

PROPUESTA DE RUTEO PARA UNA FLOTA HETEROGÉNEA DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN DE LECHE
DE UNA EMPRESA DEL EJE CAFETERO

JUAN SEBASTIAN SALCEDO GIL

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2018

PROPUESTA DE RUTEO PARA UNA FLOTA HETEROGÉNEA DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN DE LECHE
DE UNA EMPRESA DEL EJE CAFETERO

JUAN SEBASTIAN SALCEDO GIL

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

Director

CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS
Ingeniero industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ZARZAL

2018

DEDICATORIA

Le doy gracias a mi familia en especial a mi madre y padre que siempre estuvo apoyándome en la carrera profesional, los consejos y haberme educado durante toda mi vida.

Gracias a mis compañeros que ayudándonos en los trabajos y en los trasnochos sacamos estos adelante.

A la Universidad de Valle gracias por brindarme una educación de alta calidad y apoyar a la población de la región del norte del Valle.

Mil gracias a la empresa donde hice las prácticas, me brindaron los datos y el apoyo necesario para realizar este proyecto, ustedes fueron una pieza fundamental en la finalización de mi carrera.

El profesor y director de trabajo de grado mil gracias por el apoyo, conocimiento brindado, paciencia y dar su granito de arena para que los futuros profesionales tengan una formación integral.

Juan Sebastian Salcedo Gil

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado 1

Jurado 2

Zarzal, 5 de Enero del 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresarle un sincero agradecimiento a:

La empresa me acogió en las prácticas y me dio acceso a los datos para realizar el trabajo de grado cuyo nombre no será mencionado por razones confidenciales, en la cual me ayudaron, me prestaron todo el apoyo para realizar mis actividades académicas y me dejaron una de las mejores experiencias.

El director de grado M.S.C CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS, por tenerme paciencia, dedicar tiempo a las revisiones del proyecto de grado, darme sugerencias y correcciones para enriquecer este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4 MARCO DE REFERENCIA	18
4 ESTADO DEL ARTE	18
4.1. MARCO TEORICO.....	24
4.2.1. CADENA DE SUMINISTROS	24
4.2.2. COSTES LOGISTICOS	25
4.2.3. ACTIVIDADES PRINCIPALES DE LA LOGÍSTICA.....	26
4.2.3.1. INVENTARIO.....	26
4.2.3.2. LOCALIZACIÓN	30
4.2.3.3. TRANSPORTE	28
4.2.4. PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS	29
4.2.4.1. PROBLEMA DE AGENTE VIAJERO (TSP).....	30
4.2.4.2. PROBLEMA DE RUTEO DE VEHICULOS (VRP).....	31
4.2.4.2. VARIANTE DEL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHICULOS.....	33
4.2.5. METODOS DE SOLUCION	33
4.2.5.1 TÉCNICAS EXACTAS	34
4.2.5.2. HEURÍSTICOS	34
4.2.5.3. METAHEURÍSTICAS.....	34
4.2.5.4 MATEHEURÍSTICOS	35
4.3. MARCO LEGAL.....	36
4.3.1. DECRETO 616 DEL 2006.....	36
4.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA LECHE CRUDA.....	36
4.3.1.1. PROHIBICIONES	37
4.3.2. RESOLUCIÓN 0012 DE 2007	37
4.3.3. RESOLUCIÓN 3075 DE 1997	38
4.3.1. RESOLUCIÓN 2674 DE 2013	38
4.3.1.1. TRANSPORTE	38
4.3.1.1. PERSONAL MANIPULADOR DE ALIMENTOS	40

4.4.	MARCO CONTEXTUAL.....	41
4.4.1.	FACTORES COMERCIALES	41
4.4.2.	COSTO DE PRODUCCIÓN.....	42
4.4.3.	PANORAMA NACIONAL LÁCTEO	42
4.4.4.	IMPACTO SOCIAL	42
4.4.5.	IMPORTACIÓN	43
5.	DISEÑO DEL METODO DE INVESTIGACIÓN	44
6.	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE LA LECHE	46
6.1.	PROVEEDORES	48
6.2.	CARACTERIZACION DE SISTEMA ACTUAL DE RUTEO	49
6.3.	UBICACIONES DE PROVEEDORES	56
6.4.	COSTO DE RECOLCECCIÓN	58
6.5.	VARIABLE CRITICA A MINIMIZAR	59
6.6.	SUPUESTOS.....	59
6.7.	ALCANCES DEL RUTEO	59
7.	FORMULACIÓN DEL MODELO.....	61
7.1.	FORMULACION MATEMÁTICA	64
7.2.	APLICACIÓN DEL ALGORITMO HFCVRP EN EL PROGRAMA GUSEK ..	67
8.	FORMULACIÓN DEL MODELO.....	71
9.	ANÁLISIS DE SENSIVILIDAD	73
9.1.	VARIACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS	73
9.2.	CANTIDAD DE PRODUCTO A RECOGER	76
10.	CONCLUSIONES	78
11.	BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1. Proveedores	48
Tabla 6.2. Cluster proveedores diarios.....	49
Tabla 6.3. Rutas día promedio.	49
Tabla 6.3.1. Continuación de tabla 6.3.....	50
Tabla 6.3.2. Continuación de tabla 6.3.....	51
Tabla 6.3.3. Continuación de tabla 6.3.....	52
Tabla 6.4. Accesibilidad de vehiculos.....	53
Tabla 6.4.1. Continuación tabla 6.4.....	54
Tabla 6.5. Días de recolección.	55
Tabla 6.6. Programación semanal.....	56
Tabla 6.7. Costo planta-finca-planta.....	58
Tabla 6.8. criterios criticos.....	60
Tabla 7.1. Comparación de heurísticos.....	69
Tabla 8.1. Rutas día A.....	71
Tabla 8.2. Propuesta día A.....	72
Tabla 9.1. Escenario 1.	74
Tabla 9.2. Escenario 2.	74
Tabla 9.3. Escenario 3.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Costo logístico sobre las ventas.....	11
Figura 2.2. Costo logístico por sector.....	12
Figura 2.3. Costo de logística en 4 países y Colombia.....	13
Figura 2.4. Costo de logística en las empresas según su tamaño	13
Figura 2.5. Producción de leche en 19 países de América Latina y el Caribe	14
Figura 2.6. Productividad principales competidores.....	15
Figura 2.7. Acopio formal de leche.....	15
Figura 4.1. Triángulo de la planeación	25
Figura 4.2. Factores para tener en cuenta a la hora de la toma de una decisión..	38
Figura 4.3. Problemas de ruteo	29
Figura 6.1. Doble troque.....	46
Figura 6.2. Camión.....	47
Figura 6.3. Turbo.....	47
Figura 6.4. Proveedores visitados en el día A.....	57
Figura 6.3. Proveedores visitados en el día B.....	57
Figura 7.1. GPS 64s.....	61
Figura 7.2. APP grabador viaje GPS.....	62
Figura 7.3. MAPSource	63
Figura 7.4. Propiedades MAPSource	63
Figura 7.5. Interfaz de Gusek.....	68
Figura 7.6. Características del computador.....	70
Figura 9.1. Escenarios de cambio de flota	76
Figura 9.2. Escenarios de aumento de producción de los proveedores.....	77

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro ha cobrado mucha importancia estas últimas décadas ya que las empresas tienden a ser globalizadas y los consumidores son cada vez más exigentes en sus requerimientos; En consecuencia esto genera un incremento en el flujo de materiales y como normalmente las fuentes de materia prima, fábricas y puntos de venta están ubicados en diferentes lugares, esta actividad se vuelve clave en la organización y el costo del desempeño logístico para llevar a cabo dicha labor tiene un enorme peso en las finanzas de la empresa. La cadena de abastecimiento incluye todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes y productos, desde que se recoge la materia prima hasta que llega al consumidor; “la cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportadores, almacenistas, vendedores al detalle o menudeo e incluso a los mismos clientes” (Chopra & Meindl, 2008: 3).

La planeación logística está enmarcada en tres niveles de decisión que son: Estratégico, Táctico y Operativo; Estos niveles están delimitados por el horizonte de planeación, donde las decisiones estratégicas tienen mayor influencia y las tácticas que se toman en el nivel intermedio deben ayudar a conseguir los objetivos fijados a nivel estratégico; por otra parte las decisiones operativas se caracterizan por ser de corto plazo como el ruteo de vehículos. La cadena de suministro de la empresa, caso de estudio, está compuesta por tres eslabones los cuales son: Productores, Distribuidores y Acopiadores, donde el presente proyecto se centrará en este último.

Con base en lo anterior, el presente proyecto tiene como finalidad formular un modelo de enrutamiento de vehículos que contribuya a minimizar la distancia total de recolección de leche generada por una flota heterogénea de vehículos. Se tiene una flota heterogénea de vehículos por el cual este problema se denomina HFCVRP (Heterogeneous Fleet Capacited Vehicle Routing Problem), donde se tiene un solo centro de acopio, un conjunto de nodos o proveedores dispersos geográficamente en el cual se cuenta con una flota de vehículos con capacidad de carga heterogénea para la recolección de leche. En primera instancia en la empresa, se realizará un diagnóstico del sistema actual de recolección de leche de la empresa caso de estudio, luego se definirán cuáles son los factores más relevantes que inciden en las operaciones de recolección.

Posteriormente, se recogerá los datos referentes al sistema recolección actual teniendo en cuenta sus características y la distancia incurrida por este; posteriormente se formulará un modelo matemático que incluya los factores relevantes identificados; Finalmente se definirá la estrategia de solución del modelo, se analizarán los resultados y compararán con el anterior esquema que tenía la empresa en cuestión y se establecerá un análisis de sensibilidad del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un problema de ruteo de vehículos, consiste en dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo, donde deben comenzar y terminar en los depósitos para que los vehículos visiten a los clientes. Las características de los clientes, depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema (Ballou, 2004: 225)

La empresa caso de estudio, tiene como área de acopio de la materia prima en la mayor parte del eje cafetero y en zonas aledañas como son el departamento de Quindío, Risaralda, norte del Valle del Cauca (Sevilla, Calcedonia, Ulloa y Alcalá) y Caldas. Estas áreas cuentan con buenas vías de acceso como son vías primarias y secundarias, pero el territorio es montañoso ya que está ubicado en la región andina, esta región de Colombia es la tercera en producción de leche, ya que se encuentra en el trópico medio y alto, pasando por climas templados hasta los altos y esto permite tener ganado especializado o cruces que da la facultad de tener un mejor promedio de producción por especie.

En los países en desarrollo, la mayor parte de la leche es producida por pequeños productores, localizados de manera muy dispersa en las zonas rurales, donde el reto logístico en vincular a los productores con los mercados se torna complejo por la naturaleza perecedera de la leche, lo cual exige la agilización de la recolección y el transporte (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura, 2015).

Las empresas generalmente establecen el ruteo de los camiones para la recolección de la materia prima, al centro de acopio con base en su experiencia o de una forma empírica; obviando muchos aspectos importantes como sub-utilización de la Capacidad de cargue del vehículo.

Los indicadores actuales del costo total logístico, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, dice que el transporte de carga representa casi una cuarta parte del PIB (23%) y el Banco Mundial calcula que para América Latina los costos de transporte generan incremento entre el 18% y el 32% del valor de los productos y en donde Colombia tiene un 14,97%, en comparación con alrededor del 6% al 9% del PIB del valor de los productos en los países de la OCDE. Debe tenerse en cuenta que la movilización de la carga al interior de Colombia es mayoritariamente transportada de forma terrestre, el cual se encuentra que un 73% del total de toneladas transportadas en el país (220.3 millones de toneladas) se realizó por la modalidad vial al cierre de 2013 (Asociación Nacional de Instituciones Financieras, 2014: 26).

Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir los costos de transporte y mejorar el servicio al cliente o proveedor encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras (Ballou, 2004: 225).

En Colombia la producción de leche es de aproximadamente 4.700 millones de litros al año y representa el 2.3 por ciento del Producto Interno Bruto Nacional (es decir, cerca de 18 billones de pesos) y el 24.3 por ciento del PIB pecuario del país. Los costos de recolección y transporte de la leche representan una parte importante, a menudo más del 30 por ciento de los costos de elaboración de la leche (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2015).

Según la PROEXPORT, Hay que tener en cuenta que un 53% de la leche producida en Colombia no es acopiada por el sector formal y esto refleja una deficiencia en el sector industrial en absorber la producción industrial, donde los costos de la cadena de abastecimiento tiene un papel importante y se puede evidenciar que muchas acopiadoras no tiene una forma eficiente de recolección e incurrir en costos que pueden ser minimizados y así apalancar al sector, aunque no hay que olvidar los problemas ya mencionados y que afectan la cadena de abastecimiento de las acopiadoras de leche.

El costo logístico en Colombia representa el 14.94% de las ventas donde el 37% de estos son generados por el transporte (Encuesta nacional de logística, 2015). Uno de los mayores cuellos de botella del proceso logístico son los tiempos de transporte, estos problemas son muy críticos la cadena de abastecimiento en las acopiadoras de leche ya que su materia prima la tiene que recoger de cada proveedor y como es un producto perecedero debe estar refrigerado todo el tiempo, lo cual puede generar un mayor costo.

En los trayectos nacionales la capacidad vehicular oscila entre el 50% y el 75%. Para una tractomula de 2 troques cuya capacidad es de 32 toneladas, la utilización de 68% implica que en un recorrido nacional habría 10 toneladas sin utilizar, en la región de eje cafetero la utilización de los carrotanques o indicador de cubicaje es de 72,4, la cual es mucho mayor que en el resto del país pero se puede mejorar (Encuesta nacional de logística, 2015).

Se puede observar una problemática del sobre costo, donde el mayor peso de estos los tiene el transporte, el cual es una problema que se puede abordar y mejorar para poder impactar favorablemente en la cadena de abastecimiento de la leche y reducir el costo explícito en el que se incurre por concepto de la recolección o ruteo de los carrotanques que son usados en esta actividad.

Con base en lo anterior se genera la siguiente pregunta: ¿Cuál es la ruta que genera la menor distancia total asociada a la recolección de leche para una empresa ubicada en el eje cafetero?

2. JUSTIFICACIÓN

El diseño y programación de rutas de vehículos es un problema que puede considerar diversos objetivos como minimizar el tiempo de entrega del producto para proporcionar una buena atención al cliente, reducir tiempos de recolección de materia prima para mantener una producción constante, minimización de costos de transporte, entre otros.

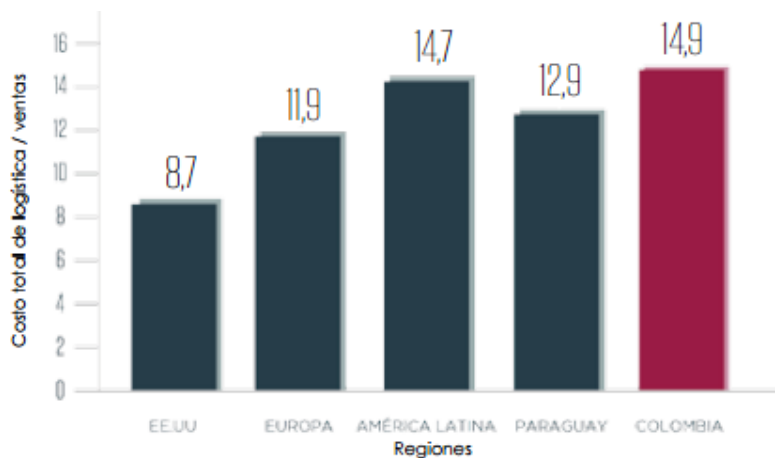
Este proyecto busca asignar rutas a una flota de vehículos recolectores de leche, de forma que contribuya a minimizar los costos de transporte asociados a la operación.

El costo total de logística en Colombia como porcentaje de las ventas para el 2015, es del 14,97%, donde el transporte y el almacenamiento son los rubros que mayor impacto generan en el costo con el 37% y 20% respectivamente (Colombia es Logística, 2015).

El uso de vehículos terrestres especializados para transportar alimentos perecederos como la leche, es necesario en Colombia, pero esto lleva a que las empresas tengan mayores costos de transporte, lo cual se ve reflejado al final del proceso productivo, donde los precios de comercialización son elevados por esta razón.

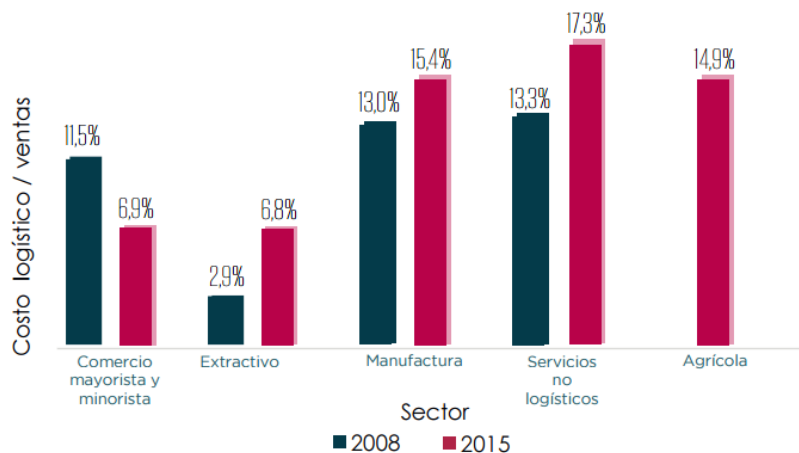
Los costos logísticos en Colombia son altos en comparación a otros países (ver figura 2.1). Se debe tener cuenta que los costos logísticos del sector agrícola, el cual es uno de los más representativos en Colombia (ver figura 2.2).

Figura 2.1. Costo logístico sobre las ventas.



Fuente: Colombia es logística

Figura 2.2. Costo logístico por sectores.



Fuente: Colombia es logística

En Colombia, el transporte terrestre automotor de carga tiene una gran importancia social y económica, al tratarse de un servicio público esencial que une los sectores industriales y comerciales con el consumo de los colombianos.

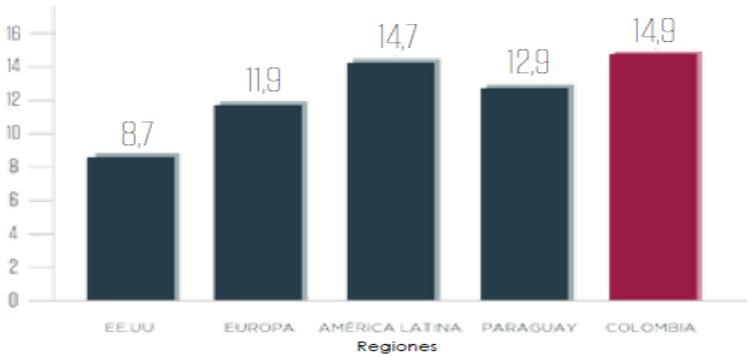
El camión es el modo de transporte más importante, dando cuenta del 81% de la carga transportada.

El desempeño de la industria camionera es pobre, caracterizada por un alto nivel de atomización e informalidad, mientras que la edad media de los equipos es superior a los 20 años. El censo del Ministerio de Transporte sobre la edad de los camiones en Colombia da cuenta de 29.525 automotores entre 15 y 25 años de servicio y 55.053 camiones con más de 25 años. También se han detectado 47 camiones con 72 años de uso, y 24.991 en un rango de 71 y 42 años de servicio (Jiménez, 2012).

En la encuesta realizada por el DNP (Departamento Nacional de Planeación) “Colombia es Logística”, donde se toma en cuenta tanto la opinión de los usuarios de servicios logísticos (USL) como los prestadores de servicios logísticos (PSL), se dieron resultados diferentes entre las partes, “Por un lado para los USL los altos costos de transporte, las insuficientes carreteras puertos y aeropuertos y la ausencia de sistemas de información logística son las principales barreras que afectan sus procesos logísticos. En cambio para los PSL la carencia de zonas adecuadas para carga y descarga, las infraestructuras viales, la falta de talento humano en logística y la insuficiencia de zonas logísticas representan las problemáticas más significativas que afectan sus gestiones” (Sistema Nacional de Competitividad Ciencia Tecnología e Innovación, 2015).

