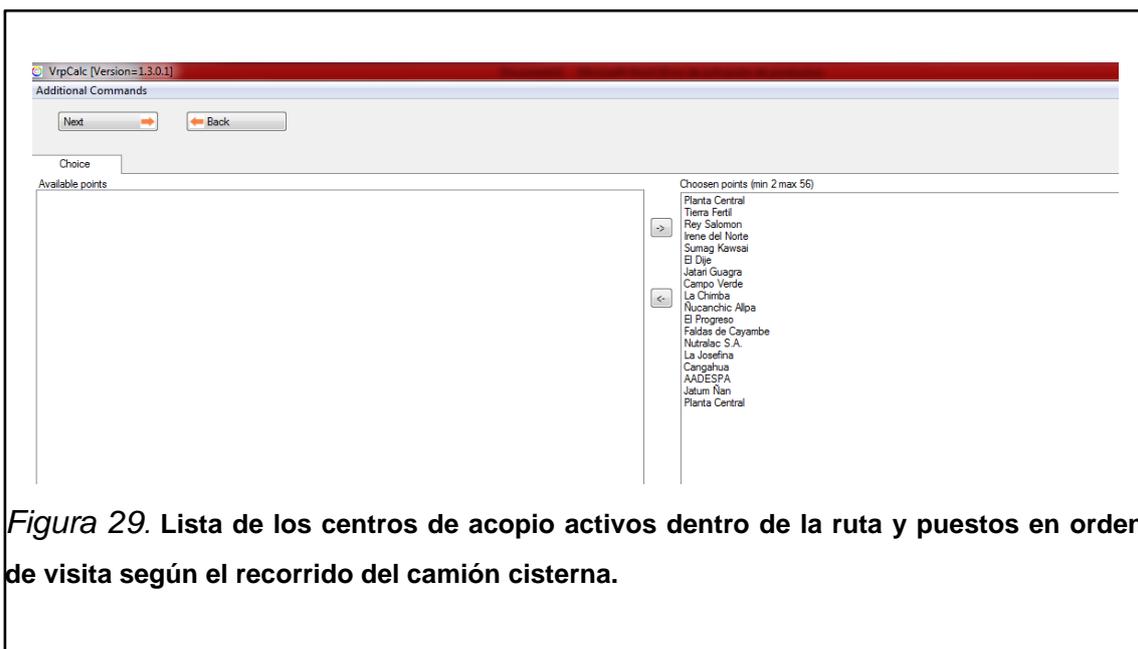
Este es el formato que se utiliza dentro del software para completar la información que necesita el mismo para poder procesar y emitir una respuesta óptima para la solución que se necesita con este algoritmo, en este caso se está llenando la información del primer punto de la ruta el cual es la planta central ubicada en Machachi, por eso en el último punto la distancia es cero, ya que es el mismo punto.

Una vez que se haya terminado de llenar las tablas con las distancias de cada uno de los centros de acopio hacia los demás se procede a pasar al siguiente punto donde nos dará una lista con todos estos puntos para seleccionar los que se encuentran activos dentro de la ruta, aquí se pueden hacer varias pruebas sacando y poniendo los centros, a continuación la imagen de la lista con los centros de acopio.



**Figura 28.** Lista con la información completa de las distancias entre los centros de acopio de la ruta de Cayambe.

Una vez en este punto se tienen que seleccionar en orden, es decir, se tiene que poner primero uno de los puntos de planta central y continuar como es el recorrido actual de la ruta para poder obtener un resultado real, si no se ponen en dicho orden el programa entiende que los puntos se tienen que visitar como sea y va a visitar planta central dos veces sin que sea necesario, entonces para este paso se usó la lista mencionada anteriormente en esta tesis para que se complete el seguimiento del camión de manera real.