Con esto se puede decir que el costo de transporte es alto debido a los diferentes problemas que conciernen al sector terrestre, como la infraestructura vial, las zonas de alto peligro, los fletes e impuestos por productos y peso que el gobierno impone sobre los transportadores y sobre las empresas que toman este servicio de transporte, además de la falta de sistemas logísticos que ayuden a optimizar estos problemas, los trámites aduaneros por los que deben pasar los productos antes y después de ser comercializados, altos costos de almacenamiento y mantenimiento de inventarios por demoras en transporte, entre otros. La encuesta arrojó que las empresas colombianas en promedio gastan el 14.97% de las ventas obtenidas en procesos logísticos (ver figura 2.3) (Sistema Nacional de Competitividad Ciencia Tecnología e Innovación, 2015)..

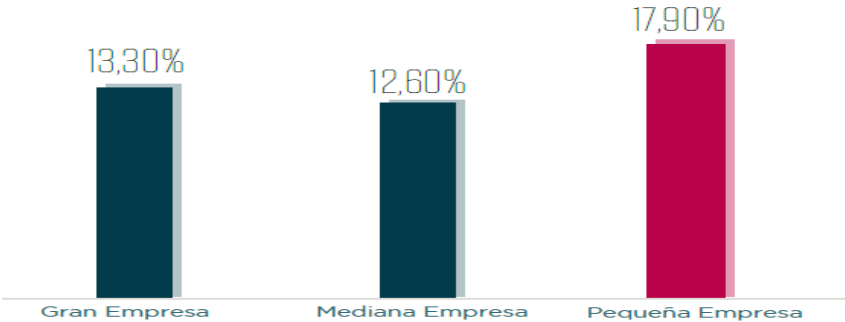
Figura 2.3. Costo de logística en 4 países y Colombia.



Fuente: Colombia es logística.

En las cuales en esta mismo estudio se observó que se incurrirá 13,30%, 12,60% y 17,9% sobre las ventas en las grandes, medianas y pequeñas empresas colombianas respectivamente (ver figura 2.4).

Figura 2.4. Costo de la logística en las empresas según su tamaño.



Fuente: Colombia es logística.

De acuerdo con el plan nacional de desarrollo 2014-2018, el transporte de carga representa cerca de la cuarta parte del PIB (23%). Siendo un aporte importante para la economía de Colombia. Esto mejoraría en gran medida los costos de los productos y el precio de venta de los mismos. Con el fin de mejorar la recolección de leche en la región del eje cafetero, se plantea un problema para una empresa dedicada a procesar productos derivados de la misma.

En el año 2008 Colombia era el cuarto productor de leche en América Latina, solo superada por Brasil, México y Argentina respectivamente (ver figura 2.5).

A pesar de esto, si se compara el nivel de productividad de Colombia con otros países, se puede observar que aún está por debajo del nivel requerido para entrar a ser un competidor importante a nivel internacional (Ver figura 2.6). Esto se debe a que los principales competidores cuentan con un acceso mucho mayor e importante a las fuentes y procesos tecnológicos, los cuales ayudan a mejorar la productividad de una manera significativa. Esto en gran parte se debe a las normas y reglas que rigen actualmente a Colombia con respecto a los costos de producción, transporte y venta de leche.

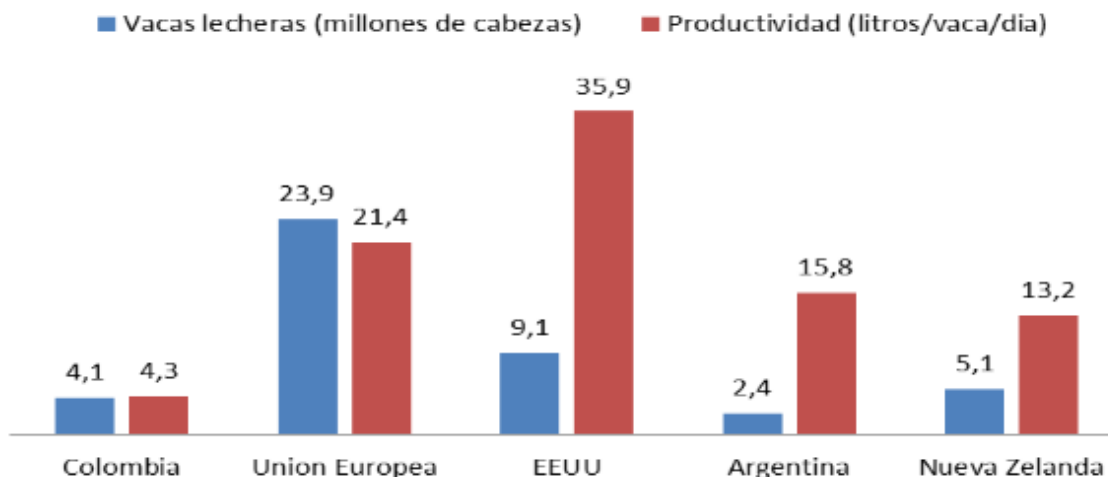
Figura 2.5. Producción de leche en 19 países de América Latina y el Caribe.



Fuente: FAO (datos no publicados).

Fuente: FAO (organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación).

Figura 2.6.Productividad principales competidores.



Fuente: FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos).

A pesar de todos los problemas que poseen los productores de leche en el país, se ha visto un aumento gradual de producción. Colombia cuenta un volumen importante de leche fresca, con alrededor de 2.600 millones de litros anuales, que forman parte de las industrias, esto se debe a que son comercializados y distribuidos por medio de canales informales (Ver Figura 2.7).

Esto se puede traducir a una buena fuente de materia prima para aquellas industrias que se interesan por el sector lácteo.

Figura 2.7.Acopio formal de leche.

Acopio Formal de Leche - 2008

Litros/Año	Litros/Día	Empresas	% Part	% Part. Acumulada	Volúmen	% Part	% Part. Acumulada
1-180.000	1-500	390	52,8%	100%	22.098.243	0,8%	100%
181.001-1.800.000	501-5.000	230	31,1%	47,2%	144.969.849	5,0%	99,2%
1.800.001-9.000.000	5.001-25.000	77	10,4%	16,1%	303.857.241	10,5%	94,2%
9.000.001-18.000.000	25.001-50.000	18	2,4%	5,7%	215.109.956	7,5%	83,7%
18.000.001-36.000.000	50.001-100.000	13	1,8%	3,2%	330.342.515	11,5%	76,2%
Más 36.000.000	Más 100.000	11	1,5%	1,5%	1.866.709.449	64,7%	64,7%
Total		739	100%		2.883.087.253	100%	

Fuente: FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos)

Para todo este proceso de producción de leche y sus derivados, se debe contar con materia prima de excelente calidad, donde Colombia no se queda atrás con respecto a los demás países productores de la misma. En Colombia la mayor parte de los productos que se transportan dentro del país se llevan por medios terrestres, como carreteras, ya que el sistema férreo está actualmente atrasado como para contar con un buen aporte de este.

Teniendo en cuenta lo anterior dicho y la problemática que se ha generado en el sector logístico, el propósito al que se quiere llegar con este trabajo de grado es mejorar la utilización de los recursos en la cadena de abastecimiento que se tiene en la región del eje cafetero para hacer más eficiente la esta actividad más concretamente en la recolección de leche cruda a los proveedores (fincas), donde es más común la utilización de flotas con diferentes capacidades o heterogénea. Se tiene planteado utilizar un algoritmo exacto donde este se debe adaptar al entorno y situación actual de la empresa, para llegar a una propuesta que pueda mejorar y contribuir a optimización de recursos en la empresa objeto de estudio.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer el ruteo de una flota heterogénea de vehículos que contribuya a minimizar la distancia total de recolección de leche cruda para la región del eje cafetero.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar un diagnóstico del sistema de recolección actual de leche para una empresa caso de estudio con el fin de identificar los factores relevantes que inciden en la operación.
- Formular un modelo matemático que integre los factores relevantes identificados en el diagnóstico.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados del modelo frente a los del sistema actual de recolección.
- Realizar un análisis de sensibilidad del modelo mediante la variación de parámetros de interés y su impacto en la función de desempeño.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ESTADO DEL ARTE

El problema de ruteo se ha estudiado desde hace más de 60 años, Dantzing y Ramser fueron los primeros en describir y proponer una formulación para el VRP (vehicle Routing problema), desde ese momento se han estudiado y despertado mucho interés, han aparecido numerosas variantes en las cuales se han aplicado ampliamente en problemas de asignación de rutas que se generan usualmente en la industria y actividades logísticas. En este capítulo se citaran los diferentes trabajos o artículos que se han hecho referente al ruteo de vehículos en los últimos años, con el fin de tener un panorama claro de la temática, una base teórica para fundamentar este proyecto de grado y tener cuenta en lo que se está trabajando en la actualidad para dar una buena solución a estos problemas que se plantea.

Con el motivo de analizar la temática del problema de ruteo, Goldman & Shivakumar.(1998), la búsqueda de proximidad permite una iterativa búsqueda de resultados u objetos de proximidad de búsqueda que están relacionados por una distancia de parentesco entre sí, esta se mide en una dimensión, por lo tanto es fácil calcular la distancia entre objetos o palabras si simplemente se graba la posición de cada uno a lo largo de la dimensión. Las búsquedas de proximidad se basan en encontrar palabras clave en documentos textuales, demostraron una aplicación general enfoque para la búsqueda de proximidad sobre cualquier gran conjunto de objetos. La aplicación de la técnica de búsqueda, crearon un sistema que admite la búsqueda por proximidad de palabras clave en bases de datos, produciendo resultados interesantes e intuitivos.

Tolosa, (2005) en el cual abordo en la elaboración temática colonia de hormigas fundamentación teórico y aplicada en la optimización de sistemas logísticos de ruteo con intervalos de recepción y tiempos de atención máximo. El proyecto se indago en el ámbito de los nuevos modelos matemáticos inspirados en el comportamiento de la naturaleza, para incursionar de una manera novedosa y cumplir con los objetivos es necesario el desarrollo de un problemática más profunda en cuanto a la satisfacción de los requerimientos múltiples de la industria del transporte, donde lo esencial es: mejorar el nivel de servicio y minimización de costo, el cual es un problema multiobjetivo. El programa fue desarrollado en java, utilizando para su creación el programa jcreator. La metodología aplicada contempla además un estudio encaminado a obtener los parámetros que más influyen en la calidad de la respuesta obtenida por el algoritmo, al establecer los mecanismo de integración entre procesos de búsqueda y creación de las respuestas y los procesos de toma de decisiones para buscar las mejor respuesta, donde esta solución difícilmente podrá ser evaluada si no se pondera de alguna manera las preferencias en el cumplimiento de los objetivos. A diferencia del algoritmo propuesto los algoritmos utilizados para calcular el óptimo y mejor heurístico aquí presentados, no optimizan el tiempo requerido, sin embargo se obtiene un valor muy cercano al optimo (97.37%).

Baldacci, Battarra & Vigo, (2007), se centró en el enrutamiento de una flota heterogénea de vehículos, la cual está compuesta por m diferentes tipos de vehículos, en el cual el costo fijo y costo de enrutamiento son dependientes de vehículo. Este documento indaga en las diferentes formulaciones que se han planteado desde 1984 y las diferentes técnicas que se usaron para su solución la cual se nombran heurísticos como el barrido y el de ahorros que fue implementados en el primer trabajo sobre esta variante de VRP y también se plantea un metaheurístico basado en la búsqueda local y el método de los ahorros, en el que se concluye que este es el que da las mejores soluciones en el menor tiempo.

Para seguir con la investigación, Pertuz & Rojas, (2007) en el cual hicieron la formulación y evaluación de un algoritmo, basado en la metaheurística “búsqueda tabu”. Esta metodología se apoya en la técnicas “Clarke and Wright” y “LinKernighan” para la construcción de las soluciones iniciales y vecindarios respectivamente, además de las estrategias de diversificación e intensificación, así permitiendo una exploración más amplia del espacio de soluciones. Todo esto se hizo para la optimización del ruteo con capacidad, donde se plantea darle solución a un problema de CVRP o problema de Ruteo con capacidad, el algoritmo ideado fue implementado en un programa de computadoras, desarrollado en Java, a través de cual se calculan las soluciones dependiendo de ciertos parámetros iniciales como: número de iteraciones, tamaño de la población y numero de intercambios. En esta investigación se obtuvo mejores resultados pero el tiempo computacional aumento a comparación con los plateados en la literatura, considerablemente dado el mayor esfuerzo para encontrar soluciones que cumplan con todas las condiciones y restricciones.

Contreras & Díaz, (2010), este trabajo comprende algunos de los métodos heurístico para la solución de problemas de ruteo, se desarrolló un toolbox en Matlab con su respectivo manual, que brinda soluciones al problema del CVRP, por medio de los algoritmos de vecino más cercano de los y el de ahorros de Clarke and Wright, al comparar los resultados obtenidos por los dos algoritmos para la misma instancia se puede concluir que en la mayoría de los caos el algoritmo de ahorros a llegado a mejores soluciones que el algoritmo del vecino las cercano.

Por otra parte, Gómez & Rangel, (2011) donde se centró la investigación en formular las metaheurísticas búsqueda tabú y recocido simulado para la solución del CVRP. Para ello se desarrolló dos algoritmos que fueron programados en el software Matlab y cuyo resultado fue una herramienta que permite el CVRP de forma rápida y eficaz. Se utilizó esta técnica con el fin de minimizar el costo del transporte total, teniendo en cuenta la distancia de los clientes y depósitos, además los costos asociados a los vehículos es decir que también se minimiza la cantidad de vehículos utilizados. Dado que los problemas de tipo combinatoria con el VRP y sus variaciones tienen gran complejidad matemática es recomendable el uso de Heurísticas y Metaheurísticas para obtener soluciones eficientes.

Por otra parte, Cadillo, (2011), el problema se centró en la comparación de varios heurísticos y un algoritmo exacto partir de la formación de clúster, método de

ahorros, cercanía de puntos y barrido, para la solución de un ruteo de los vehículos que realizan el transporte de la mercadería desde el almacén principal hacia las tiendas o puntos de distribución, utilizaron la herramienta informática o software LINDO. Se compararon las propuestas y se llegó que el mejor método fue formación de clúster a través de la cercanía de los puntos y resuelve los mismos mediante una programación lineal aplicada que en este caso fue la del Agente Viajero.

Çđçekdes (2011), aborda el problema de planificación de distribución diaria de la empresa automotriz y diseñar un algoritmo de solución eficiente para el tomador de decisiones. Primero hicieron la definición del problema real y plantearon todas las restricciones a considerar. En primer lugar, el problema se formuló como modelo de programación de enteros mixtos donde este modelo matemático fue codificado en el software de optimización de Lingo y también se desarrolló un algoritmo genético para resolver el problema y lo programaron en lenguaje Matlab. Se llegó al óptimo con la primera instancia pero los tiempos computacionales son muy largos y por esto es mejor y más aceptable el algoritmo genérico ya que sus soluciones de alta calidad que también satisfacen el objetivo de rendimiento de la empresa consumiendo tiempos de ejecución más cortos.

Para seguir con la investigación, Moreno, Parra & Ulabarri, (2012), el problema localizado en Palmira (valle del cauca) en el cual se centró en el proceso de distribución de productos cárnicos, el vehículo que realiza la distribución para el canal tradicional (tienda a tienda), el 16,18% de los clientes se estaban afectando en el servicio prestado por la empresa ASA S.A.S ya que había un desconocimiento de la ubicación de los clientes no alcanzaban a entregar los pedidos o en su defecto llegaban tarde, para esto diseñaron y estructuraron un modelo de ruteo que permita reducir los tiempos de ruta, minimizando los desplazamientos, concentrando rutas de distribución, aprovechando la capacidad del vehículo; para esto se busca el apoyo en herramientas tecnológicas como el software VRP Solver 1.3. y de métodos heurísticos de ruteo VRP (Vehicle RouteProblem) en el cual se implementa el método del ahorro y Barrido, en el cual presentaba un menor ahorro que el modelo algoritmo de e Clarke y Wright . También se encontró un modelo en el cual puedan presentar una mejora significativa que le permita ser más eficiente en los procesos de distribución, buscando mejorar los niveles de satisfacción al cliente.

Quintero, (2012), el objetivo general de la tesis consiste en diseñar, e implementar un algoritmo híbrido basado en un método de aproximaciones sucesivas para el problema de ruteo de vehículos heterogéneos. Diseñar una metodología que utilizara el algoritmo de los ahorros y la simulación de Monte Carlo, la cual es simple y eficiente, además de tener su plataforma en un software de libre distribución, así como evaluar su desempeño para ofrecer una alternativa de solución competitiva y rápida. Los resultados mostraron que el método utilizado genera buenas soluciones, las cuales compiten, esto es, que el costo incurrido fue menor o muy similar al reportado en la literatura.

Por otra parte, Nieto, (2012) con su trabajo modelación matemática del problema de ruteo de vehículos con restricciones de múltiples depósitos, flota heterogénea de

vehículos y ventanas de tiempos, se propone un método matemático de programación entera mixta (MIP) para solucionar un problema de ruteo de vehículos con restricciones de múltiples depósitos, flota heterogénea de vehículos y ventanas de tiempo codificado en GAMS. Una de las dificultades que presentan los métodos aproximados para solucionar problemas de ruteo de vehículos es que no siempre se conoce que tan buenas son las soluciones que generan y adicionalmente por lo general solo aplican para resolver el problema específico para el cual fueron diseñados. El modelo presentado no solamente soluciona problemas del tipo MDHVRPTW para el cual fue diseñado sino también es capaz de solucionar problemas con menos restricciones como los VRPTW, HVRPTW y MDVRPTW. Se desarrolló una pequeña experimentación con parámetros del Software solver 1.3, para comprobar que configuración de los parámetros del mismo mejoran la calidad de las soluciones generadas por este así como su tiempo de ejecución. Dicha experiencia mostro que modificando parámetros como varsel y mipemphasis configurando una ramificación fuerte y priorizando la búsqueda de soluciones óptimas respectivamente ayuda a mejorar la calidad y los tiempos de ejecución de las soluciones generadas.

Quintero, (2013) donde realizaron el trabajo, propuesta metodológica para la recolección de leche en Colombia caso de estudio: provincia de Sugamuxi (Boyacá). La investigación busca el desarrollo de una metodología, articulada con la generación y aplicación de un modelo matemático, en busca de mejorar las rutas de aprovisionamiento que utiliza cada centro de acopio en el proceso de recolección de leche a los productores que se ubican en la provincia de Sugamuxi (contexto geográfico evaluado), donde se utilizó como referente teórico central el ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem) y donde el modelo matemático se corrió y se programó en Gams. Además se demuestra una necesidad del sector de atacar el problema del ruteo de vehículos VRP el cual genera altos costos de distribución, que impactan en la eficiencia de la cadena, por la falta de información de los productores, falta de análisis de registros, la falta de planificación del transporte, calidad de la red vial, y los medios de recolección, mediante la investigación se logró realizar una caracterización de la cadena de abastecimiento en donde se encontraron deficiencias en el modelo operativo en tanto los actores desconocen los costos totales en los que se incurre al realizar la operación, tanto el productor como el acopio se preocupan por percibir alguna utilidad que se vea reflejada como mínimo en permitir la operación de su negocio, por último en la investigación realizada se establecieron rutas para cada centro de acopio y el orden en que deben ser visitados cada productor para el acopio de la leche, se logró una disminución de costos en un 17,3%.

Fischetti, Fischetti & Michele Monaci, (2014). Se plantea una heurística de búsqueda de proximidad para programas enteros mixtos. Este trabajo está centrado en la solución de un algoritmo para maximizar la producción total de un parque eólico teniendo en cuenta la interferencia de las otras turbinas, se solucionó empleando búsqueda de proximidad en el cual se describe como enfoque alternativo, dirigido a mejorar una solución factible dada. Se reemplaza la función objetivo por una de

"proximidad" con el objetivo de reducir el espacio de búsqueda, para mejorar el comportamiento heurístico del solucionador. Los siguientes enfoques alternativos de solución se implementaron en lenguaje C: proxy, cpx_def, cpx_heu y loc_sea. En este trabajo se concluyeron que loc_sea tiene un buen rendimiento para los límites de tiempo cortos y / o para instancias grandes, lo que confirma su eficacia, mientras que cpx_heu es significativamente mejor que loc_sea solo para instancias pequeñas y grandes límites de tiempo.

Fuentes, parra & Gutiérrez, (2014) Se presenta la viabilidad de aplicar un modelo heurístico de inserción para el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo y flota heterogénea de una empresa distribuidora de licores, a partir del desarrollo de los algoritmos, se procede a ingresar los datos suministrados por la empresa en estudio y, posteriormente, a realizar las respectivas corridas en MySQL, con el fin de determinar si el modelo heurístico de Solomon obtiene cambios y mejoras con respecto a los resultados actuales de la empresa. Se obtuvo mejora en cuanto a las variables que se tenía por objeto evaluar y mejorar, como son: distancia, donde se ahorró 4,88%; tiempo recorrido, con ahorro del 4,90%.

Por otra parte, Castañeda & Cardona, (2014) donde presentaron la propuesta de logística inversa asociada a la recolección de aceite vehicular usado en la ciudad de Pereira. En este trabajo se vio la necesidad de recoger este material ya que puede generar un riesgo ambiental si no se da el tratamiento necesario a este residuo, también en la ciudad no se había podido tener un sistema que permita recuperación de productos fuera de uso y los reintegre a un proceso productivo. Para resolver el problema se ha seleccionado una heurística de dos fases que consiste en rutear primero y agrupar después o route-first and cluster-second, la cual se divide en dos instancias, en la primera permite crear diferentes rutas, usando una heurística constructiva como es el método de ahorro (*Clarke and Wright*), y en la segunda, de acuerdo a una restricción de capacidad en los camiones asigna a cada vehículo una cantidad de clientes determinada. Ambos algoritmos son programados y solucionados en Matlab.

En este trabajo lograron plantear un sistema de recolección de aceites, en el cual pasa por 96 puntos, sería necesario 5 camiones para satisfacer la cantidad de aceite generado.

Posteriormente, Puenayán et al. (2014). Artículo está enfocado el problema de ruteo de vehículos con flota heterogénea (VRPH), que busca determinar las rutas a ser construidas para satisfacer las demandas de los clientes, considerando una flota de vehículos con capacidad, el algoritmo propuesto ha sido implementado en lenguaje C++ y ha sido probado en un caso real de una compañía colombiana de productos de consumo masivo que realiza despachos en las principales zonas urbanas de la ciudad de Cali (Colombia). La metodología propuesta en este trabajo conlleva una mejora sustancial en relación a los costos de transporte, representado en los vehículos empleados, el porcentaje de utilización de capacidad de cada camión y la distancia total recorrida.

Por otra parte, Sánchez, (2015) emplean el VRP (Vehicle Routing Problem) en que analizan una red de distribución para una empresa dedicada al transporte de vinos y licores, para la toma de decisiones en la planeación de rutas, y distinguir las etapas de problemáticas en el ruteo de la empresa, a fin de proponer una herramienta de toma de decisión para un mejor aprovechamiento de la flota de vehículos, la metodología a utilizar sería el algoritmo de ahorros y presento un 17% de ahorros en comparación con el actual sistema Y mediante el valor obtenido con el software y el heurístico, se analiza el porcentaje de desviación, el cual resulta en 25%, este valor indica que el algoritmo de Clarke y Wright está muy alejado del óptimo, dando como primera conclusión que el algoritmo de ahorros es poco confiable, sin embargo el algoritmo de ahorros tiene un gran potencial, debido a que en la literatura indica que el porcentaje de desviación con respecto al óptimo oscila entre 6.7 y 9.6% con respecto al óptimo.

Domínguez & Perea, (2015), abordaron el problema CVRP en dos fases una donde se aplicó un heurístico para formar los clúster y por último se utilizó el algoritmo MTZ el cual es una variación del TSP para secuenciar y se aplicó a un sistema de distribución perteneciente a el sector de los snack o pasabocas, se distribuye estos productos a minoristas de zarzal valle y donde se tomaron 40 clientes o nodos, este problema se solucionó en el lenguaje de programación AMPL en la plataforma NEOS SERVER. Se encontró que la mejor forma de darle solución a este problema fue a través de la cercanía de puntos y secuenciación mediante la programación lineal aplicada, que en este caso fue el modelo del MTZ.

Boland et al. (2015). Este artículo presenta un enfoque heurístico de los modelos de programación estocástica lineal en dos etapas. En la primera etapa para solucionar este problema se utiliza un método benders para transformación de estos problemas grandes en varios problemas más sencillos y de menor envergadura, el cual genero dos subproblemas y para solucionarlos se utilizó búsqueda de aproximada. El proceso iterativo de la búsqueda puede continuar hasta que se encuentre una solución factible al problema principal para el cual se ha calculado después el costo estimado de cada solución. El algoritmo fue implementado en IBM-ILOG Cplex 12.6.1.

Finalmente, Rivera, Afsar & Prins, (2016), se centra en un problema de enrutamiento de un solo vehículo, se determina las rutas de transporte para primeros auxilios, equipos de rescate, personal o equipos de puntos de suministro a un conjunto de sitios de destino, geográficamente dispersas en la región del desastre. Se describe un algoritmo exacto MT-CCSVERP(Single-Vehicle Routing Problem MultiTrip), el cual es un problema del camino más corto con recursos limitados donde cada nodo corresponde a un viaje y los sitios para visitar los recursos se vuelven, utilizan la suma de los tiempos de llegada al sitio como función objetivo y se tiene en cuenta la urgencia de la situación, el cual se utilizó el software MIP. Este problema de optimización combinatoria constituye una buena manera de modelar la entrega de suministros de socorro después de un desastre, ya que la función objetivo tiene en cuenta la urgencia de la situación pero al solo tener un solo vehículo representa una limitación muy restrictiva.

4.2 MARCO TEÓRICO

En el mundo actual es de vital importancia la eficiencia de las operaciones, ya que cada día las empresas, organizaciones e instituciones están más expuestas a la competencia en calidad, precio, en tiempo de entrega entre otras cosas, que se le puede ofrecer al consumidor, por ello es importante abordar algunos elementos teóricos relevantes en este capítulo que conciernen a la cadena de suministros y la logística en su conjunto.

4.2.1 Cadena de suministros

La gestión de la cadena de suministro es un conjunto de enfoques utilizados para integrar de forma eficiente a los proveedores, almacenes de fabricantes y puntos de venta, que la mercancía se produce y distribuye en las cantidades correctas, en los lugares correctos y en el momento adecuado. Con el fin de minimizar el costo del sistema a la vez que se satisfacen los requisitos del nivel de servicio, la definición genera varias observaciones.

En primer lugar, la gestión de la cadena de suministro tiene en cuenta todas las instalaciones que tienen un impacto en los costos y cumple con los requisitos del cliente: desde los proveedores y las instalaciones de fabricación, pasando por los almacenes y centros de distribución, hasta los minoristas y las tiendas. De hecho, en algunos análisis de cadena de suministro, es necesario tener en cuenta los proveedores de los proveedores y los clientes porque tienen un desempeño en la cadena de suministro.

En segundo lugar, el objetivo de la gestión de la cadena de suministro es ser eficiente y en todo el sistema: en todo el sistema costos, desde el transporte y la distribución o materias (Simchi, 2001, p. 8).

Una cadena de suministro es la parte de la cadena de valor que se centra sobre todo en el movimiento físico de los bienes y materiales, y da apoyo a los flujos de información y transacciones financieras, mediante procesos de suministros, producción y distribución (Collier & Evans, 2009).

Ballou, 2004, en su libro logística administración de la cadena de suministro, plantea que la planeación y dirección logística forman un triángulo importante de decisiones sobre la localización, inventario y transporte, el servicio al cliente es el resultado de esta decisiones (ver imagen 4.1). El producto es el núcleo del enfoque en el diseño del sistema de logística, porque es el objeto de flujo en la cadena de suministros, y en su forma económica genera los ingresos de la empresa. Es esencial una clara comprensión de este elemento básico para formular buenos diseños de sistemas de logística, y es la razón para explorar las dimensiones básicas del producto al representarlo por sus características, empaque y precio como un elemento de servicio al cliente en el diseño de sistemas de logística.

Figura 4.1. El triángulo de la planeación.



Fuente: Libro logística administración de la cadena de suministro.

4.2.2 Costos logísticos

El propósito de la logística es hacer frente a la demanda ofreciendo calidad y servicio al menor coste.

Denominaron costes logísticos al gasto total generado por las actividades de mantenimiento logístico. Un coste alto reduce el mercado, sobre todo en un mundo globalizado donde todas las empresas pueden acceder a proveedores de cualquier país. Si el coste es bajo habrá que considerar además factores tales como tiempo, calidad y cantidad (Bastos, 2007, p. 6).

Sin embargo, puede afirmarse que existen costes indirectos que producen una pérdida de valor real y que están asociados a varias situaciones, como, por ejemplo:

- Utilización de modelos obsoletos que no están adaptados a las nuevas tecnologías.
- Roturas de stocks y sobres-stocks.
- Manipulaciones que producen deterioros.
- Disminución de existencias motivadas por robos y por otras causas.
- Falta de control que repercute en devoluciones excesivas y rectificaciones.
- Retrasos, urgencias y mala gestión de tiempos. Distribución
- Deficiente organización generadora de conflictos contables.
- Mala imagen y carencias en la atención al cliente

4.2.3 Actividades principales de la logística

4.2.3.1 Inventario

Según Chapman (2006), Todos los medios, elementos y recursos productivos de que dispone una empresa son inventariables, es decir, pueden registrarse contablemente (estados financieros) y físicamente en los almacenes. Son los medios que se transforman en el proceso productivo en producto terminado: bienes (materiales) o servicios (clientes), con el apoyo de los recursos indirectos.

La gestión de los inventarios tiene como objetivo equilibrar el nivel de servicio con los costos de almacenaje y la liquidez financiera. En este sentido, dada la alta variabilidad de las necesidades del mercado, y por tanto, la alta incertidumbre en los niveles de inventario requerido, los esfuerzos deben centrarse a evitar el desabastecimiento, proteger los incrementos de los precios y garantizar el nivel de servicio al cliente, manteniendo un control exhaustivo de los costos.

Según Wild (2002) el propósito del control de inventarios es asegurar el funcionamiento de las actividades de la empresa mediante la optimización conjunta de los siguientes tres objetivos:

- Servicio al cliente
- Costos de inventario
- Costos operativos

La optimización conjunta de estos objetivos significa que no se debe buscar una mejora en alguno de los objetivos descuidando los otros, ya que los tres son igual de importantes. Al intentar disminuir los costos de inventario, se incurrirá en menores niveles de materiales en la empresa, por lo que la probabilidad de satisfacción del cliente baja por los posibles agotamientos; al disminuir los costos operativos la gestión de los inventarios puede llegar a ser insuficiente, lo que genera procesos de información inadecuados y tiempos de entrega de material largos, afectando también el servicio al cliente; y si solo se piensa en incrementar el servicio al cliente, los costos de inventario y los costos operativos se deben incrementar, por lo cual la rentabilidad para la empresa se ve afectada. Por lo anterior se debe buscar un punto en que se satisfagan los tres objetivos sin afectar los otros, lo cual es la función principal de los procesos de gestión de inventarios (Zapata, 2001, p. 14).

4.2.3.2 Localización

Las decisiones de localización de la planta son del orden estratégico, es una de las decisiones más importantes dentro de un proyecto de inversión, esta debe estar enmarcada en criterios objetivos que permitan obtener la mejor relación beneficio

costo para el proyecto. Las alternativas de localización deben ser revisadas bajo las condiciones de servicios básicos, mano de obra, fuentes de materias primas e insumos, demanda del mercado, acceso, entre otros aspectos.

En una decisión sobre localización hay que elegir entre sitios múltiples en donde los criterios, por lo general, se circunscriben a cuestiones de costos, rentabilidad, tiempos de respuesta, cercanía determinados lugares o algún otro de acuerdo a las características de la empresa o actividad llevada a cabo. Surgen problemas cuando se consideran en el análisis solamente muy pocos emplazamientos, mientras que en el otro extremo, también existen casos en que la selección resulta complicada por la gran variedad de lugares posibles entre los cuales elegir. Por lo general, podemos inferir que las decisiones sobre localización de instalaciones no escapan a dos elecciones principales:

- Estar cerca del cliente, teniendo en cuenta los costos de movimientos y prioridades competitivas en base a tiempo.
- Ubicarse cerca de las fuentes de insumos aprovechando bajos costos de materiales y mano de obra.

La importancia de las decisiones sobre localización de las instalaciones viene justificada por dos razones principales:

En primer lugar estas decisiones entrañan una inmovilización considerable de recursos financieros a largo plazo, Pues las instalaciones son generalmente costosas, sobre todo si se trata de sofisticadas plantas de fabricación.

En segundo lugar, son decisiones que afectan a la capacidad competitiva de la empresa así que una buena elección favorecería el desarrollo de las operaciones de forma mientras que una incorrecta impondría considerables limitaciones a la misma.

Todas las áreas de la empresa pueden verse por área de operaciones, sino también la función Comercial, la de Personal, la Financiera, etc. Por otro lado, hay que tener presente que las negativas de mala localización no resultan siempre evidentes, pues suelen manifestarse en costo de oportunidad (Gonzales & Carro, 2009).

Existen factores básicos como la disponibilidad de la disponibilidad de materias primas y cambios en la del mercado; que debe ser considerado para cualquier tipo de empresa. A su vez también es factible considerar el nombre de la producción de la empresa, desde el punto de vista de los factores que hay que clasificar como los siguientes:

- La fuente de insumos y el mercado de los productos
- El tipo de procesamiento para empresas de bienes y servicios.

Sin embargo, existen diferencias de enfoque dado a la selección de la ubicación del tipo de empresa: Empresas de servicios: Se concentra en la maximización de los

ingresos por la cercanía con el cliente. Empresas de bienes: Se concentran en la minimización de los costos de transporte de materias primas y producto terminado (Soto, 2010).

4.2.3.3 Transporte

La función de transporte no solo incluye el movimiento físico de los materiales, sino también las operaciones de carga, descarga, tiempos de espera, etc. Para las empresas, el análisis de la función de transporte es fundamental, pues su coste representa de uno a dos tercios del coste logístico total. En logística, el transporte representa, en promedio, de uno a dos tercios de los costos logísticos (Ballou, 2011, p.24), pudiendo llegar, incluso, a significar dos a tres veces el beneficio de una compañía, como es el caso del sector de distribución de combustibles (NAZARIO, 2004, p. 225). Esta definición sirve también para cualquier medio de transporte: camión, barco, ferrocarril y avión.

Pocas empresas pueden acometer por su propia cuenta toda la infraestructura necesaria para desarrollar completamente la función de transporte y, aunque sean capaces, seguro que, en bastantes ocasiones, deberán acudir a los servicios de transporte externos; es decir, a operadores logísticos, que asumirán las funciones del transporte por cuenta propia. La selección de operador logístico depende de muchos aspectos que impactan el coste del servicio y calidad ofrecida, en el cual se tiene que tener en cuenta varios para metros a la hora de tomar una decisión (ver figura 4.2).

Figura 4.2. Factores para tener en cuenta a la hora de la toma de una decisión.

Conceptos	Factores a tener en cuenta
Servicio de transporte propio (flota propia)	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible • Mano de obra • Costes administrativos • Mantenimiento • Depreciación
Servicio de transporte ajeno	<ul style="list-style-type: none"> • Recogida de la mercadería en el origen • Seguros • Entrega de la mercadería en el destino • Preparación de los bienes para su posterior envío
Factor tiempo de tránsito	Es el tiempo promedio de entrega que tarda un servicio logístico en desplazar una mercadería desde el origen hasta el destino requerido.
Factor de variabilidad	Diferencias de tiempo de tránsito para un mismo <i>mix</i> de transporte, ocasionados por factores como: <ul style="list-style-type: none"> • Efectos del clima • Congestión del tráfico • Demora en la consolidación de los envíos
Factor pérdida y daños	Diferencias en la calidad y cuidado en el manejo de las mercaderías por parte de distintos proveedores de transporte. Obliga a tener en consideración el coste latente de pérdidas y daños.

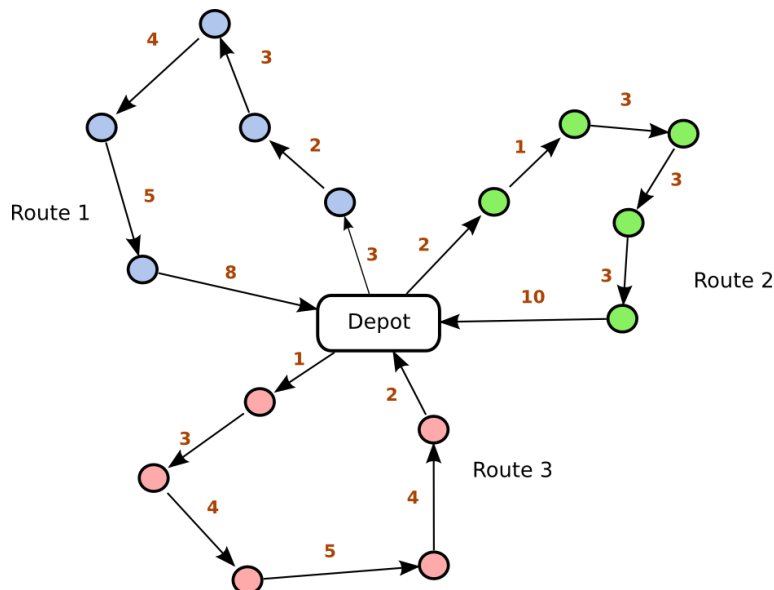
Fuente: La gestión del transporte.

Cada uno de los cinco modos básicos de transportación ofrece sus servicios en forma directa al usuario. Esto contrasta con el uso de un "intermediario de transportación", como un agente transportista, quien vende servicios de transportación pero por lo general no posee (ni en menor medida) capacidad de desplazamiento de transporte de línea. El servicio de modo simple también se compara con los servicios que implican dos o más modos individuales de transporte (Ballou, 2004, p. 171).

4.2.4 Problema del ruteo de vehículos

Un problema frecuente en la toma de decisiones es reducir los costos de transportación y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras, líneas ferroviarias, líneas de embarque o rutas de navegación aérea que minimicen el tiempo o la distancia. Aunque hay muchas variaciones dentro de los problemas de diseño de rutas, podemos reducirlas a unos cuantos tipos básicos. Está el problema de cómo hallar un camino a través de una red donde el punto de origen es diferente del punto de destino (ver figura 4.3.). Hay un problema parecido cuando existen múltiples puntos de origen y de destino. Además, el problema de diseñar las rutas cuando los puntos de origen y destino son los mismos. Consideremos cómo se puede resolver cada tipo (Ballou, 2004, p. 171).

Figura 4.3. Problema de ruteo.



Fuente: Metaheuristics in dynamic Environments.