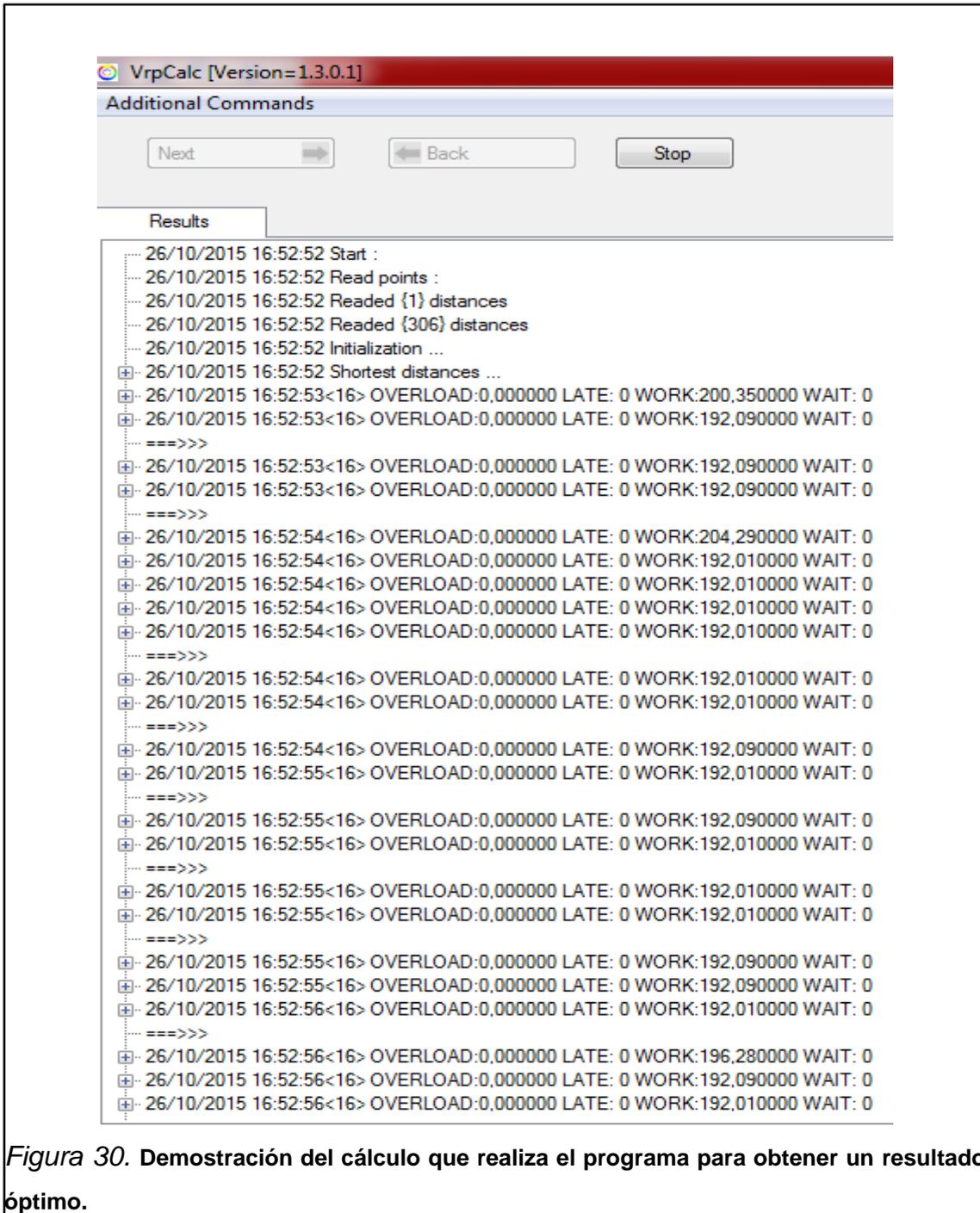


**Figura 29.** Lista de los centros de acopio activos dentro de la ruta y puestos en orden de visita según el recorrido del camión cisterna.

En la imagen 29 se ve como se activaron los centros de acopio de manera consecutiva, empezando por la planta central, lo cual indica al programa que ese es el punto de inicio y claramente el final, por lo que se repite el mismo punto poniéndolo al final.

Una vez que se tiene lista esta parte lo siguiente es completar la información que se necesita, es decir cuantos vehículos podemos usar, peso del vehículo y velocidad máxima permitida para que circule el camión dentro de la ruta, para así poder obtener los tiempos entre cada punto y ver si se demora o no el camión dentro de la ruta. Donde tenemos que el peso de los vehículos es 4.1 toneladas, la velocidad máxima permitida es de 50 km/h y el tiempo máximo permitido es de 8 horas, ya que hay rutas que pueden tomar más tiempo por la lejanía entre cada uno de sus centros de acopio y no romper el horario establecido de trabajo que exige la ley laboral, y, el número de vehículos a utilizarse es variable, eso puede depender de cada individuo de cómo quiera manejar el sistema, en este caso se utilizaron 4 vehículos ya que fue el resultado que se obtuvo por el método de Clarke y Wright, este número fue obtenido por el límite de capacidad que tienen los camiones, entonces en el programa VrpCalc se utilizaron los 4 vehículos también.