Estos problemas se caracterizan porque el origen de la ruta no coincide con el destino o destinos. En general, este tipo de problemas son relativamente más tratables y se pueden obtener soluciones óptimas en forma computacionalmente eficiente (Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento, 2006, p.27).

Esos potenciales ahorros, están alrededor entre el 5 % y el 20 % de los costos totales de transportación y entre el 10 % y el 20 % del costo final de los bienes (OLIVERA, 2004).

4.2.4.1 Problema del agente viajero (tsp)

El problema del agente viajero concierne en la determinación del viaje (cerrado) más corto para un conjunto de ciudades, en el que cada ciudad se visita exactamente una vez. En esencia, el problema es un modelo de asignación con restricciones adicionales que garantizan la exclusión de sub-viajes en la solución óptima (Taha, 2004, p. 390).

La dificultad del TSP radica en el hecho de que es un problema NP-Completo o duro de resolver y aún no se le conoce algoritmo polinomial de solución y probablemente éste no exista. En la vida real, un problema del TSP puede tener decenas o cientos de miles de ciudades (Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento, 2006, p.91).

A continuación se presentara la formulación básica del TSP. Definamos inicialmente las siguientes variables de decisión y conjuntos:

$X_{ij} = 1$, si el arco (i, j) pertenece a la ruta; 0, de lo contrario

d_{ij} = Distancia del nodo i al nodo j

V = Conjunto de vértices

S = subconjunto de V

n = Número de puntos o ciudades a visitar

Formulación matemática del TSP:

Variables de decisión:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } j \text{ precede al cliente } i \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

$n =$ Número total de puntos a visitar

$$\sum_{i \in n} X_{ij} = 1; \quad \forall j \in V \setminus \{0\} (2)$$

$$\sum_{j \in n} X_{ij} = 1; \quad \forall i \in V \setminus \{0\} (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1; \quad \forall S \subset n; 2 \leq |S| \leq n - 2 (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}; \quad \forall j \in V \setminus \{0\}, i \neq j (5)$$

La función objetivo (1) establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las restricciones (2) y (3) indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Las restricciones (4) son llamadas restricciones de eliminación de sub-tours. La restricción (5) indica que la variable X_{ij}^v es binaria.

4.2.4.2 El problema del ruteo de vehículos (VRP)

El problema del ruteo de vehículos es mucho más complejo que el problema del TSP. En realidad un VRP consta de múltiples problemas del TSP, pero con restricciones y características adicionales que pueden volver extremadamente complejo el problema. Un problema clásico de ruteo lo encontramos cuando varios camiones salen de un centro de distribución y deben visitar a varios clientes, hacer diversas entregas y retornar al CD (Vidal, Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento, 2006, p.91).

Según los autores Toth& Vigo, (2000):

Variables de decisión:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el cliente } j \text{ precede al cliente } i \\ 0 & \text{en el caso contrario} \end{cases}$$

$$\forall k \in v;$$

Función objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} C_{ij} X_{ij}$$

Restricciones:

$$\sum_{i \in n} X_{i0} = K; \quad (1)$$

$$\sum_{j \in n} X_{0j} = K;$$

$$\sum_{i \in n} X_{ij} = 1; \quad \forall j \in n \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in n} X_{ij} = 1; \quad \forall i \in n \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in n \setminus L} X_{ij} \geq r(S); \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}; \quad \forall j \in V \setminus \{0\}, i \neq j \quad (5)$$

Donde:

- $V = \{v_0, v_1, v_2 \dots\}$ Es el conjunto de vértices del gráfico, donde corresponde al almacén.
- C es la matriz de distancias o costos entre los clientes v_i y v_j .
- K es el número de vehículos de capacidad C , necesarios para cargar toda la demanda.
- S es un subconjunto de vértices del grafo donde $S \subseteq V \setminus \{0\}$.
- $r(S)$ es el número mínimo de vehículos necesarios para servir a todos los clientes en S .

Las restricciones de grado de entrada y de salida (1) y (2), imponen que exactamente un arco entra y otro sale de cada vértice asociado a un cliente, para satisfacer que todos los clientes sean visitados una vez. Además las restricciones (3) y (4) imponen los requerimientos para el vértice depósito; es decir, los mismos carros que salen del depósito, regresan al depósito. Finalmente la restricción de corte de capacidad (5), satisface tanto la conectividad de la solución y las no violaciones de la capacidad C de cada vehículo. Dicha restricción resta aún válida si el $r(S)$ es reemplazado por el valor solución trivial del BPP mencionado anteriormente.

4.2.4.3 Variantes del problema de ruteo de vehículos

Los problemas de ruteo tienen diferentes tipos de problemas representativos, como el de asignación de recursos, flota heterogénea, ventana de tiempo, balanceo de línea, entre otros. Algunas variantes son:

- CVRP (Problema de ruteo de vehículos con capacidad).
- MDVRP (Problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos).
- PVRP (Problema de ruteo de vehículos periódico).
- SDVRP (Problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega).
- HFCVRP (problema de ruteo con flota heterogénea).
- VRPTW (problema de ruteo de vehículos con ventana de tiempo).
- SVRP (problema de ruteo de vehículos estocástico)
- VRPB (problema de ruteo de vehículos los consumidores pueden demandar o retornar algunas mercancías)
- SDVRP (problema de ruteo de vehículos los consumidores pueden ser atendido por diferentes vehículos)

4.2.5 Métodos de solución.

El VRP es de complejidad NP-hard, porque el número de soluciones crece exponencialmente con el número de nodos, los cuales pueden estar representados por depósitos o clientes. Esta situación sobrepasa las capacidades de cálculo de los ordenadores más potentes que existen en la actualidad. En problemas

pequeños, hasta con 50 nodos, han sido propuestos métodos exactos como los algoritmos de ramificación y acotamiento (Branch and Bound) pertenecientes a los métodos de búsqueda directa de árbol. Otros métodos exactos que se han propuesto para solucionar el VRP incluyen la programación dinámica y la programación lineal y entera. (Rocha, González, & Orjuela, 2011).

4.2.5.1 Técnicas exactas

Los algoritmos exactos son aquellos que siempre producen una solución óptima. Dichas técnicas no son adecuadas en aplicaciones que requieren soluciones rápidas o que tratan de resolver instancias de problemas muy grandes. Debido a la naturaleza NP del problema VRP, la búsqueda exhaustiva de estas técnicas no resulta eficiente computacionalmente (Corona & José, 2005).

Como se ha comentado anteriormente, existe una clase de problemas, denominada NP, con gran interés práctico para los cuales no se conocen algoritmos exactos con tiempos de convergencia en tiempo polinómico. Es decir, aunque existe un algoritmo que encuentra la solución exacta al problema, tardaría tanto tiempo en encontrarla que lo hace completamente inaplicable. Además, un algoritmo exacto es completamente dependiente del problema (o familia de problemas) que resuelve, de forma que cuando se cambia el problema se tiene que diseñar un nuevo algoritmo exacto y demostrar su optimalidad (Rodríguez, duarte & Pantrigo, 2010).

4.2.5.2 Algoritmos heurísticos

Los métodos heurísticos son procedimientos que se usan para resolver los problemas de optimización mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura de problema se utiliza para obtener una buena solución.

Para la mayoría de problemas de interés no existe un algoritmo exacto con complejidad polinómica que encuentre la solución óptima a dicho problema. Además, la cardinalidad del espacio de búsqueda de estos problemas suele ser muy grande, lo cual hace inviable el uso de algoritmos exactos ya que la cantidad de tiempo que necesitaría para encontrar una solución es inaceptable. Debido a estos dos motivos, se necesita utilizar algoritmos aproximados o heurísticos que permitan obtener una solución de calidad en un tiempo razonable (Dias & contreras, 2010).

4.2.5.3 Metaheurísticas

Las técnicas metaheurísticas son procedimientos de búsqueda que tampoco garantizan la obtención del óptimo del problema considerado y que también se basan en la aplicación de reglas relativamente sencillas. A diferencia de los heurísticos, las técnicas metaheurísticas tratan de huir de óptimos locales orientando la búsqueda en cada momento dependiendo de la evolución del proceso de búsqueda. La aplicación de las técnicas metaheurísticas es especialmente

interesante en caso de problemas de optimización combinatoria: problemas en las que las variables de decisión son enteras (o discretas, al menos) en las que, generalmente, el espacio de soluciones está formado por ordenaciones de valores de dichas variables. Sin embargo, las técnicas metaheurísticas se pueden aplicar también a problemas de otro tipo, como con variables continuas, por ejemplo. La lógica de las técnicas metaheurísticas es similar: el punto de partida es una solución (o conjunto de soluciones) que típicamente no es óptima. A partir de ella se obtienen otras parecidas, de entre las cuales se elige una que satisface algún criterio, a partir de la cual comienza de nuevo el proceso. Este proceso se detiene cuando se cumple alguna condición establecida previamente CD (Técnicas metaheurísticas, 2004, p.3).

Es aquí donde los métodos heurísticos se convierten en procedimientos eficientes para encontrar “buenas soluciones” aunque no se pueda comprobar que sean óptimas. En estos métodos, la rapidez del proceso (que siempre es menor que el tiempo de una solución por otros métodos) es tan importante como la calidad de la solución obtenida, Por tanto podemos usar métodos heurísticos cuando en un problema de optimización, determinístico o no, se encuentren algunas de las siguientes características (Rengifo, Baldoquin & Escobar 2017).

4.2.5.4 Mateheurísticos

Los mateheurísticos son algoritmos heurísticos hechos por la interoperación de metaheurística y técnicas de programación matemática (MP) (Boschetti, et al. 2009). Un Mateheurísticos es una hibridación de metaheurística y programación matemática

Este tipo de método consiste en estrategias híbridas que combinan elementos de técnicas heurísticas, técnicas meta-heurísticas y métodos de solución exactos (Toro, Escobar & Granada, 2016).

La estructura de la hibridación metaheurística: incorporamos las formulaciones matemáticas de la optimización robusta en algoritmos de optimización metaheurística. Esto nos permite hacer una optimización heurística evitando los grandes requisitos de tiempo / memoria de los enfoques de programación matemática pura, mientras evaluamos cada solución bajo incertidumbre usando las ideas de optimización robusta (A Matheuristics for Robust Optimization, 2014, p.3).

4.3 MARCO LEGAL

Se hablara de las normas vigentes que regulan la acopiación de leche en Colombia ya que en trabajo es orientado solo a la recolección y no a proceso o comercialización, estas normas están más que todo orientadas a la leche que se puede acopiar o recoger por parte de las procesadoras o intermediarios, hay que tener en cuenta que Colombia está muy rezagada en esta materia a comparación de los países de la Unión Europea o Estados Unidos, los organismos de control son: ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) y INVIMA (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos).

4.3.1 Decreto 616 del 2016

En el marco de la del decreto 616 del 2006 (Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercialice, expendi, importe o exporte en el país), el presente decreto tiene por objeto establecer el reglamento técnico a través del cual se señalan los requisitos que debe cumplir la leche de animales bovinos, bufalinos y caprinos destinada para el consumo humano, con el fin de proteger la vida, la salud y la seguridad humana y prevenir las prácticas que puedan inducir a error, confusión o engaño a los consumidores (Las buenas prácticas ganaderas en la producción de leche, en el marco del decreto 616, 2015).

4.3.1.1 Características de la leche cruda

Este decreto 616 del 2016 también nos regula las especificaciones o características de la leche cruda en los bovinos (ver tabla 4.4)

Figura 4.4. Acopio formal de leche.

Parámetro/Unidad	Leche cruda	
Grasa % m / v mínimo	3.00	
Extracto seco total % m / m mínimo	11.30	
Extracto seco desengrasado % m / m mínimo	8.30	
	Min.	Máx.
Densidad 15/15°C g/ml	1.030	1.033
índice lactométrico	8.40	
Acidez expresada como ácido láctico %m/v	0.13	0.17
índice °C crioscópico	-0.530	-0.510
°H	-0.550	-0.530

Fuente: MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL.

4.3.1.2 Prohibiciones

Teniendo en cuenta que la leche es considerada alimento de mayor riesgo en salud pública, queda prohibido:

1. La adición de lactosueros a la leche en todas las etapas de la cadena productiva.
2. La comercialización de leche cruda o leche cruda enfriada para consumo humano directo.
3. La rehidratación de la leche para consumo humano directo.
4. La comercialización en el territorio nacional de productos destinados al consumo humano con la denominación "leche", cuando presenten modificaciones en su composición natural, tales como: ingredientes, aditivos o cualquier otra sustancia no autorizada por la normatividad colombiana vigente para leches y sus tipos; como por ejemplo, maltodextrina, sueros lácteos, aceite de girasol, de maíz, miel, bien sean fabricados nacionalmente o importados (Las buenas prácticas ganaderas en la producción de leche, en el marco del decreto 616, 2015).

4.3.2 Resolución 0012 de 2007

Sistema de Pago de la leche cruda sobre la base de atributos de calidad composicional e higiénico-Sanitario en sistema de liquidación única, mensual, obligatoria y universal, este sistema de precios establece los valores mínimos que todos los compradores de leche deben cumplir (Cómo se paga la leche al ganadero en Colombia, 2017), el sistema de pago entre en revisión cada 6 meses.

El INVIMA entidad adscrita al Ministerio de Salud y Protección Social es un establecimiento público del orden nacional, responsable de la vigilancia sanitaria y control de calidad de medicamentos, alimentos, dispositivos médicos y otros productos objeto de vigilancia sanitaria. (Ley 100 de 1993). A través del Decreto 1290 de 1994, se precisaron las funciones del INVIMA y se estableció su organización básica. La misión del INVIMA es Proteger y promover la salud de la población, mediante la gestión del riesgo asociada al consumo y uso de alimentos, medicamentos, dispositivos médicos y otros productos objeto de vigilancia sanitaria (plan nacional subsectorial de vigilancia y control de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes químicos en bovinos de carne y sus productos, 2015)..

Tanto los residuos de medicamentos veterinarios como de contaminantes químicos constituyen un riesgo en la inocuidad de los alimentos y por ende para la salud de

los consumidores, lo que determina que se deben establecer medidas para su prevención, vigilancia y control(plan nacional subsectorial de vigilancia y control de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes químicos en bovidos de carne y sus productos, 2015).

Cuando los medicamentos veterinarios no se emplean de manera racional, prudente y particularmente cuando no se cumple con los tiempos de retiro, se pueden generar riesgos para la salud humana, por la presencia de residuos en tejidos y productos de origen animal en niveles que superan el Límite Máximo de Residuos establecido (LMR)(plan nacional subsectorial de vigilancia y control de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes químicos en bovidos de carne y sus productos, 2015).

4.3.3 Decreto 3075 de 1997

Buenas Prácticas de Manufactura del Ministerio de Salud por medio del cual se regulan las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte y distribución y comercialización de alimentos en el territorio nacional. Se hace especial referencia al Artículo 33 en el que se determinan las condiciones que se deben cumplir para el transporte de alimentos: excluir los alimentos de contaminación y/o proliferación de microorganismos que alteren su composición o dañen su empaque, los vehículos deben ser adecuados que permitan una limpieza fácil y completa, revisar los vehículos antes de cargar los alimentos, se prohíbe disponer los alimentos directamente en el piso del vehículo, no transportarlos con materias primas peligrosas y los vehículos deben tener en su exterior: Transporte de Alimentos (Mejoramiento del proceso de recolección de leche en el acopio número cuatro de la empresa Parmalat S.A, 2011)

Las plantas de enfriamiento o centro de acopio deben cumplir con las condiciones establecidas en el Decreto 3075 de 1997 o las disposiciones que la modifiquen, adicionen o sustituyan. Inmediatamente después de llegar a la sala de recepción, la leche debe refrigerarse a una temperatura de 4°C +/- 2°C y transportarse a las plantas de procesamiento antes de 48 horas (cumplimiento del decreto 3075 de 1997 y resolución 2674 de 2013, en las bodegas de producto terminado de pepsico alimentos, 2015).

4.3.4 Resolución 2674 de 2013

4.3.4.1 Transporte

El transporte de alimentos y sus materias primas se realizará cumpliendo con las siguientes condiciones:

1. En condiciones que impidan la contaminación y la proliferación de microorganismos y eviten su alteración así como los daños en el envase o embalaje según sea el caso.

2. Los alimentos y materias primas que por su naturaleza requieran mantenerse refrigerados o congelados deben ser transportados y distribuidos bajo condiciones que aseguren y garanticen el mantenimiento de las condiciones de refrigeración o congelación hasta su destino final, que podrá verificarse mediante plantillas de registro de la temperatura del vehículo durante el transporte del alimento, o al producto durante el cargue y descargue.
3. Los medios de transporte que posean sistema de refrigeración o congelación, deben contar con un adecuado funcionamiento que garantice el mantenimiento de las temperaturas requeridas para la conservación de los alimentos o sus materias primas, contando con indicadores y sistemas de registro.
4. Revisar los medios de transporte antes de cargar los alimentos o materias primas, con el fin de asegurar que se encuentren en adecuadas condiciones sanitarias.
5. Los medios de transporte y los recipientes en los cuales se transportan los alimentos o materias primas, deben estar fabricados con materiales tales que permitan una correcta limpieza y desinfección.
6. Se permite transportar conjuntamente en un mismo vehículo, alimentos con diferente riesgo en salud pública siempre y cuando se encuentren debidamente envasados, protegidos y se evite la contaminación cruzada.
7. Se prohíbe disponer los alimentos directamente sobre el piso de los medios de transporte. Para este fin se utilizarán los recipientes, canastillas, o implementos de material adecuado, de manera que aíslen el producto de toda posibilidad de contaminación.
8. Se prohíbe transportar conjuntamente en un mismo vehículo alimentos o materias primas con sustancias peligrosas y otras sustancias que por su naturaleza representen riesgo de contaminación del alimento o la materia prima.
9. Los vehículos transportadores de alimentos deben llevar en su exterior en forma claramente visible la leyenda: Transporte de Alimentos.

Los vehículos destinados al transporte de alimentos y materias primas deben cumplir dentro del territorio colombiano con los requisitos sanitarios que garanticen la adecuada protección y conservación de los mismos, para lo cual las autoridades

4.3.4.2 personal manipulador de alimentos

Sanitarias realizarán las actividades de inspección, vigilancia y control necesarias para velar por su cumplimiento (Ministerio de salud, 2013).

El personal manipulador de alimentos debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Contar con una certificación médica en la cual conste la aptitud o no para la manipulación de alimentos. La empresa debe tomar las medidas correspondientes para que al personal manipulador de alimentos se le practique un reconocimiento médico, por lo menos una vez al año.
2. Debe efectuarse un reconocimiento médico cada vez que se considere necesario por razones clínicas y epidemiológicas, especialmente después de una ausencia del trabajo motivada por una infección que pudiera dejar secuelas capaces de provocar contaminación de los alimentos que se manipulen. Dependiendo de la valoración efectuada por el médico, se deben realizar las pruebas de laboratorio clínico u otras que resulten necesarias, registrando las medidas correctivas y preventivas tomadas con el fin de mitigar la posible contaminación del alimento que pueda generarse por el estado de salud del personal manipulador.
3. En todos los casos, como resultado de la valoración médica se debe expedir un certificado en el cual conste la aptitud o no para la manipulación de alimentos.
4. La empresa debe garantizar el cumplimiento y seguimiento a los tratamientos ordenados por el médico. Una vez finalizado el tratamiento, el médico debe expedir un certificado en el cual conste la aptitud o no para la manipulación de alimentos.
5. La empresa es responsable de tomar las medidas necesarias para que no se permita contaminar los alimentos directa o indirectamente por una persona que se sepa o sospeche que padezca de una enfermedad susceptible de transmitirse por los alimentos, o que sea portadora de una enfermedad semejante, o que presente heridas infectadas, irritaciones cutáneas infectadas o diarrea. Todo manipulador de alimentos que represente un riesgo de este tipo debe comunicarlo a la empresa.

4.4 MARCO CONTEXTUAL

Este trabajo estuvo en desarrollo durante el lapso de tiempo comprendido entre el año 2016 a 2017, en el sector lechero comprendido por el eje cafetero, con una geografía variada y por lo tanto esto añade problemas logísticos ya que la infraestructura vial no está en las mejores condiciones.

En el sector hay una difícil situación de los productores de leche en Colombia ya que este sector ha tenido muchos problemas por el alto costo de producir un litro de leche e ineficiencia del sector, donde el costo logístico representa un alto costo en el producto final, en este país no cuenta con la mejor infraestructura y esto nos resta competitividad por ende la industria lechera nacional tiene rezagos y le es muy difícil exportar más cuando los estándares o el marco legal vigente no cumple las exigencias para poder exportar este tipo de productos.

4.4.1 Factores comerciales

Los tratados de libre comercio que ha firmado Colombia con varios países, es incapaz de resolver los grandes problemas sociales y económicos por lo que está pasando el sector lechero en Colombia, ya que estos acuerdos han sido ruinosos para la mayoría de los sectores especialmente para los pequeños y medianos productores, porque estos han visto crecer aceleradamente los precios de todos los insumos que estos requieren para la producción de sus productos, así mismo el aumento de la importación de alimentos y los productores cada día están perdiendo acceso a los mercados.

Frente a la difícil situación por la que estaban pasando después de que Colombia firmara un Tratado de Libre Comercio (TLC) con la Unión Europea y Estados Unidos que, dicen, los dejó rezagados en el mercado. Martínez tiene 50 años y 48 vacas que le producen 400 litros de leche por día (La incertidumbre del sector lácteo en Colombia, 2016).

Por otra parte, En la producción de derivados lácteos como yogur, queso, arequipes y mantequilla, se destacan empresas que han creado condiciones competitivas en el mercado para exportar sus productos a varios países, siendo modelos de distribución y logística nacional, también hay empresas que en los últimos años han mejorado considerablemente la producción de derivados y han creado una gran logística para la distribución de leche líquida, mientras otras empresas se han especializado más en la producción de leche en polvo con fines de exportación (Evolución y desarrollo del sector lácteo en Colombia desde la perspectiva del eslabón primario, 2011).

El costo de producción es el principal problema para los campesinos, que sienten que no se les paga lo suficiente y tampoco reciben la capacitación necesaria para mejorar sus estándares y sacarles mayor provecho a sus productos.

4.4.2 Costos de producción

Según Analac, en los últimos siete años lo que se le ha pagado al productor ha disminuido en 12 %, mientras al consumidor, en los supermercados, se le aumenta hasta un 20 % (La incertidumbre del sector lácteo en Colombia, 2016)..

Cada litro, sumando gastos de ordeño, concentrado, medicamentos, vitaminas, desinfectantes, melazas, henos y demás, le cuesta \$650 y Parmalat se lo compra después a \$954(La incertidumbre del sector lácteo en Colombia, 2016).

Esto se debe a que los costos de producción del hato ganadero nacional hoy no llegan a ser medianamente competitivos. Mientras en el mercado interno dichos costos por litro están en promedio a US\$50 centavos, en países como Argentina, India y Nueva Zelanda, grandes exportadores del alimento, los costos están en promedio a 35 centavos de dólar (Cooperativa de Lácteos de Antioquia, 2013).

4.4.3 Panorama nacional lácteo

Dinámico crecimiento en ventas y acopio de leche fresca en el 2012. Las ventas de leches procesadas incrementaron en un 12% respecto a 2011, con un total de 1.029 millones de litros comercializados en esta categoría. Para 2012 las ventas de leches larga vida llegaron a 651 millones de litros y las de leche pasteurizada a 378 millones de litros, con crecimiento del 23% para leches larga vidas, y una caída del 10% en pasteurizada. En cuanto al acopio de leche fresca, las compras de la materia prima a los ganaderos colombianos fueron de 2.911 millones de litros, frente a 2.767 millones de litros del año 2011, lo cual representa un 5.2% de incremento en el acopio. El precio de pago de la leche al productor, promedio nacional, fue de US\$0.50 por litro al finalizar 2012, superior al pagado en países como Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, y en un rango del 15% al 20% a favor del productor colombiano (Panorama lácteo colombiano es alentador, 2013).

4.4.4 Impacto social

Es así como en Colombia se generarán problemas sociales muy sensibles, en un sector ganadero en donde el 81% de ellos cuentan con menos de 50 animales, esto impactaría a las 500.000 familias que dependen del negocio lácteo(Cooperativa de Lácteos de Antioquia, 2013)..

El drama radica en que de los 6.500 millones de litros que produce nuestro país, solo 3.000 son procesados por la industria formal y el 40% del total es producido por ganaderos con hatos de menos de 50 cabezas que derivan su sustento de la producción de leche fresca.

4.4.5 Importación

De acuerdo con el Dane, al mes de octubre de 2012, las importaciones de productos lácteos sumaron US\$101,7 millones, equivalentes a la compra de 29.384 toneladas. De dichas compras externas, el principal producto fue la leche en polvo, que contribuye con más del 62% de los productos importados(Cooperativa de Lácteos de Antioquia, 2013)..

Mientras en 2010 a la Nación ingresaron un total de 125 toneladas de leche en polvo, en 2011 las importaciones sumaron 4.378 y a octubre de 2012 fueron de 18.430, originarias principalmente de países con los que Colombia ha suscrito acuerdos de libre comercio. Tan solo si se compara 2012 frente al 2011, en el periodo de enero a octubre, se dio un crecimiento en volumen cercano al 200%. Según explica José Félix Lafourie, presidente de Fedegán, una tonelada de leche en polvo puesta en el puerto de Barranquilla, puede estar en torno a los US\$3.700 mientras que esa misma tonelada de leche producida en Colombia cuesta por encima de los US\$5.000(Cooperativa de Lácteos de Antioquia, 2013).

5. DISEÑO DEL METODO DE INVESTIGACION

En primera instancia se realizó un diagnóstico del sistema de recolección actual de la empresa caso de estudio determinado las características más relevantes del sistema en mención. En esta parte se comprenderán las dinámicas que se encuentra inmersas en esta operación, así puntualizando las actividades que se tiene diariamente a nivel operativo para atender o suplir la demanda que tiene el centro de acopio.

Se realizará también una revisión de la literatura concerniente al problema de ruteo de vehículos considerando flota heterogénea, mediante la identificación de diferentes formulaciones y métodos de solución.

Con lo anteriormente consultado y dado las características que tiene la empresa caso estudio, se formulará un modelo matemático HFCVRP (Heterogeneous Fleet Capacited Vehicle Routing Problem) que se ajuste a las necesidades de la empresa con base en la revisión bibliográfica que se citó anteriormente.

Adicionalmente, se realizará la recolección de datos sobre el sistema de recolección de leche, con el fin de obtener datos pertinentes y reales para validación del modelo que se formuló anteriormente, el cual consiste en primer lugar un trabajo de campo ya que se va a plantear una geolocalización para recopilar las coordenadas cartesianas de todos los proveedores de la empresa en cuestión empleando google maps®, el levantamiento de las rutas actuales con el GPS GARMIN 64s donde se debe ir por todas las rutas geoposicionando los proveedores y gravar la ruta; para ello se utiliza una app grabadora de viajes GPS para verificar y comparar la información recopilada generando archivos KML que se pueden importar a GoogleMyMaps® previamente se sube a MapSource la información recopilada en el GPS para analizar y observar, así obteniendo las coordenadas de los proveedores.

Con la información recopilada anteriormente, se realizara la matriz de distancias rectas, se va usar la fórmula de Pitágoras pero esta tiene un 10% de error debido a la curvatura terrestre, por el cual 110m tiene una correlación de 1 mm, es decir cada 110 m se tiene un error de 1 mm (MANUAL DE PROCEDIMIENTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS:2014:9), para lo cual se utilizar la formula $\sqrt{X^2 + Y^2} * 110$.

Posteriormente, se solucionará el modelo utilizando la herramienta informática GLPK (GNU Linear Programming Kit) diseñada para resolver modelos de programación lineal a gran escala (LP), programación lineal entera mixta (MILP) y otros problemas relacionados. Para la solución del modelo, se utilizará la heurística proxy (apply proximity search heuristic) ya que el problema que nos estamos

enfrentando es muy extenso, donde cuenta con 50 nodos o proveedores y no es factible utilizar un algoritmo exacto, ya que este modelo es combinatorio y el tiempo de ejecución sería exponencial, por lo cual es un problema de alta complejidad computacional (NP-hard).

Encontrar una solución óptima puede ser difícil cuando el problema matemático generalmente tiene una relación exponencial, es decir el tiempo necesario es un número elevado a la cantidad de elementos que tenemos, ya que el problema de ruteo es combinatorios y entre más elementos o proveedores tengamos crecer el tiempo computacional, por lo que al tener más nodos más posibles repuestas hay, nos sería imposible de abordar este tipo de problemas de manera exacta y por lo cual este sería un problema NP-Hard.

La búsqueda de proximidad permite consultas o realizar una búsqueda con un enfoque de relaciones basadas entre objetos (soluciones) y la proximidad que se define en función de la ruta más corta, el cual es útil en los casos de búsquedas de una solución de buena calidad y en un tiempo razonable cuando se tiene una instancia tan grande.

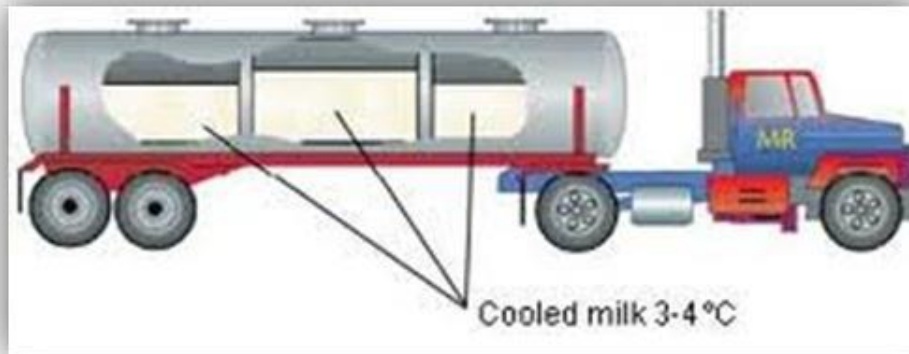
Con base en lo anterior, se realizará una comparación de la programación de ruteo actual del día crítico y la propuesta en términos de distancia lineal recorrida por el carro-tanque.

Por último, se realizará un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta que en este proceso siempre está sujeto a cierta incertidumbre en la determinación de los valores de los parámetros existentes y así modificando el valor de la función objetivo.

6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE LECHE

La empresa objeto de estudio está ubicada en el eje cafetero la cual se dedica al procesamiento de leche cruda y sus derivados para su distribución en la región. Una de sus actividades críticas, es el acopio de leche cruda desde los productores dispersos geográficamente por todo el eje cafetero y zonas aledañas. Esta empresa cuenta actualmente con 90 productores, cuya producción se recolecta en tanques y para esto posee una flota de vehículos con capacidad volumétrica de 21200 litros (doble troque, ver figura 6.1), dos de 10400 litros (camiones) (camión, ver figura 6.2) y seis de 5300 litros (turbos) (turbo, ver figura 6.3); estos vehículos o carrotanques parten desde un único centro de acopio y toda la leche que se recolecta se descarga o deposita en dicho centro para su procesamiento.

Figura 6.1. Doble troque.



Fuente: Produccion, obtencion y criterios de calidad de la leche.2012.

Figura 6.2. Camión.



Fuente: Milksampler.2017.

Figura 6.3. Turbo.



Fuente: Autoline.2018.

La característica del sistema actual de recolección consiste en poseer productores cuya operación de recolección es uno o dos días; esta decisión es tomada en conjunto por el productor y la empresa en la mayoría de los casos, es decir, algunos de ellos lo deciden con base en los siguientes criterios: nivel de producción de leche, lejanía de los predios a visitar y capacidad del almacenamiento en el tanque; donde esta última es más relevante, porque, algunos tanques solo son capaces de almacenar de 1 a 2 días de producción de leche, lo cual en algunos casos para la empresa es necesario generar dos programas de recolección diferentes e independientes entre sí.

Algunas vías presentan dificultades de acceso, es decir, en ciertos casos sólo pueden entrar los carrotanques más pequeños de 5300 litros y en otras vías alternas se permite el acceso a cualquier tipo de vehículo, en esto se va indagar más adelante y se tendrá en cuenta a la hora de realizar la formulación del modelo.

6.1. PROVEEDORES

Los productores como primer eslabón tienen cada uno una producción que oscila entre 113 y 5888 litros; sin embargo, son pocos los proveedores que se les acopia más de 4000 litros y muchas veces los que poseen una producción mayor a 3000 litros tienen dos o más tanques de almacenamiento, cada dos días se deben visitar los 90 productores (ver tabla 6.1) y se recoge en total 131117 litros de leche cruda cada dos días.

Tabla 6.1. Proveedores

Nombre	Producción	Nombre	Producción
proveedor 1	428	proveedor 46	965
proveedor 2	537	proveedor 47	202
proveedor 3	441	proveedor 48	501
proveedor 4	531	proveedor 49	414
proveedor 5	813	proveedor 50	536
proveedor 6	531	proveedor 51	255
proveedor 7	675	proveedor 52	695
proveedor 8	884	proveedor 53	321
proveedor 9	437	proveedor 54	461
proveedor 10	541	proveedor 55	575
proveedor 11	396	proveedor 56	2121
proveedor 12	700	proveedor 57	984
proveedor 13	1977	proveedor 58	864
proveedor 14	3147	proveedor 59	251
proveedor 15	1250	proveedor 60	2821
proveedor 16	2098	proveedor 61	788
proveedor 17	3112	proveedor 62	768
proveedor 18	1263	proveedor 63	560
proveedor 19	1142	proveedor 64	361
proveedor 20	1794	proveedor 65	387
proveedor 21	3778	proveedor 66	300
proveedor 22	2383	proveedor 67	2622

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

6.2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RUTEO

En la actualidad se realiza el ruteo teniendo en cuenta que se debe utilizar la capacidad volumétrica total de los vehículos y por cercanía geográfica, además hay que tener en cuenta que los proveedores en su gran mayoría están comunicados por tramos de carreteras secundarias o terciarias que en ocasiones no están en buenas condiciones. Existen algunos nodos de recolección o productores agrupados en 16 rutas día de por medio (ver tabla 6.3) y 4 Cluster de productores diarios (ver tabla 6.2). Los Cluster de productores diarios son un grupo de productores que se recogen todos los días pero eso no quiere decir que se les mande un carro para poder recoger su producción, si no que estos son grupos de productores que se les añade a las rutas según la programación de la empresa para así formar una ruta.

Tabla 6.2. Cluster Proveedores diarios.

Nombre de conjunto de productores diarios	Nombre	Producción diaria
Alambrado	proveedor 7	675
La esperanza	proveedor 15	1250
	proveedor 18	1263
	proveedor 16	2098
La paloma	proveedor 17	3112
Santa clara	proveedor 68	850

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Tabla 6.3. Rutas día de pormedio.

nombre	producción	viaje
proveedor 1	428	Barcelona
proveedor 2	537	
proveedor 3	441	
proveedor 4	531	
proveedor 5	813	
proveedor 6	531	Barcelona2
proveedor 7	675	
proveedor 8	884	

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Tabla 6.3.1. Continuación de tabla 6.3.

nombre	producción	viaje
proveedor 15	1250	plan 1
proveedor 16	2098	
proveedor 17	3112	
proveedor 18	1263	
proveedor 19	1142	
proveedor 20	1794	
proveedor 21	3778	
proveedor 22	2383	
proveedor 23	4295	
proveedor 28	1433	palmas
proveedor 29	3812	
proveedor 30	392	
proveedor 31	283	
proveedor 32	863	
proveedor 33	1596	
proveedor 42	878	EL tigre
proveedor 43	1700	
proveedor 44	2072	
proveedor 45	377	EL tigre2
proveedor 46	965	
proveedor 47	202	
proveedor 48	501	
proveedor 49	414	
proveedor 50	536	
proveedor 51	255	
proveedor 52	695	
proveedor 53	321	
proveedor 63	560	Pereira
proveedor 64	361	
proveedor 65	387	
proveedor 66	300	
proveedor 67	2622	
proveedor 68	850	

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Tabla 6.3.2. continuacion de tabla 6.3.

nombre	producción	viaje
proveedor 69	790	Pereira2
proveedor 70	2200	
proveedor 71	510	
proveedor 72	1012	
proveedor 81	810	El alto
proveedor 82	2332	
proveedor 83	2698	
proveedor 84	1531	
proveedor 85	1619	
proveedor 9	437	El Aeropuerto
proveedor 10	541	
proveedor 7	675	
proveedor 11	396	
proveedor 12	700	
proveedor 13	1977	
proveedor 14	3147	El Aeropuerto2
proveedor 24	4641	plan 2
proveedor 25	2240	
proveedor 26	3207	
proveedor 15	1250	
proveedor 18	1263	
proveedor 16	2098	
proveedor 27	3258	
proveedor 34	860	Caldas
proveedor 35	3814	
proveedor 36	441	
proveedor 37	802	
proveedor 38	1814	
proveedor 39	227	
proveedor 40	1055	
proveedor 41	624	

Fuente: Informacion proporcionada por la empresa.

Tabla 6.3.3. Continuación de tabla 6.3. Rutas.

nombre	producción	viaje
proveedor 54	461	Tesalia
proveedor 55	575	
proveedor 56	2121	
proveedor 57	984	
proveedor 58	864	
proveedor 59	251	Tesalia2
proveedor 60	2821	
proveedor 61	788	
proveedor 62	768	
proveedor 73	1017	CAI
proveedor 74	864	
proveedor 75	1004	
proveedor 76	1545	
proveedor 77	640	CAI2
proveedor 78	150	
proveedor 79	1339	
proveedor 80	965	
proveedor 86	1033	Plan 3
proveedor 87	1094	
proveedor 88	1165	
proveedor 89	1066	
proveedor 17	3112	
proveedor 90	988	
proveedor 68	850	

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

De igual forma, se debe tener en cuenta que cada tipo de vehículo tiene una lista de productores, en la cual especifica las vías que tiene acceso; las turbos por ser los vehículos más pequeños tienen la ventaja de poder visitar cualquier proveedor (ver tabla 6.4).

Tabla 6.4. Accesibilidad de vehiculos.

Nodo	Nombre	Producción	Clase de vehículos habilitados a recoger la producción
1	proveedor 33	1596	Doble troque, camión y turbo
2	proveedor 42	878	Doble troque, camión y turbo
3	proveedor 43	1700	Doble troque, camión y turbo
4	proveedor 44	2072	Doble troque, camión y turbo
5	proveedor 8	884	Doble troque, camión y turbo
6	proveedor 15	1250	Doble troque, camión y turbo
7	proveedor 16	2098	Doble troque, camión y turbo
8	proveedor 17	3112	Doble troque, camión y turbo
9	proveedor 18	1263	Doble troque, camión y turbo
10	proveedor 19	1142	Doble troque, camión y turbo
11	proveedor 20	1794	Doble troque, camión y turbo
12	proveedor 21	3778	Doble troque, camión y turbo
13	proveedor 22	2383	Doble troque, camión y turbo
14	proveedor 23	4295	Doble troque, camión y turbo
15	proveedor 28	1433	Doble troque, camión y turbo
16	proveedor 29	3812	Doble troque, camión y turbo
17	proveedor 30	392	camión y turbo
18	proveedor 31	283	camión y turbo
19	proveedor 70	2200	camión y turbo
20	proveedor 72	1012	camión y turbo
21	proveedor 1	428	camión y turbo
22	proveedor 2	537	camión y turbo
23	proveedor 3	441	camión y turbo
24	proveedor 4	531	camión y turbo
25	proveedor 5	813	camión y turbo
26	proveedor 6	531	camión y turbo

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Tabla 6.4.1. Continuación de tabla 6.4.