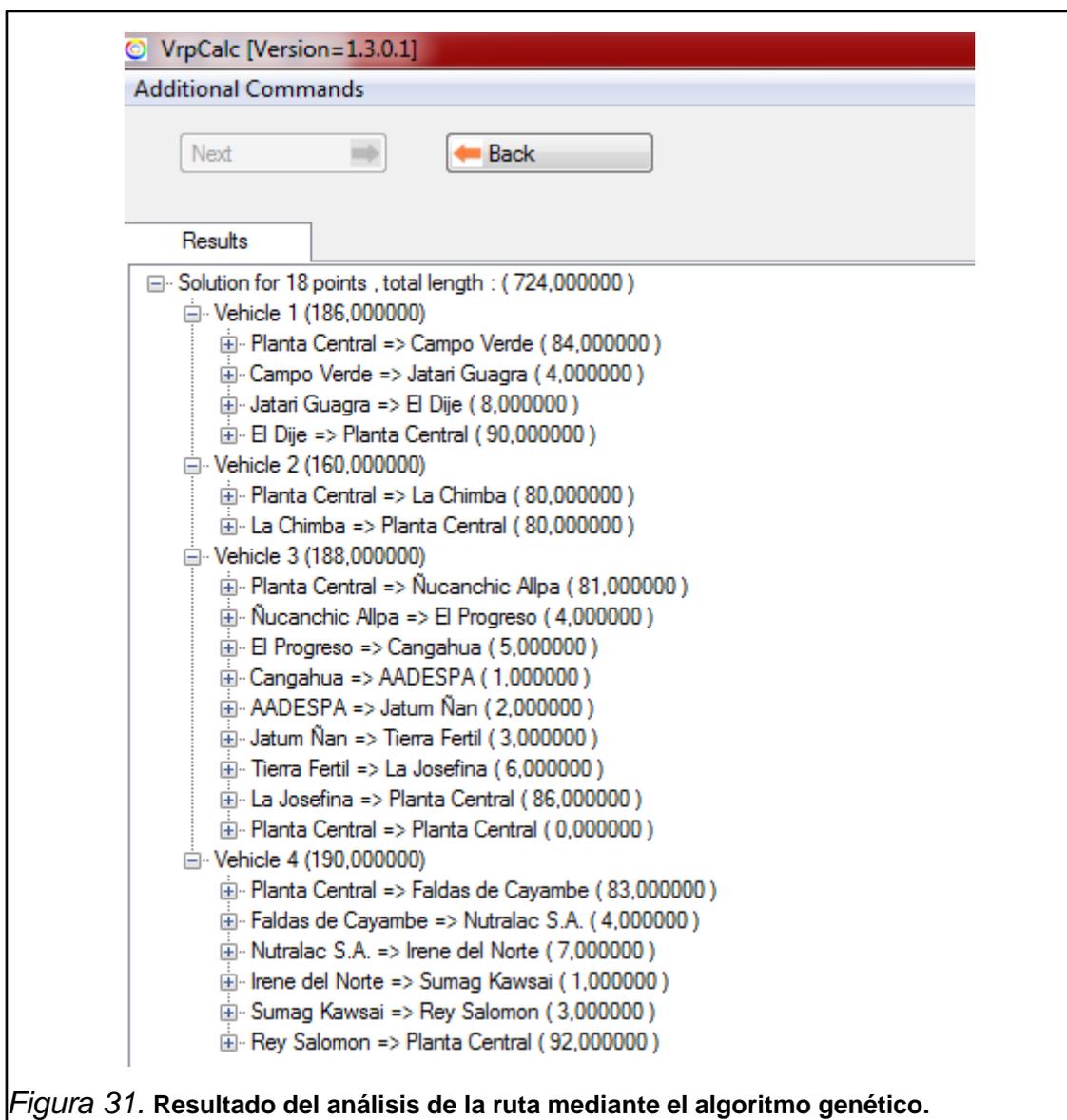
Ya con todos estos datos ingresados se da comienzo al análisis por parte del sistema, el cual utiliza los algoritmos antes expresados en diagramas de flujo.