Nodo	Nombre	Producción	Clase de vehículos habilitados a recoger la producción
27	proveedor 7	675	camión y turbo
28	proveedor 51	255	camión y turbo
29	proveedor 52	695	camión y turbo
30	proveedor 53	321	camión y turbo
31	proveedor 63	560	camión y turbo
32	proveedor 64	361	camión y turbo
33	proveedor 65	387	camión y turbo
34	proveedor 66	300	camión y turbo
35	proveedor 67	2622	camión y turbo
36	proveedor 68	850	camión y turbo
37	proveedor 69	790	camión y turbo
38	proveedor 81	810	camión y turbo
39	proveedor 82	2332	camión y turbo
40	proveedor 83	2698	camión y turbo
41	proveedor 84	1531	camión y turbo
42	proveedor 85	1619	camión y turbo
43	proveedor 32	863	camión y turbo
44	proveedor 45	377	turbo
45	proveedor 46	965	turbo
46	proveedor 47	202	turbo
47	proveedor 48	501	turbo
48	proveedor 49	414	turbo
49	proveedor 50	536	turbo
50	proveedor 71	510	turbo

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Como se puede evidenciar, el ruteo puede no ser el más eficiente o no ser el más apropiado para la empresa ya que el programa de recolección de leche cruda se realiza de forma empírica, es decir, el programa está sujeto al criterio del jefe de ruta y al conductor.

La programación de rutas semanales se realiza a través de hojas de cálculo o Excel y por medio de un tablero, donde se informa a los conductores la programación de la semana. En esta empresa cada dos días se repiten las mismas rutas, es decir, los vehículos que operan el domingo vuelven a operar el día martes.

Con el objetivo de entender mejor el ruteo se le denominará el ruteo A al primer día de recolección y ruteo B al segundo día (ver tabla 6.5), en el ruteo A visita 50 proveedores y el B los 46 restantes, dando así la suma de 96 visitas en dos días, hay que tener en cuenta que hay 6 proveedores que se visitan diariamente y por ende el número de visitas es mayor que el de proveedores. El ejercicio de la flota de vehículos es que si hizo la ruta A un lunes al miércoles tiene que hacer la misma, en el cual el martes y jueves debe hacerse la B, para poder realizar la acopiación adecuadamente de toda la leche.

Tabla 6.5. Dias de recoleccion.

DIA A		DIA B	
Barcelona	2750	Tesalia	5005
Barcelona2	2090	Tesalia2	4628
plan1	21115	plan 2	17957
EL tigre	4650	plan 3	9308
EL tigre2	4266	caldas	9637
Pereira	5080	El Aeropuerto	4726
Pereira2	4512	El Aeropuerto2	3147
El alto	8990	CAI	4430
palmas	8379	CAI2	3094
visitas	50	visitas	46
total recogido	61832	total recogido	61932
total recorrido	648,947603	total recorrido	637,253822

Fuente: Informacion proporcionada por la empresa.

La ruta A se realiza generalmente los días lunes, miércoles, viernes y domingo y en la ruta B los días martes, jueves y sábado, sin embargo existen 6 proveedores que se recogen de domingo a sábado.

El jefe de ruta es la persona encargada de realizar el programa semanal de ruteo con base en una plantilla predeterminada hace más de un año y que ha tenido pocas modificaciones a lo largo del tiempo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la empresa tiene una tabla maestra que posee las rutas, los vehículos y los días de la semana para la programación de recolección (ver tabla 6.6).

Tabla 6.6. Programacion semanal.

Semana 11								
Rutas	CTQs	L	M	W	J	V	S	D
Barcelona	884	884		884		884		884
Barcelona2	884	884		884		884		884
plan 1	200	200		200		200		200
palmas	330	330		330		330		330
EL tigre	100	100		100		100		100
EL tigre2	100	100		100		100		100
Pereira	220	220		220		220		220
Pereira2	220	220		220		220		220
El alto	282	282		282		282		282
El Aeropuerto	884		884		884		884	
El Aeropuerto2	884		884		884		884	
plan 2	200		200		200		200	
caldas	330		330		330		330	
Tesalia	100		100		100		100	
Tesalia2	100		100		100		100	
CAI	220		220		220		220	
CAI2	220		220		220		220	
Plan 3	282		282		282		282	
Diarias								
Alambrado	200	200	200	200	200	200	200	200
La esperanza	884	884	884	884	884	884	884	884
La paloma	200-282	220	282	220	282	220	282	220
Santa clara	220-282	200	282	200	282	200	282	200

Fuente: Informacion proporcionada por la empresa.

En la tabla anterior se pueden observar todas las rutas que se realizan cada dia de la semana, esta programacion se le entrega a cada conductor y a al personal que se encarga de la recepcion de la materia prima, es decir, este es un medio de comunicaci3n para que todos tengan conocimiento de operaci3n de recoleccion.

6.3. UBICACI3N DE PROVEEDORES

La empresa objeto de estudio tiene 90 proveedores distribuidos en los departamentos de Caldas, Risaralda, Valle y Quind3o, en la cual estan deben ser visitados cada uno de estos, en algunos casos se visitan cada dos dias o cada dia

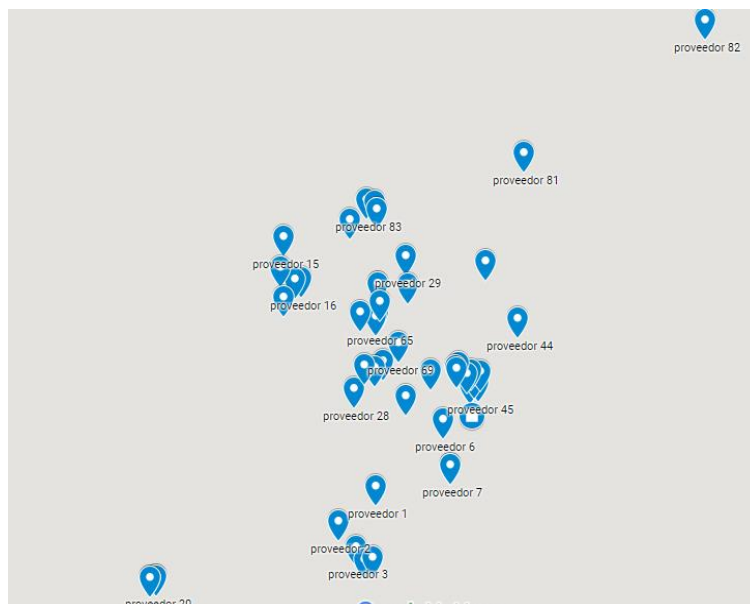
según la comodidad de este y razones que se hablaron anteriormente, día A (Ver figura 6.4), y B (Ver figura 6.5).

Figura 6.4. Proveedores visitados en día A.



Fuente: informacion suministrada por la empresa.

Figura 6.5. Proveedores visitados en día B.



Fuente: informacion suministrada por la empresa.

6.4. COSTO DE RECOLECCIÓN

El costo se obtiene de la tabla (ver tabla 6.7), donde esta muestra lo que se paga por flete por cada litro de leche recogido y esto se le descuenta al proveedor de leche.

La empresa saca la longitud del trayecto planta-finca-planta de cada proveedor y se busca el precio a pagar o descuento por litro de leche recolectado. El descuento por flete a productores se hace conforme al decreto 616 del 2012 y es de obligatorio cumplimiento para toda empresa procesadora de leche cruda e intermediario de este producto.

Tabla 6.7. Planta-Finca-Planta.

Tabla de descuento por transporte			
COSTO/LITRO RUTA			
PESOS (\$)/LITROS /RANGO DE KMS.			
rango de ruta KMS	tracto camión	camión grande	camión pequeño
0-25	11	20	41
26-50	11	27	50
51-75	12	32	58
76-100	15	36	65
101-125	15	38	76
126-150	19	42	84
151-175	20	49	94
176-200	21	53	100
201-225	24	55	107
226-250	27	60	116
251-275	27	63	129
276-300	29	67	133
301-325	32	72	142
326-350	35	76	155
351-375	36	78	161
376-400	36	84	169

Nota 1: El rango se refiere al kilometraje total
Planta-Finca-Planta

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se calculan los costos por ruta y se le descuenta este valor al precio que se le paga por litro de leche, en el caso de que el proveedor entregue más leche en planta no habrá sobre costo en el flete pero si el aumento es sospechoso se hará indagaciones en el asunto y se pueden abrir procesos disciplinarios al proveedor. En este problema específicamente no es muy relevante el tema de minimizar el costo, sino la distancia total de recolección de leche cruda.

6.5. VARIABLE CRÍTICA A MINIMIZAR

En la empresa se evidencia la necesidad de tener un ruteo que ayude minimizar la distancia recorrida por la flota de vehículos, ya que la técnica o la forma en que se diseñan las rutas no es la adecuada, esto conlleva a que los vehículos no tenga un conjunto de rutas óptimas, por lo cual se debe diseñar un algoritmo que contribuya a minimizar la distancia total recorrida de la flota.

6.6. SUPUESTOS

El modelo propuesto en este trabajo de grado tiene algunos supuestos y limitaciones implícitas que se tomaron para poder elaborar el modelo de programación lineal, las cuales se presentaran a continuación.

1. La matriz de costos es simétrica.
2. Se tiene una producción conocida por parte de los proveedores.
3. Se debe recoger toda la producción de los proveedores.
4. Los proveedores solo pueden ser atendidos por un vehículo.
5. Existe un único centro de acopio.
6. Cada vehículo comienza el recorrido desde depósito y debe volver a él.
7. La Flota de vehículos es heterogénea, es decir, cada tipo de vehículo tiene una capacidad volumétrica.
8. Los vehículos puede o no hacer uso de su capacidad.
9. No se consideran ventanas de tiempo, es decir, se dispone de un intervalo de tiempo suficiente para atender a los proveedores o productores en cualquier momento del día.

6.7. ALCANCES DEL RUTEO

Este trabajo de grado se enfocará en el día crítico, el cual se decidirá bajo el criterio del día que más longitud recorre la flota de vehículos en ruta, ya que es donde puede haber la mayor oportunidad de mejora o que se vea una reducción de kilómetros en la ruta.

Con el fin de decidir si se va a realizar el ruteo de día A o del B se recogieron datos de longitud recorrida de los vehículos por viaje, en este caso el criterio para escoger el día crítico sería el que tenga el mayor número de visitas por lo cual el día A tiene 50 productores a recoger su producción de leche cruda (ver tabla 6.9).

Tabla 6.9. Criterios de de critico.

critorio	A	B	total del día A y B
litros (leche)	61832	61932	123764
visitas	50	46	96
distancia	648,9302436	637,283735	1311,44869

Fuente: Informacion proporcionada por la empresa.

Por lo observado en la tabla anterior el día A tiene más distancia en kilometros recorridos y ocurren más visitas a proveedores, por lo cual este trabajo se centrará en este día en particular.

7. FORMULACIÓN DEL MODELO

Para poder realizar el modelo se tomaron datos utilizando un GPS tipo GPSMAP® 64s apoyado por el software de MapSource el cual permite leer los datos arrojados por este y convertirlos en documentos tipo GPX. Como soporte se utilizó la App de grabador de viajes GPS y para visualizar los puntos y rutas se debió recurrir a GoogleMaps® y GoogleMyMaps®; con estas herramientas se pudo recoger todos los insumos o datos de entrada para así formular el modelo.

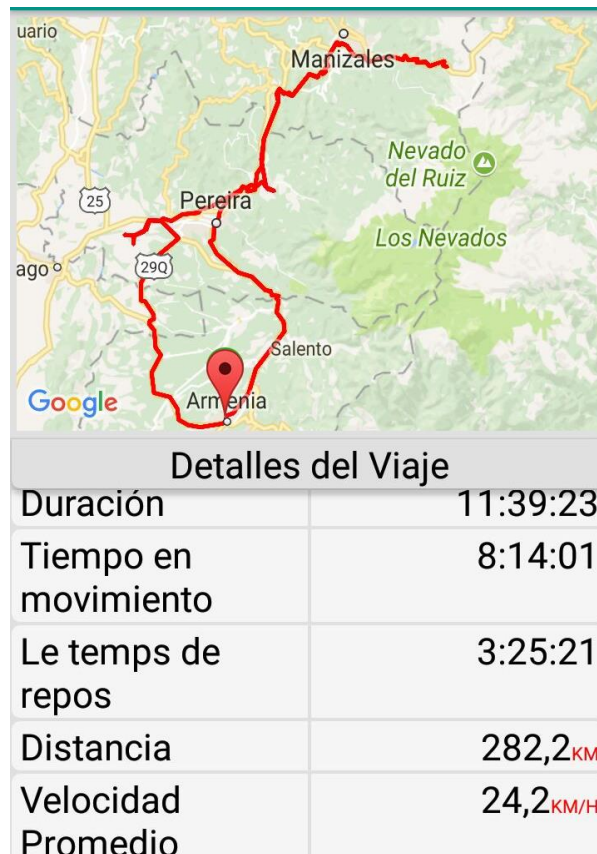
En este orden de ideas, para tomar los datos se recorrieron 16 rutas con el GPS y la App, grabando la ruta y tomando datos de cada punto o proveedor que hay (ver figura 7.1) y teniendo como datos auxiliares o respaldo los del APP (ver figura 7.2).

Figura 7.1. GPS 64s



Fuente: GARMIN

Figura 7.2. App grabador viaje GPS

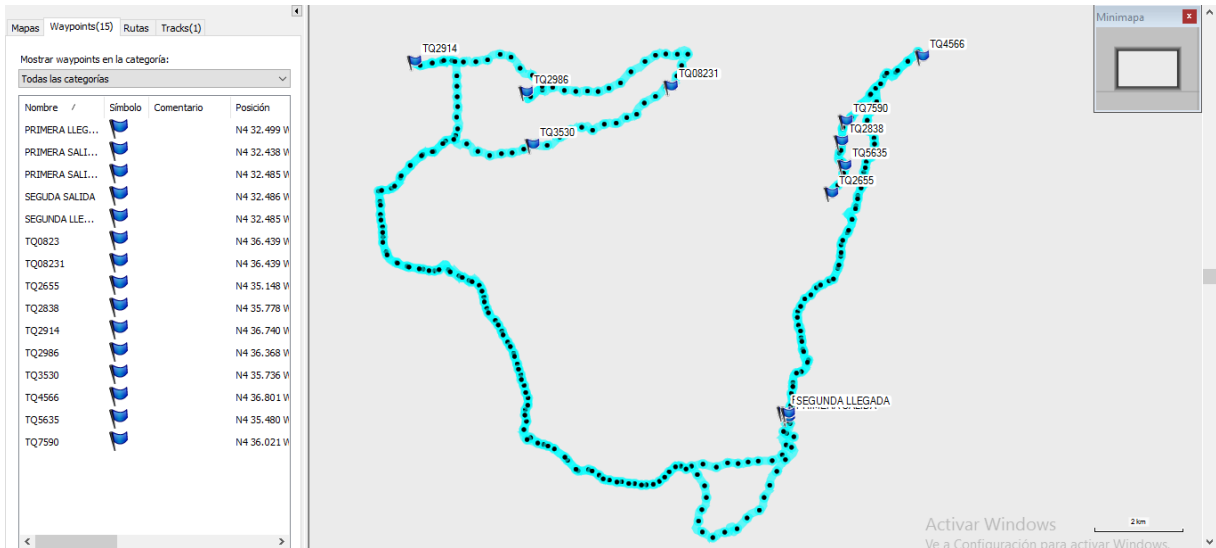


Fuente: propia

Al tener los datos anteriores, no se pueden leer fácilmente desde el GPS por lo cual se utilizan MapSource (ver figura 7.3) y se crea un archivo GPX, el cual bota información de todos puntos que autoguardado e información de este (ver figura 8.4).

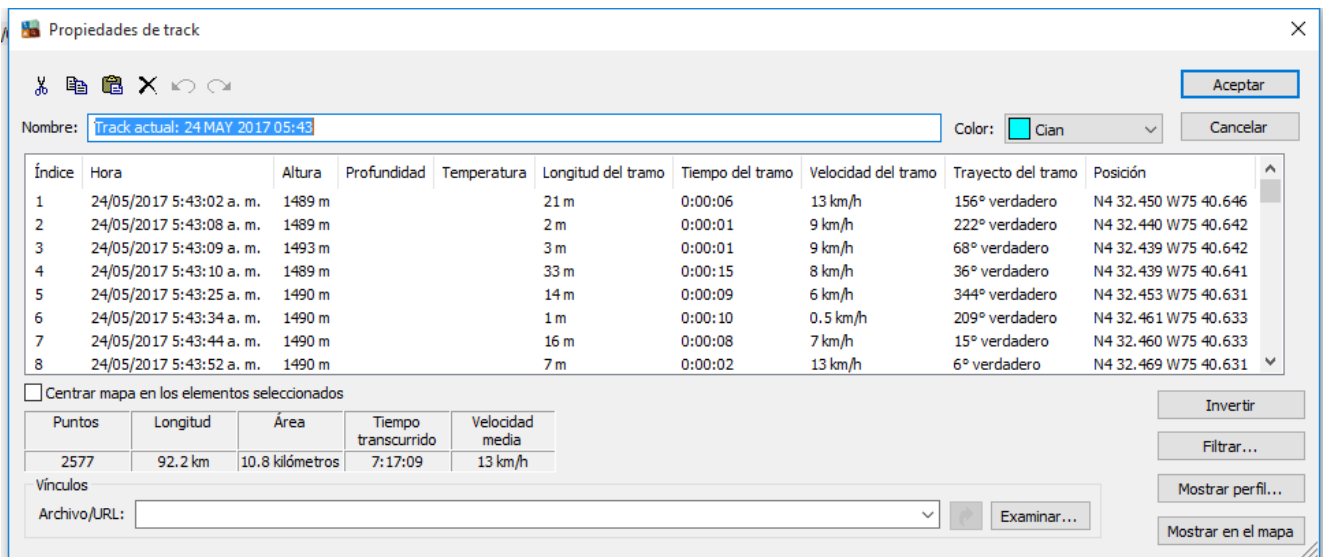
Con las coordenadas obtenidas de Mapsouces atra vez del archivo GPX se realiza una base de datos de todas las ubicaciones en Excel la cual se puede exportar a GoogleMaps®, se proporcionan los datos necesarios para realizar la matriz de distancias (ver anexo 7.1 [MATRIZ DISTANCIAS.xlsx](#)) y el mapa de todos los proveedores (ver imagen 7.2 y 7.3), para efectos de organizar los proveedores y que no salieran tantas restricciones de acceso de vehículos a algunos de estos se organizó la matriz por nodos, se debe tener en cuenta que por este motivo todas las respuestas e informes que se presentaran en este trabajo están en función de los nodos y no de los proveedores.

Figura 7.3. MapSource.



Fuente: propia

Figura 7.4. Propiedades MapSource.



Fuente: propia

7.1 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El problema de ruteo de vehículos heterogéneo capacitado o HFCVRP (Heterogeneous Fleet Capacited Vehicle Routing Problem) consiste en diseñar un conjunto de rutas empleando una flota de vehículos de diferente capacidad hacia un conjunto de clientes dispersos geográficamente.

Para formular este modelo matemático se tuvo en cuenta como referentes los trabajos propuesto por Baldacci et al. (2007), el de Baldacci R, Battarra M, Vigo D. (2008), Salas (2012) y Firouzi (2016), es decir que no se utilizó un modelo ya establecido por estos autores ya que en algunos casos presentaban dificultades en instancias de más de 15 nodos, aunque se tuvieron en cuenta algunas restricciones en el modelo final.