**Figura 30.** Demostración del cálculo que realiza el programa para obtener un resultado óptimo.

Como se ve en la imagen 30, el programa realiza varias corridas visitando cada uno de los centros de acopio de manera aleatoria hasta lograr obtener un mejor resultado, durante cada una de estas corridas el software arroja resultados distintos porque no realiza las visitas en el mismo orden. Después de que se detenga el análisis de la información ingresada se obtienen los resultados, a

continuación se muestra el mejor resultado obtenido por este algoritmo y el orden de visita de cada uno de los centros de acopio por cada camión.



**Figura 31. Resultado del análisis de la ruta mediante el algoritmo genético.**

En la imagen 31 se muestra el mejor resultado obtenido, la distancia total de los camiones es de 690 km, donde el que mas recorrido realiza es el vehículo 1, seguido por el vehículo 4, 3 y 2 en el respectivo orden, también se muestra cual es el orden de visita de los centros de acopio. El sistema siempre arroja el resultado en el cual se obtuvo una mayor cantidad de ahorro.

De esta manera queda culminado este capítulo donde se ha utilizado algunos de los métodos de evaluación y optimización para la ruta de recolección de

leche cruda de la empresa El Ordeño S.A; es claro que los resultados pueden ser variables según el método que se ocupe, ya que ocupan diferentes cálculos y fórmulas, para esta tesis se usaron los modelos y métodos más populares que se utilizan dentro de este campo que es la logística.

También se muestran a continuación las imágenes de los resultados del método de Clarke y Wright usando el mismo software.

## Capítulo 5. Análisis Económico

### 5.1 Costos Iniciales.

Para dar continuación y poder tener resultados de ahorros económicos y no solo en cuestión de distancias recorridas, se realizará dentro de este capítulo el análisis de los costos que corresponden a la optimización de la ruta de recolección de leche cruda en el sector de Cayambe.

Se tiene que recordar los costos que se realizaron al inicio para lograr comprobar cual es la diferencia en utilidad después de realizados los métodos ocupados en el capítulo anterior.

En las siguientes imágenes se muestran las comparaciones de los costos al inicio y los costos después del uso de los diferentes métodos de optimización, haciendo una diferencia solo en los costos se logrará observar un aumento en la utilidad, es decir, si se logra disminuir los costos de transporte claramente se ha ganado dinero.

Lo primero que se tiene que tener en cuenta es que cada uno de los kilómetros recorridos tiene un costo fijo, entonces si una ruta es más larga esta será más costosa, se puede decir que, la distancia de la ruta es directamente proporcional al costo que se deberá pagar al operario del vehículo, por lo que se requiere que dentro de la ruta cada uno de los camiones vaya siempre lleno hacia planta central.

Tabla 15. Costos iniciales de las rutas a recorrer.

<b>Costos Iniciales</b>			
Kms recorridos	724	Costo por combustible	\$63,38
Cantidad de litros de leche	47096	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$1.476,26</b>

En la tabla se observan los costos iniciales de la ruta, cabe recalcar que solo se ha tomado en cuenta los costos por combustible y no la ganancia del chofer del vehículo, también está contemplado como si se solo se usara un camión cisterna para cumplir con toda la ruta, como se puede observar la cantidad de litros es de 47096 L. Lo cual no da cabida en un solo camión, si sabemos que la capacidad de cada uno de los vehículos es de 12000 litros como se mencionó en los capítulos anteriores es fácil saber cuantos son los vehículos que se necesitan, se podría haber obtenido de esta manera la cantidad de camiones a usarse dentro de la ruta realizando un cálculo simple, pero era necesario ver de que otra manera se puede obtener la misma información.

Si se realiza el cálculo se obtiene:

$$\frac{47096}{4} = 11774 \text{ litros.}$$

Lo cual se demuestra que con 4 vehículos si da abasto a toda la ruta, usando la capacidad entera de los camiones. También se tiene que tener en cuenta que la autonomía de los vehículos utilizados es de 500 km por tanque, como la ruta completa es de casi 594 el costo por combustible es de \$50,49

## 5.2 Costos por Algoritmo Genético.

A continuación se hará el análisis de los costos de cada uno de los vehículos según la cantidad de leche recolectada y los kilómetros recorridos. La sumatoria de los 4 camiones debería ser menor al resultado de los costos iniciales.

Tabla 16. Costos del vehículo 1 usando el método de Algoritmo Genético.

Kms recorridos	186	Costo por combustible	\$16,28
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$369,50</b>

En esta tabla se puede observar la cantidad de kilómetros recorridos y el costo por la ruta realizada por el vehículo 1, este es el formato que se utilizará para realizar los demás análisis, ya que se tienen los mismos criterios para el análisis de los costos de las demás rutas tanto como para las realizadas con el algoritmo genético y las que usan el método de Clarke y Wright.

Tabla 17. Costos del vehículo 2 con el método de Algoritmo Genético.

Kms recorridos	160	Costo por combustible	\$13,60
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$366,82</b>

Según la utilización del software VrpCalc todos los camiones están con la misma distribución de carga, es decir, que todos los camiones se llenan con la misma cantidad de litros de leche, es por esta razón que durante el análisis económico de este método los 4 vehículos tienen la misma carga.

Tabla 18. Costos del tercer vehículo con el método de Algoritmo Genético.

Kms recorridos	188	Costo por combustible	\$16,46
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$369,68</b>

Tabla 19. Costo del último vehículo con el método de Algoritmo Genético.

Kms recorridos	190	Costo por combustible	\$16,63
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$369,85</b>

Ahí se tienen los cuadros de los 4 vehículos utilizados para cubrir esta ruta, donde se cubre la misma cantidad de kilómetros recorridos, obteniendo un ahorro de \$1,05 usando el algoritmo genético, lo cual significa que aún siendo una diferencia mínima se tiene una optimización en la ruta, lo cual no representa realizar un análisis económico mas exhaustivo, pero se realizará también el mismo análisis con el método anterior para poder realizar una

comparativa y así poder decidir cual método llega a ser mas efectivo al momento de realizar las optimizaciones de las rutas definidas.

### 5.3 Costos por metodología de Clarke y Wright.

Una vez recopilados los datos del cuadro de distancias, cuadro de cantidad de litros de leche por centro de acopio y terminadas las rutas trazadas anteriormente solo falta hacer el análisis económico para ver si resultan más factibles o si conviene mantener las rutas actuales.

Se muestran en las siguientes imágenes las diferencias de los datos:

Tabla 20. Costo del primer vehículo por el método de Clarke y Wright.

Kms recorridos	238	Costo por combustible	\$20,83
Cantidad de litros de leche	12000	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$380,83</b>

A comparación de los primeros análisis que se realizaron, aquí con este vehículo se tiene una diferencia de 36 kilómetros en la ruta, vale recalcar que no son las mismas rutas claramente ya que se usaron diferentes métodos y se obtuvieron resultados diferentes, también se ve un cambio en la cantidad de litros de leche, donde por el método de Clarke y Wright si varían porque se visitan en un orden distinto.

Tabla 21. Costo del segundo vehículo con la metodología de Clarke y Wright.

Kms recorridos	185	Costo por combustible	\$16,19
Cantidad de litros de leche	11322	Costo por cada litro de leche	\$ 0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$ 0,09
		<b>Total</b>	<b>\$355,85</b>

En cada una de las rutas de los vehículos realizadas por el algoritmo genético se tienen menores distancias recorridas, en algunos casos hay grandes variaciones y en otros como en el siguiente cuadro solo se tiene una diferencia pequeña de 4 kilómetros, pero en el segundo vehículo como se puede ver hay 25 km de diferencia.

Tabla 22. Costo del tercer vehículo por Clarke y Wright.

Kms recorridos	164	Costo por combustible	\$ 14,36
Cantidad de litros de leche	12000	Costo por cada litro de leche	\$ 0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$ 0,09
		<b>Total</b>	<b>\$374,36</b>

Tabla 23. Costo del último vehículo por la metodología de Clarke y Wright.

Kms recorridos	189	Costo por combustible	\$16,55
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$ 0,09
		<b>Total</b>	<b>\$369,77</b>

Una vez que se ha terminado de analizar todas las rutas con este método ya se puede ver y comparar con las otras opciones en cuestión de costo total de las rutas y kilómetros recorridos en total, la cantidad de litros en este caso no va a

cambiar en la suma total ya que se analizaron todos los métodos con la misma cantidad, a continuación se muestra una pequeña tabla con las diferencias entre cada uno de los métodos ocupados para la optimización y como se tiene en la actualidad.