Supuestos

El modelo propuesto en este trabajo de grado tiene algunos supuestos y limitaciones implícitas que se tomaron para poder elaborar el modelo de programación lineal, las cuales se presentan a continuación.

1. Se analiza un único periodo (día crítico).
2. La matriz de costos es simétrica.
3. Se tiene una producción conocida por parte de los productores donde se debe recoger toda su producción.
4. Los productores solo pueden ser atendidos por un vehículo.
5. Existe un único centro de acopio.
6. Cada vehículo comienza el recorrido desde el depósito y debe volver a éste.
7. La flota de vehículos es heterogénea, es decir, cada tipo de vehículo puede tener asociado tanto un costo fijo como un costo variable proporcional a la distancia.
8. Los vehículos pueden o no hacer uso de su capacidad.
9. No se consideran ventanas de tiempo, es decir, se dispone de un intervalo de tiempo suficiente para atender a los proveedores o productores en cualquier momento del día.

Conjuntos

V= Conjunto de nodos.

K= Conjunto de vehículos.

Parámetros:

C_{ij} = Distancia recorrida entre los nodos.

Q_k = Capacidad del vehículo k.

P_i = Producción de proveedor.

Variables de decisión:

$X_{ij}^k = 1$, si el carro pasa por la ruta de i hacia j y 0 de lo contrario.

Y_{ij} = variable que denota la cantidad de producto que sale del proveedor i hacia el proveedor j (litros).

W_i^k = variable que denota la cantidad de producto que el vehículo k sale del proveedor i (litros).

U_i^k = son variables continuas adicionales que representan la carga del vehículo k después de visitar al cliente i.

Modelo

$$Zmin = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} C_{ij} * X_{ij}^k ; \quad (1)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{ij}^k = 1; \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{K=9} X_{ij}^k \geq 0; \quad \forall j \in V \setminus \{16,17,18 \dots .50\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{K=8} X_{ij}^k \geq 0; \quad \forall j \in V \setminus \{44, 45 \dots .50\} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{K=7} X_{ij}^k \geq 0; \quad \forall j \in V \setminus \{44, 45 \dots 50\} \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ip}^k - \sum_{j \in V} X_{pj}^k = 0; \quad \forall p \in V \setminus \{0\} \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{0j}^k \leq 1; \quad \forall j \in V \quad (7)$$

$$\sum_{i \in V} Y_{ij} - \sum_{i \in V} Y_{ji} = P_j; \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (8)$$

$$W_i^k = P_i * \sum_{j \in V} X_{ij}^k; \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} W_i^k = P_i; \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in V} W_i^k = Q_k; \quad k \in K \quad (11)$$

$$U_i^k - U_j^k + Q_k * X_{ij}^k \leq Q - P_i; \quad \forall i, j \in V \setminus \{0\}, k \in K \quad (12)$$

$$P_i \leq U_i^k \leq Q_k; \quad \forall i \in V \setminus \{0\}, k \in K \quad (13)$$

$$X_{ij}^k \in \{0\}; \quad \forall i, j \in V, i \neq j, \forall k \in K \quad (14)$$

$$Y_{ij}^k \geq 0 \quad \forall i, j \in V, i \neq j, \forall k \in K \quad (15)$$

$$W_i^k \geq 0 \quad i \in V, \forall k \in K \quad (16)$$

$$U_i^k \geq 0$$

$$i \in V, \forall k \in K \quad (17)$$

La ecuación (1) representa la función objetivo y tiene como finalidad minimizar distancia total recorrida por la flota de vehículos. La restricción (2) asegura que los proveedores sean visitados por al menos un vehículo. La restricciones (3), (4) y (5) en este grupo restricciones que limita el tránsito de algunos vehículos por ciertos nodos o proveedores. La restricción (6) asegura que cada vehículo que sale del depósito o nodo 0 regrese a este. La restricción (7) se indica el número máximo de vehículos tipo k que hay disponibles para salir del centro de acopio. La restricción (8) restricciones son las de flujo de mercancía, especifican que la diferencia entre la cantidad de bienes que lleva el vehículo antes de visitar a un proveedor i y después de dejarlo sea igual a la demanda de ese mismo proveedor j. La restricción (9) imponen que el cliente i pueda ser acopiado por el vehículo K y solo si K pasa por i. La restricción (10) obliga que al menos un vehículo visite a cada nodo. La restricción (11) impone que la cantidad recolectada en cada viaje no exceda la capacidad del vehículo. La restricción (12) y (13) elimina los sub-tour. La restricción (14) indica que la variable X_{ij}^v es binaria. La restricciones (16), (17) y (18) asegura que se cumpla la no negatividad de la variables $Y_{i,v}$, W_i^k y U_i^k .

7.2 APLICACIÓN DEL ALGORITMO HFCVRP EN EL PROGRAMA GUSEK

En esta parte se validara el modelo anterior con los respectivos datos recolectados, donde para esto se utilizara el programa Gusek (GNU Linear Programming Kit), ya que la instancia es muy extensa y la complejidad de un modelo de ruteo es NP-hard, es decir que el problema de optimización se solucionaría en un tiempo razonable.

El programa donde se va realizar la validación de modelo, provee una interfaz gráfica en el cual se pueden observar las iteraciones realizadas, el número de variables (136.273), el tiempo utilizado (75.000), número de restricciones (22729), el método de solución (PROXY), si es factible o no, entre otros atributos del modelo (ver figura 7.5).

Figura 7.5. Interfaz de Gusek.

```

C:\Users\Usuario\Desktop\modelado con gusek\problemas gusek\modelotrabajodegrado.mod - Gusek [6 of 7]
File Edit Search View Tools Options Language Buffers Help

1 colantama.mod 2 MATRIZA1.mod 3 colantama1.mod 4 matriz12.mod 5 xco.mod 6 modelotrabajodegrado.mod 7 mzt11.mod

29
30 minimize costo_trans:sum{i in V, j in V, k in K:i<>j}(C[i,j]*X[i,j,k]);
31
32 #restricciones
33
34 subject to mandauno{j in V:j>=1}:sum{k in K, i in V:i<>j}(X[i,j,k])>=1;
35
36 subject to especial1{j in V:j>=16}:sum{i in V, k in K:i<>j}(X[i,j,8])=0;
37
38 subject to especial2{j in V:j>=44}:sum{i in V, k in K:i<>j}(X[i,j,8])=0;
39
40 subject to especial3{j in V:j>=44}:sum{i in V, k in K:i<>j}(X[i,j,7])=0;
41
42 subject to constrain1{p in V, k in K:p>=1}:sum{i in V}(X[i,p,k])-sum{j in V}(
43 X[p,j,k])=0;
44
45 subject to proveedore{k in K}:sum{j in V:j>=1}(X[0,j,k])<=1;
46
47 subject to unive{j in V:j>=1}:sum{i in V}(Y[i,j])-sum{i in V}(Y[j,i])=P[j];
48
49
50 #nuevos
51 subject to acopiasolo{i in V, k in K:i>=1}:W[i,k]=P[i]*(sum{j in V}(X[i,j,k]
52 ));
53
54 subject to ctsobliga{i in V:i>=1}:sum{k in K}(W[i,k])=P[i];
55
56 subject to capacivehl{k in K}:sum{i in V:i>=1}(W[i,k])<=Q[k];
57
58 #sub-rotas
59
60 subject to prim{i in V, j in V, k in K:i<>j and i<>0 and j<>0}:U[j,k]-U[i,k]+
61 Q[k]*X[i,j,k]<=Q[k]-P[i];

```

```

Solving LP relaxation...
GLPK Simplex Optimizer v4.60
19463 rows, 22729 columns, 136273 non-zeros
0: obj = 0.00000000e+00 inf = 6.327e+04 (101)
500: obj = 7.76765387e+02 inf = 2.228e+02 (20) 1
857: obj = 1.265526650e+03 inf = 3.829e-13 (0) 1
* 1000: obj = 1.256123209e+03 inf = 7.991e-14 (8183) 1
* 1500: obj = 6.639697568e+02 inf = 1.263e-13 (8037) 2
* 2000: obj = 3.112368549e+02 inf = 6.528e-14 (4752) 3
* 2500: obj = 2.157945919e+02 inf = 1.895e-13 (2988) 3
* 3000: obj = 1.897867309e+02 inf = 1.798e-13 (419) 3
* 3121: obj = 1.895400000e+02 inf = 1.031e-13 (0) 1
OPTIMAL LP SOLUTION FOUND
Integer optimization begins...
Gomory's cuts enabled
MIR cuts enabled
Cover cuts enabled
Clique cuts enabled
Constructing conflict graph...
Conflict graph has 19329 + 0 = 19329 vertices
+ 3121: mip = not found yet => -inf (1: 0)
Applying PROXY heuristic...
Proxy's time limit set to 125000 seconds.
Proxy's relative improvement set to 1.00%.
Searching for a feasible solution...
>>>> First solution = 8.130400e+02; 81.3 Mb
Starting proximity search...
>>>> It: 1: mip = 7.715900e+02; elapsed time 153.6 sec.s
>>>> It: 2: mip = 7.484900e+02; elapsed time 200.1 sec.s
>>>> It: 3: mip = 7.398200e+02; elapsed time 377.5 sec.s
>>>> It: 4: mip = 7.323200e+02; elapsed time 415.8 sec.s
>>>> It: 5: mip = 7.247200e+02; elapsed time 562.4 sec.s
>>>> It: 6: mip = 7.128900e+02; elapsed time 616.6 sec.s
>>>> It: 7: mip = 7.038200e+02; elapsed time 896.5 sec.s
>>>> It: 8: mip = 6.983500e+02; elapsed time 1876.5 sec.s
>>>> It: 9: mip = 6.884100e+02; elapsed time 2153.6 sec.s
>>>> It: 10: mip = 6.776200e+02; elapsed time 2222.9 sec.s
>>>> It: 11: mip = 6.698600e+02; elapsed time 2584.6 sec.s
>>>> It: 12: mip = 6.621700e+02; elapsed time 2780.0 sec.s
>>>> It: 13: mip = 6.531900e+02; elapsed time 3001.9 sec.s
>>>> It: 14: mip = 6.458000e+02; elapsed time 3123.2 sec.s
>>>> It: 15: mip = 6.380000e+02; elapsed time 3570.3 sec.s
>>>> It: 16: mip = 6.281800e+02; elapsed time 3679.4 sec.s
>>>> It: 17: mip = 6.152200e+02; elapsed time 3708.8 sec.s
>>>> It: 18: mip = 6.055400e+02; elapsed time 4581.6 sec.s
>>>> It: 19: mip = 5.986700e+02; elapsed time 12098.2 sec.s
>>>> It: 20: mip = 5.902800e+02; elapsed time 18337.5 sec.s
>>>> It: 21: mip = 5.818600e+02; elapsed time 42062.1 sec.s
>>>> It: 22: mip = 5.696200e+02; elapsed time 42696.5 sec.s
>>>> It: 23: mip = 5.636200e+02; elapsed time 42754.6 sec.s
>>>> It: 24: mip = 5.553500e+02; elapsed time 50001.5 sec.s
>>>> It: 25: mip = 5.495400e+02; elapsed time 61547.6 sec.s
>>>> It: 26: mip = 5.437500e+02; elapsed time 69862.2 sec.s

```

Cursor: line[55] col[1] Selection: [0]lines [0]chars [INS] [CR+LF] File: modelotrabajodegrado.mod, 204 lines

Fuente: propia

El problema se debe resolver en un tiempo razonable, por el cual se escogió el programa GUSEK o GLPK (Kit de Programación Lineal de GNU) es un paquete de software destinado a resolver problemas de gran escala (Instructivo de GLPK, 2012: 2) y es de libre distribución, el cual este solver puede ser de mucha ayuda para este tipo de problemas con una alta complejidad computacional.

El programa GUSEK presenta 4 opciones de solución en el cual hay varios heurísticos, uno de ellos denominado búsqueda de proximidad, indicado por el nombre proxy. Para efectos de solución del modelo, se utilizó este heurístico ya que dio una solución de buena calidad en un tiempo razonable. El modelo se corrió con los datos del problema que se está abordando en el trabajo de grado generando 3 diferentes tiempos (ver tabla 7.1)

Tabla 7.1. Comparación de heurísticos Gusek.

Método	tiempo de computo	Gap
proxy	700	31%
	7000	11%
	70000	0%
bestb	700	27%
	7000	27%
	70000	27%
pcost	700	No se encontró solución factible.
	7000	No se encontró solución factible.
	70000	No se encontró solución factible.
fpump	700	No se encontró solución factible.
	7000	37%
	70000	30%
drtom	700	No se encontró solución factible.
	7000	37%
	70000	30%

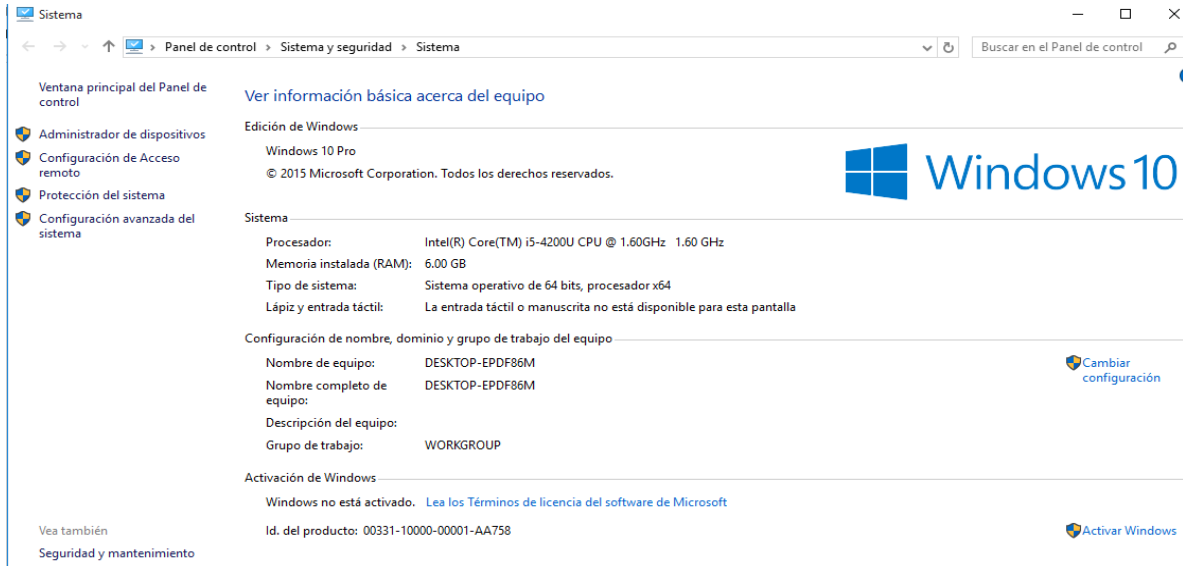
Fuente: propia.

Se puede demostrar que el heurístico que mejor se comporta en Gusek o proporciona una respuesta de mejor calidad es la búsqueda de proximidad en un tiempo establecido de 70000 segundos, los demás métodos de solución dan un gap muy alto, por lo cual no se van a tener en cuenta al momento de realizar la propuesta de ruteo.

Al heurístico se le da tiempo correspondiente a 70.000 segundos para las búsqueda en el cual nos arroja un informe (ver anexo 7.2 [OUTPUT MODELO GUSEK.sol](#)) (ver anexo hipervínculo 7.3 [modelo HFCVRP.txt](#)).

Las características básicas del computador donde se corrió el algoritmo en Gusek son: procesador de 1.60 GHz, 6.00 GB de memoria RAM, cuenta con una licencia de Windos 10 pro y un sistema operativo de 64 bits (ver figura 7.6).

Figura 7.6.características del computador.



Fuente: información básica computador Dell Inspiron 3437.

8. RESULTADOS DEL MODELO Y COMPARACIÓN CON EL MODELO ACTUAL

En este se capítulo se presentara la comparación entre el ruteo actual de la empresa caso de estudio y la propuesta de ruteo que se desarrolló en este trabajo, en el cual se presentaran las mejoras y la programación de los dos ruteos.

El ruteo actual comprendía de 9 rutas las cuales son recogidas por la flota de vehículos mencionada en la caracterización (ver tabla 8.1).

Tabla 8.1. Rutas día A.

ruteo actual				
ruta	Capacidad volumétrica	Volumen recogido	Distancia	programación de rutas (Custer)
Barcelona	5500	2750	61.692	Proveedores: 1, 2, 3, 4, 5
Barcelona2	5500	2090	22.760	Proveedores: 6, 7, 8
plan 1	21200	21115	148.178	Proveedores: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
EL tigre	5500	4650	73.169	Proveedores: 42, 43, 44
EL tigre2	5500	4266	14.957	Proveedores: 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53
Pereira	5500	5080	56.830	Proveedores: 63, 64, 65, 66, 67, 68
Pereira2	5500	4512	43.399	Proveedores: 69, 70, 71, 72
El alto	10400	8990	155.251	Proveedores: 81, 82, 83, 84, 85
palmas	10400	8379	72.710	Proveedores: 28, 29, 30, 31, 32, 33
total	75000	61832	648.948	

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

El ruteo actual tiene 648.948 kilómetros lineales los cuales son realizados por una flota heterogénea conformada por 9 rutas (ver anexo 8.1 [RUTEO ACTUAL.xlsx](#)).

El ruteo propuesto en el trabajo de grado dio 643.75, en este nuevo ruteo se utilizaron 7 vehículos de los 9 en uso en la actualidad en la empresa caso de estudio (ver anexo 8.2 [MODELO PROPUESTO.xlsx](#)) (ver tabla 8.2), el cual se disminuiría la longitud lineal de la ruta en un 16.21% y se necesitaría un 22.22% menos de vehículos con respecto al ruteo actual de la empresa caso de estudio.

Tabla 8.2. Propuesta día A .

ruteo propuesto				
ruta	Capacidad volumétrica	Volumen recogido	Distancia	programación de rutas (Custer)
Camión	10400	10257	83.946	Proveedores: 33, 68, 30, 31, 32, 28, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 7, 6
Turbo	5500	4842	130.781	Proveedores: 43, 81, 82
Doble-troque	21200	21115	144.057	Proveedores: 16, 17, 15, 18, 19, 21, 20, 22, 23
Turbo	5500	5154	43.709	Proveedores: 51, 70, 71, 72, 65, 69
Turbo	5500	5189	44.361	Proveedores: 43, 64, 29, 52
Camión	10400	10208	69.282	Proveedores: 63, 66, 67, 42, 83, 84, 85
Turbo	5500	5067	27.621	Proveedores: 45, 44, 48, 49, 50, 47, 46
Total	64000	61832	543.760	

Fuente: Propia .

9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el fin de entender mejor el comportamiento del modelo HFCVRP propuesto, se realizó un análisis de sensibilidad que muestra cuál es el impacto en la función objetivo al variar los parámetros de modelo como: cantidad de producto a recoger y la cantidad de vehículos de la capacidad volumétrica de 5300, 10400 y 21200.

Según Pannell Los valores de los parámetros y las suposiciones de cualquier modelo están sujetos a cambios, la incertidumbre es una de las principales razones por las cuales el análisis de sensibilidad es útil para tomar decisiones o recomendaciones.

9.1 VARIACIÓN EN LA FLOTA DE VEHÍCULOS

Con el fin de evaluar el impacto que hay en la función objetivo al cambiar el parámetro de la capacidad de vehículos que van a acopiar la leche, se crearon 3 posible escenarios (ver tabla 9.1), (ver tabla 9.2) y (ver tabla 9.3).