También se tienen que tomar en cuenta los demás métodos que se utilizaron para obtener resultados, es decir los métodos de centro de gravedad y el de carga – distancia para poder realizar un comparativo de cuales son los costos cuando la empresa está ubicada dentro de Cayambe o como se pueden observar en los otros métodos cuando se encuentra fuera de la zona de recolección de la leche.

#### 5.4 Costos con el método de Centro de Gravedad.

Como se realizaron con los métodos anteriores se utilizará el mismo formato con las mismas variantes para tener una comparación real de los resultados de cada uno de las teorías y para poder verificar cual resulta el más efectivo para lograr el resultado buscado que es obtener la mayor utilidad posible.

Tabla 24. Costo del primer vehículo por la metodología de Centro de Gravedad.

Kms recorridos	4	Costo por combustible	\$0,35
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$353,57</b>

Si se hace memoria, el método de centro de gravedad daba como resultado ubicar a la planta de procesamiento en un punto ficticio haciendo que las distancias sean las menores posibles, es por eso que las diferencias de distancias en comparación con los otros métodos son tan grandes.

Tabla 25. Costo del segundo vehículo por la metodología de Centro de Gravedad.

Kms recorridos	29	Costo por combustible	\$2,54
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$355,76</b>

Tabla 26. Costo del tercer vehículo por la metodología de Centro de Gravedad.

Kms recorridos	20	Costo por combustible	\$1,75
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$354,97</b>

Tabla 27. Costo del último vehículo por el método de Centro de Gravedad.

Kms recorridos	22	Costo por combustible	\$1,93
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$355,15</b>

Es clara la diferencia que se observa en cuestión de distancia, la carga de cantidad de leche seguirá siendo la misma ya que en todos los métodos lo que se busca es la mejor eficiencia, por lo tanto se asume que todos los tanqueros van a ir siempre con su capacidad de transporte llena, los ahorros que se van a observar es netamente en cuestión de ahorro de combustible y más que todo en los tiempos de recorrido, esto tiene una relación directa en los temas de calidad, donde una buena programación de recolección de la leche va a influir en que la leche llegue siempre a la temperatura deseada que son los 3,7 grados centígrados.

### 5.5 Costos con el método de Carga – Distancia.

Este es el último método que se analizará ya que fue un método donde se obtuvo resultados muy óptimos en cuestión de las distancias que debería recorrer por parte de cada uno de los vehículos, como en los métodos anteriores se utilizará el mismo formato.

Tabla 28. Costo del primer vehículo por método de Carga – Distancia.

Kms recorridos	17	Costo por combustible	\$1,49
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$354,71</b>

Tabla 29. Costo del segundo vehículo por el método de Carga – Distancia.

Kms recorridos	18	Costo por combustible	\$1,58
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$354,80</b>

Tabla 30. Costo del tercer vehículo por el método de Carga – Distancia.

Kms recorridos	18	Costo por combustible	\$1,58
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$354,80</b>

Tabla 31. Costo del último vehículo por el método de Carga – Distancia.

Kms recorridos	4	Costo por combustible	\$0,35
Cantidad de litros de leche	11774	Costo por cada litro de leche	\$0,03
		Costo de combustible por km recorrido	\$0,09
		<b>Total</b>	<b>\$353,57</b>

Como se mencionó anteriormente la carga de la leche por cada uno de los vehículos se mantiene constante porque los camiones según las rutas trazadas completan al 100% su capacidad ya que esa fue una de las restricciones usadas para el uso del software.

Tabla 32. Cuadro comparativo de las distancias y costos de las diferentes rutas obtenidas con los diferentes métodos.

	Kms recorridos	Cantidad de litros de leche	Costo total de la ruta
Actual	724	47096	\$1.474,80
Clarke y Wright	776	47096	\$1.480,81
Algoritmo Genético	724	47096	\$1.475,85
Centro de Gravedad	75	47096	\$1.419,45
Carga - Distancia	57	47096	\$1.417,88

En la tabla 32 se puede observar la diferencia de los costos por los diferentes métodos utilizados, existe una gran diferencia en la distancia que recorren los vehículos entre los dos primeros métodos y los dos últimos, esto se debe a que en los primeros métodos analizados la distancia actual que tiene el primer centro de acopio con la planta central se mantiene, es decir, la planta central de procesamiento de leche sigue estando ubicada en el área de Machachi, mientras que con los últimos métodos analizados la planta central se encuentra en una ubicación ficticia dentro de la ruta de Cayambe o por lo menos en un área muy cercana a ella, es por estas distancias que se obtiene una gran diferencia en las distancias recorridas por cada uno de los tanques cisterna y por lo tanto es la disminución de los costos.

Hay que tener muy en cuenta que estas rutas son recorridas diariamente, lo que un aumento de cualquiera que sea la cifra dentro de la ruta puede resultar bastante significativo al final de año, estos dos criterios son los cuales guían a tomar las mejores decisiones al momento de elegir que método usar y cuales son las rutas que se tienen que recorrer.

## **Capítulo 6. Recomendaciones y Conclusiones.**

### **Conclusiones.**

Con toda la información que se ha analizado dentro de esta tesis, existen ciertos criterios que ayudarán para la toma de decisiones, entre ellas se tienen los pilares fundamentales de los que se habló en los primeros capítulos, que siguen siendo los temas decisivos, se tiene también que considerar, los temas de los tiempos de los recorridos de las rutas, la calidad de la leche y la distancia recorrida por cada uno de los vehículos.

En el capítulo anterior, se muestra una tabla con las comparaciones de las distancias y costos por ruta, si las decisiones se basan sólo en esa figura, es fácil decidir que las rutas trazadas por el método de Clarke y Wright son las menos óptimas y no se deberían implementar, ya que las rutas actuales tienen una menor distancia y, por lo tanto, el tiempo de recorrido es significativamente menor, ya que se tienen casi 100 km menos de recorrido; esto afecta directamente en la calidad de la leche. Si se tiene más tiempo el camión recorriendo la ruta, se tiene la posibilidad de que la leche aumente su temperatura, esto causa la formación de bacterias que afectan a los estándares de calidad con los que se maneja la empresa; esto puede llevar a que todo el lote de la leche recolectada pueda ser rechazada. La mejor opción basándose en cuestión de kilómetros recorridos, puede ser la del algoritmo genético si tomamos en cuenta solo las comparaciones de la ruta actual.

Nuevamente, si se basan las decisiones en los costos que tienen las rutas, las mejores opciones son las que se requieren que la planta central sea transportada a una nueva ubicación; de esa manera las distancias y los tiempos de recorrido son los menores; la calidad de la leche se mantendría en un estándar más alto y fácil de mantener. De igual manera ahora que los vehículos se encuentran en un área más cercana a la planta, se podría realizar un mejor control de las rutas para evitar la fuga de la materia prima, es decir,

existe un mayor control hacia los transportistas, que en ocasiones, venden la leche y la reemplazan con suero. Si se logra transportar y mover todos los equipos a estas nuevas ubicaciones los beneficios serían muchos, para aumentar, controlar y mantener los temas de la calidad de la leche.

En conclusión, es fácil tomar una decisión dentro de la ruta de Cayambe, donde sólo se manejan cuatro camiones y un número pequeño de centros de acopio que visitar, donde claramente, la mejor opción es mantener las rutas actuales, que resultaron dar los mejores valores en todos los aspectos antes analizados. Pero si en algún momento se agregan más centros de acopio a esta ruta, o se decide mover la ubicación de planta central, o se tienen que agregar más vehículos por temas de capacidades de los camiones, lo cual sería conveniente volver a realizar los análisis que se han hecho en esta tesis para poder sacar valores nuevamente y tomar una mejor decisión. No se observan grandes variaciones por lo mencionado; con pocos centros para visitar las distancias no cambian de manera significativa, pero se obtendrían resultados diferentes si se analizan más de cincuenta centros, porque de esa manera, si se llega a obtener diferentes rutas y muy diferentes entre cada uno de los métodos y los resultados serían distintos a su vez, tanto en valores económicos, como en las distancias y los tiempos de recorrido.

## **Recomendaciones.**

Con todos los datos obtenidos y comparados, se recomienda mantener las rutas actuales, porque no se obtienen buenos resultados al realizar cualquiera de los cambios que se han propuesto dentro de esta tesis; estos valores obtenidos fueron estudiados basados en que, los camiones tanqueros cuentan todos con las mismas dimensiones y capacidades, lo cual es muy recomendable, sobre todo para los temas de logística. De esta manera, se pueden estandarizar los procesos de recolección y facilita a los análisis futuros, en caso de que se tengan que agregar nuevos centros de acopio, o, que los actuales puntos donde se detiene el camión dentro de la ruta, cambien sus producciones tanto aumentando como disminuyendo, así se pueden tomar decisiones mas rápidas y de manera mas sencilla.

No es recomendable mover todas las instalaciones de planta central desde la ubicación actual hacia alguna de las nuevas que se lograron localizar, esto representa un costo demasiado elevado tanto en mano de obra como en el tiempo en el que se dejaría de procesar la materia prima, no habría un producto final que vender. Además se tiene que tener en cuenta que no solo existen las cuatro rutas estudiadas que se encuentran en Cayambe, sino que, se recolecta la leche cruda desde diferentes centros y haciendas dentro de todo el país, y esta relocalización de la planta de procesamiento, llegaría a afectar a la mayoría de rutas que se encuentran en el sur del país.

También se recomienda crear una costumbre de puntualidad con todos los socios que aportan con la leche en los centros de acopio, si se crean horarios establecidos para dejar el producto en los centros de acopio, los tanques de enfriamiento tienen el tiempo suficiente para cumplir con su trabajo y no se tendría la diferencia de temperaturas en los tanques como en las imágenes de los primeros capítulos, donde aunque la leche se recoge a la misma hora de todos los tanques, la leche fue depositada en horas distintas por parte de los proveedores, por eso hay la diferencia en los medidores de temperatura.

También, los choferes de los camiones cisterna, tendrían horarios establecidos de recolección, lo cual aporta con un control de calidad mucho mayor y un sistema de cumplimiento que la empresa puede mantener y manipular, ayudando a saber donde se encuentran exactamente cada uno de los camiones y evitar acumulaciones de los vehículos en planta central al momento de depositar la leche cruda en los silos para ser procesada.

## REFERENCIAS

- Álvarez, F. A. M. (2008). Optimización de diseño de rutas de vehículos usando algoritmos genéticos. *Épsilon*, (11), 21-29.
- C. Blum and A. Roli A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys* 35(3) 268–308.
- Carro Paz, R y González Gómez, D. 2013, Localización de instalaciones, Recuperado de el 18 de noviembre del 2015, de [http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14\\_localizacion\\_instalaciones.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1619/1/14_localizacion_instalaciones.pdf)
- Clarke, G. U., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581.
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, R. H.; (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*. 6. 80.
- FARJAS, M; 2012, Método de intersección simple, Recuperado de el 3 de septiembre de 2015, de [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria\\_IS\\_Tema\\_7.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_IS_Tema_7.pdf)
- Gruttner, E., Pinninghoff, M. A., Tudela, A., & Díaz, H. (2003). Recorridos óptimos de líneas de transporte público usando algoritmos genéticos. *Ingeniería informática*, (9), 3.
- Hermosilla, A., & Barán, B. (2004). Comparación de un sistema de colonias de hormigas y una estrategia evolutiva para un Problema Multiobjetivo de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo. s/f. In Conferencia Latinoamericana en Informática (CLEI).
- Hincapié, R. A., Porras, C. A. R., & Gallego, R. A. (2004). Técnicas heurísticas aplicadas al problema del cartero viajante (TSP). *Scientia et Technica*, 1(24).
- Martín, F. J. M., Lagos, F. G., & Hernández, F. S. (1992). Algoritmos Genéticos: una estrategia para la búsqueda y la optimización. *Informática y automática: revista de la Asociación Española de Informática y Automática*, 25(3), 5-15.

- Medina, J. R. (1998). Algoritmos genéticos para la optimización de redes de distribución. In INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE. ACTAS DEL X CONGRESO PANAMERICANO.
- Moreno, J., Rivera, J. C., & CEBALLOS, Y. F. (2011). AGRUPAMIENTO HOMOGÉNEO DE ELEMENTOS CON MÚLTIPLES ATRIBUTOS MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS. *Dyna*, 78(165), 246-254.
- Ocampo, E. M. T., Grisales, Y. S. R., & Echeverri, M. G. (2006). Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal-flow shop. *Scientia et Technica*, 1(30).
- VALENCIA, E. (1997, Agosto). Optimización mediante algoritmos genéticos. In *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile* (Vol. 109, No. 2, pp. 83-92).