Para evaluar y realizar el análisis de sensibilidad de corrió el modelo 70000 segundos, modificando las variables según cada escenarios planteados: escenario 1 (ver anexo 9.1 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 1\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 1.sol](#)), escenario 2 (ver anexo 9.2 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 2\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 2.sol](#)) y escenario 3 (ver anexo 9.3 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 3\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 3.sol](#)). Estos son los informes de gusek los cuales nos dan el ruteo o la respuesta al escenario correspondiente y después de su previo análisis nos da las siguientes resultados: escenario 1 (ver anexo 9.4 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 1\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 1.xlsx](#)), escenario 2 (ver anexo 9.5 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 2\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 2.xlsx](#)) y escenario 3 (ver anexo 9.6 [sensitivity analysis\Cambio de flota vehiculos\escenario 3\Informe de gusek del cambio de flota vehiculos escenario 3.xlsx](#)).

Tabla 9.1. Escenario 1.

Vehículo	Capacidad
1	5300
2	5300
3	5300
4	10400
5	10400
6	10400
7	21200
Resultado de función objetivo: 585.36	

Fuente: Propia .

Tabla 9.2. Escenario 2.

Vehículo	Capacidad
1	5300
2	10400
3	10400
4	10400
5	10400
6	21200
Resultado de función objetivo: 534.19	

Fuente: Propia .

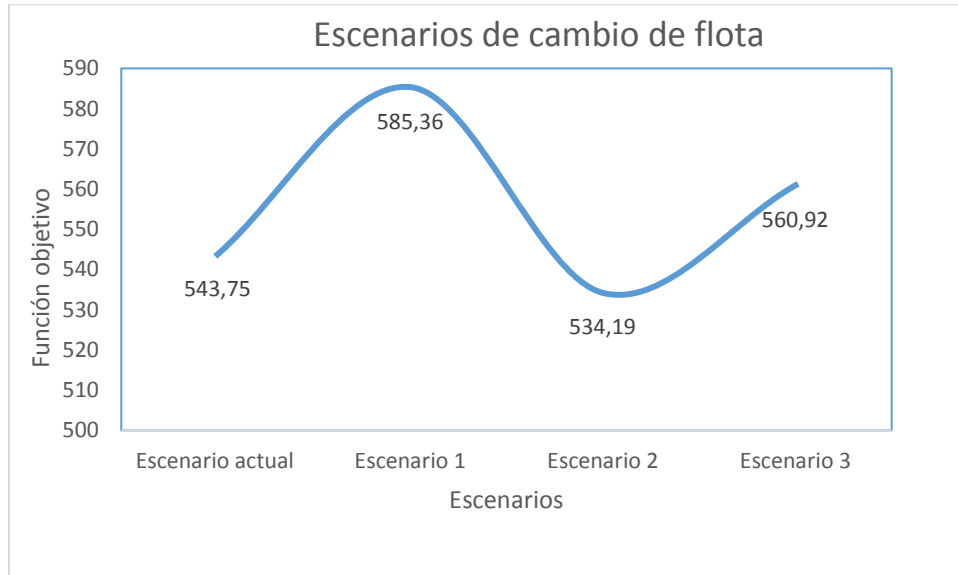
Tabla 9.3. Escenario 3.

Vehículo	Capacidad
1	5300
2	10402
3	10400
4	10400
5	21200
6	21200
Resultado de función objetivo: 560.92	

Fuente: Propia .

Se puede evidenciar que el escenario 2, fue el que dio uno mejor valor en la función objetivo e incluso menor que el escenario actual sin modificar (ver figura 9.1), esta figura representa la variación de la función objetivo a medida que la capacidad volumétrica de la flota cambia. Se puede concluir que se encuentra un mayor ahorro al tener la flota compuesta de 4 camiones, 1 doble-troque y 1 turbo. El modelo propuesto da una reducción del 22.22% de la flota con respecto al modelo actual este tuvo que iterar la posibilidad de que hubiera otras combinaciones de vehículos dentro de la flota que se tiene actualmente en la empresa, ya que en el modelo se le dio la posibilidad que se seleccionaran el conjunto de vehículos que nos dieran mejor resultado y el modelo lo que hizo fue buscar la combinación de nodos y de vehículos que dieran el menor valor de función objetivo en el rango de tiempo que se dio, por lo que se puede justificar que no se encontró un escenario de forma significativa la función objetivo.

Figura 9.1 Escenarios de cambio de flota.



Fuente: Propia .

9.2 CANTIDAD DE PRODUCTO A RECOGER

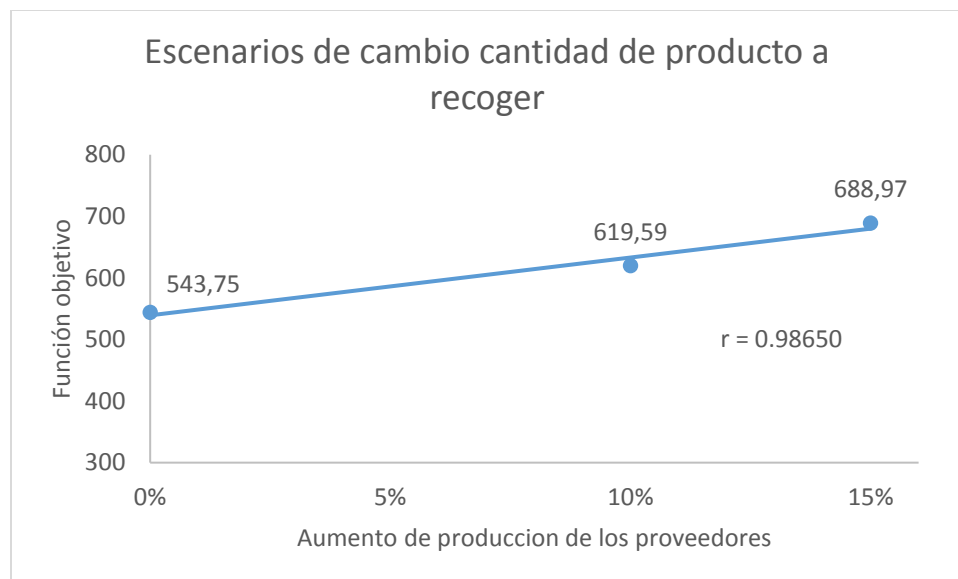
Con el fin de evaluar cuál es el impacto en la función objetivo si la producción de leche sube en los proveedores y por ende se acopiaría mucho más producto, se realizaron 2 escenarios uno en el cual se incrementó el producto recogido en un 10% y otro en un 15%.

Para llegar a los resultados se corrió 70000 segundos, modificando las variables según cada escenarios planteados: escenario 2 (ver anexo 9.7 [sensitivity analysis\aumento de produccion de los proveedores\escenario 1\Informe de gusek con aumento del 10%.sol](#)) y escenario 2 (ver anexo 9.8 [sensitivity analysis\aumento de produccion de los proveedores\escenario 2\Informe de gusek con aumento del 15%.sol](#)), estos son los informes de gusek los cuales nos dan el ruteo o la respuesta al escenario correspondiente y después de su previo análisis nos da las siguientes resultados: escenario 1 (ver anexo 9.9 [sensitivity analysis\aumento de produccion de los proveedores\escenario 1\Informe de gusek con aumento del 10%.xlsx](#)) y

escenario 2 (ver anexo 9.10 [sensitivity analysis\aumento de produccion de los proveedores\escenario 2\Informe de gusek con aumento del 15%.xlsx](#)).

Se puede concluir que ningún escenario planteado genero una disminución en la función objetivo (ver figura 9.2), se puede encontrar que hay una correlación positiva en este caso, el cual es casi perfecta entre el porcentaje que aumenta la cantidad de leche a recoger y el valor de la función objetivo.

Figura 9.2 Escenarios de aumento de produccion de los proveedores.



Fuente: Propia .

10. CONCLUSIONES

En la empresa caso estudio se encontró deficiencias en la forma en la cual se diseñaba el ruteo, ya que el ruteo se organiza de manera empírica solo teniendo en cuenta la cercanía por experiencia en el terreno, solo se utiliza para programar las rutas una hoja de cálculo y un tablero, por lo cual no se tiene una buena herramienta para diseñar un ruteo adecuado.

El modelo matemático de programación lineal entera mixta fue diseñado teniendo en cuenta las restricciones que se tiene en la empresa, se tuvo que realizar un modelo el cual encontrara una respuesta un tiempo razonable ya que el HFCVRP clásico presentaba problemas que fueron evidentes al momento de correr una cantidad grande de nodos, no se entró a este tema ya que no está dentro de los alcances del trabajo de grado pero sin embargo se puede evidenciar que este problema es NP-hard el cual tiene alta complejidad computacional.

En esta empresa de la región cafetera se pudo evidenciar que hay un problema en el ruteo tanto como en la recolección de materia prima como en la distribución del producto pero se decidió indagar en la recolección de leche ya que es un problema no tan abordado, ya que no se tiene una técnica apropiada para diseñar las rutas y por consiguiente podrían incurrir en un sobre costo.

Para la recopilación de la información que contiene este trabajo de grado se tuvo que caracterizar casi todo desde cero pero con apoyo de la empresa y GPS de esta misma, ya que el sistema de información que se tiene no es muy bueno o está incompleto, no se contaba con coordenadas o una forma de ubicarlos en un mapa, la información de la producción de los proveedores ya se tenía con anterioridad, la cual debe estar clasificada como confidencial, por lo cual no se revelo ningún mapa o ubicación que no fuera de forma digital.

Se formuló un modelo teniendo en cuenta todas las condiciones del problema ya mencionadas partiendo de varios trabajos que han investigado en el rutero de flota heterogénea y agregándole la restricción que limitan el tránsito de algunos vehículos por cierto nodos, ya que algunas carreteras no tiene la capacidad de albergar un vehículo tan robusto o grande como son los camiones o doble troques.

Este trabajo presento una propuesta de ruteo el cual se solucionó mediante búsqueda de aproximación, el cual es un método heurístico, para ello se corrió en el programa Gusek o GLPK (Kit de Programación Lineal de GNU).

Se utilizó la herramienta gusek ya que tiene herramientas que nos permitieron encontrar una solución de buena calidad en un tiempo razonable, se indagó en el otro heurístico que cuenta esta herramienta pero para este caso nos dio mejor resultado la búsqueda de aproximación.

Se logró tener una buena propuesta de ruteo donde se logró un ahorro 16.21% en la función objetivo que eso puede contribuir en la disminución del costo variable y se disminuyó un 22.22% el tamaño de flota, lo cual reduce el costo fijo y esto puede generar un gran ahorro en el costo logístico de la recolección de leche.

En el análisis de sensibilidad se pudo apreciar que el modelo es sensible a los cambios de flota de vehículos y que se puede apreciar una correlación positiva muy alta al cambio de este parámetro en los escenarios que se crearon y un incremento de la función objetivo a la par del aumento de la leche recogida por la flota de vehículos.

Este tema es muy importante en la logística del acopio de leche, ya que representa un alto costo pero en este trabajo no se hizo en base al costo ya que según políticas de la empresa, este se le cobra al productor de leche no a la empresa y a esta implementar el modelo planteado en el trabajo de grado le representaría agilizar el proceso y tener más control sobre él.

La implementación de este modelo matemático, el cual está aplicado en un software libre llamado gusek, permitirá a la empresa tener una muy buena técnica para programar las rutas, la cual sería una buena alternativa a la manual o por aproximación aparente de los productores, teniendo en cuenta esta técnica puede contribuir a tener rutas más óptimas ya que en el trabajo se pudo demostrar que si se tuvo un ahorro al comparar el ruteo diseñado con esta herramienta y el que tiene la empresa actualmente.

Aunque se utilizó el heurístico de búsqueda de proximidad y no un método de solución exacto, por ello se disminuyó considerablemente el tiempo de solución, así llegando a una buena solución aunque no sea la óptima, se pudo evidenciar que aun con este método de solución se demoró un lapso de tiempo prolongado para encontrar una solución que nos diera un ahorro significativo con respecto al ruteo actual de la empresa caso de estudio, por lo cual para futuras investigaciones se debe indagar mejor en heurísticos, metaheurísticos y mateheurísticos, para así escoger la mejor metodología para abordar este tema.

El trabajo de grado solo se centró en dar una buena propuesta en el día crítico que contribuya en la reducción de la distancia recorrida por la flota de vehículos, la empresa en cuestión tiene el ruteo repartido en dos días, donde debe recoger la producción de los proveedores, por lo cual este problema es multi-periodo y eso abre la posibilidad que este problema pueda ser abordado como un problema de ruteo periódico y con flota heterogénea, por ende este problema subiría la complejidad computacional y obligaría a implementar un método de solución más

eficiente. Para realizar este trabajo ya mencionado se deben tener en cuenta las capacidades de almacenamiento de leche en finca (capacidad volumétrica de los tanques de frío) y la producción diaria, para que el modelo respecto a esto decida qué día debería ser visitado el nodo o si es necesario recoger su producción todos los días.

Se puede remplazar las distancias lineales por las de carretera, en este trabajo no se tomó en cuenta ya que la instancia era muy grande, era poco práctico y se necesitaría recoger más datos que no se tiene en el momento.

En trabajos futuros se puede tener en cuenta el tiempo de recorrido de un nodo a otro, así construyendo una matriz de tiempo pero este puede cambiar por variables que no controla la empresa como: clima, condiciones de la carretera, derrumbes, accidentes (alta accidentalidad en la vía, obras o construcciones en proceso, entre otras situaciones que demoren el vehículo, por lo cual el tiempo puede variar, es decir que es una variable estocástica.

BIBLIOGRAFÍA

Dondo & Cerdá. (2004). “Un enfoque de optimización basado en clúster para el problema de enrutamiento de vehículos de flota heterogénea de múltiples depósitos con ventanas de tiempo”. *European Journal of Operational Research* 176 (2007) 1478–1507.

Clavijo et al. (2014). “Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia

Eibl P. 1996. *Computerized Vehicle Routing and Scheduling in Road Transport*. England. Avebury. 318p. (Eibl P., 1996)

Gutiérrez, Palacios & Villegas. (2007). “Reseña del Software disponible en Colombia para el diseño de rutas de distribución y servicios”. *REVISTA Universidad EAFIT*. Vol. 43. No. 145. 2007. pp. 60-80

Faulin, Javier, Pablo Sarobe y Jorge Simal. (2005). “The DSS LOGDIS Optimizes Delivery Routes for FRILAC’s Frozen Products. *Interfaces*”. Vol. 35. pp. 202–214.

Rodríguez. (2013). “Análisis del transporte de carga en Colombia, para crear estrategias que permitan alcanzar estándares de competitividad e infraestructura internacional”. Cundinamarca-Bogotá.

David & Rangel. (2011). “formular las metaheurísticas búsqueda tabú y recosido simulado para la solución del CVRP”. Bucaramanga-Santander.

ECHEVERRY. (2013). “RUTEO DE LAS ACTIVIDADES DE DISTRIBUCIÓN DE SERVIENTREGA S.A”. Cali-Valle del Cauca.

Chamorro, Lozano. (2010). “ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA LOGÍSTICA EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO CON OPTIMIZACIÓN”. Cali-Valle del Cauca.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2016) “Construcción y dotación de un centro de acopio y conservación de leche”. Cundinamarca-Bogotá.

Ballou. (2004). “Administración de la cadena de suministros”.

Vidal. (2011). “Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento”. Cali-Valle del Cauca.

Baldacci, Battarra & Vigo. (2007). “Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles”. Cesena, Italia.

Golden, Raghavan, Wasil. (2007). "The vehicle routing problem: latest advances and new challenges". Washington, DC: College.

<http://www.elheraldo.co/economia/desafios-que-enfrenta-colombia-para-reducir-los-costos-logisticos-203861>.

<http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/procesamiento-de-la-leche/recogida-y-transporte/es/#.WFFIfZIfIX>

<http://www.colombiacompetitiva.gov.co/prensa/2015/Paginas/Colombia-es-Logistica-La-Encuesta-Nacional-de-Logistica-2015.aspx>.

<http://neo.lcc.uma.es/dynamic/vrp.html>

ÇĐÇEKDES, (2011). " genetic algorithm approach for areal life heterogeneous capacitated vehicle routing problem". Esmirna- Turquía.

GUASMAYAN, (2014). "Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genético modificado". Pereira-Risaralda.

Gómez & Rangle, (2011). "Formulación las metaheurísticas búsqueda tabú y recocido simulado para la solución de CVRP (capacitate vehicle routing problem)". Bucaramanga-Santander.

Sánchez, (2015). "Aplicación del modelo vrp (vehicle routing problem) para la optimización de una red de distribución. México.

Ministerio de agricultura de chiles, (2014). "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS"

Fischetti, Fischetti & Michele Monaci , (2014). "Proximity search heuristics for Mixed Integer Programs"

Goldman & shivakumar.(1998). "Proximity Search in Databases"

Boland et al. (2015). "Proximity Benders: a decomposition heuristic for stochastic programs"

Toth, Vigo, (2000).An Overview of Vehicle Routing Problems, Monographs on Discrete Mathematics and Applications. In: The Vehicle Routing Problem.

Ballou.(2004). "Administración de la cadena de suministros".

Chanse, Jacobs & Aquilano, (2009). "Administration de operaciones".

Gonzales & Carro, (2009). "Localization de intalaciones".

García, 2004. "Técnicas metaheurísticas".

Contreras & Diaz, (2010). "Metodos heuristico para la solución de problemas de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP)".

Mauleón, (2004). "Transporte, operaciones, redes".

Oliveras, (2004). "Heurística para problemas de ruteo de vehículos".

Oviedo, Valdivieso. "Un algoritmo hibrido el problema de ruteo de vehículos con tiempo de viaje estocástico y ventana de tiempo suave".

Bastos, (2007). "Distribución logística y comercial".

MARTÍ, RAFAEL, (2017). "Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria".

Hernández, (2016). "Diseño de un Sistema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos en empresas de transporte de carga por carretera"

Vigo, (1996). "Heuristic Algorithm For The Arc Capacitated Vehicle Routing Problem"

Gomez, (2013). "Gestión logística y comercial".

Dantzing & Ramser (1959). "The Truck Dispatching problem".

Zapata, (2014). "Fundamentos de la gestión de inventarios".

Rengifo, Baldoquin & Escobar, (2017). "Una aproximación a la heuristica y metaheurísticas".

Pannell, (2017). "Sensitivity analysis: strategies, methods, concepts, examples".

Leggieri & Haouari, (2018). "A matheuristic for the asymmetric capacitated vehicle routing problem".

Boschetti, et al. (2009). "matheuristics: optization, simulation and control".

Thorlund & Martin, (2015). "A Matheuristic Approach for Solving the Railroad Hump Yard Block-to-Track Assignment".

Toklu, (2015). "Matheuristics for Robust Optimization".

Torres (2015). “cumplimiento del decreto 3075 de 1997 y resolución 2674 de 2013, en las bodegas de producto terminado de pepsico alimentos”.

El presidente de la república de Colombia (1997). “decreto 3075 de 1997”.

Ministerio de la protección social (1997). “decreto 616 del 2006”.

Instituto Colombiano Agropecuario (1997). “Las buenas prácticas ganaderas en la producción de leche, en el marco del decreto 616”.

Instituto nacional de vigilancia en medicamentos y alimentos (2015). “plan nacional subsectorial de vigilancia y control de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes químicos en bóvidos de carne y sus productos”.

Quintero (2011). “Evolución y desarrollo del sector lácteo en Colombia desde la perspectiva del eslabón primario”.

Galeano & López. (2011). “Mejoramiento del proceso de recolección de leche en el acopio número cuatro de la empresa Parmalat S.A”

<http://www.colanta.com.co/prensa/los-5-problemas-que-amenazan-a-los-lecheros-locales/>

<https://www.industriaalimenticia.com/articles/86473-panorama-lcteo-colombiano-es-alentador>

<http://www.contextoganadero.com/blog/impacto-de-los-tratados-de-libre-comercio-en-el-sector-lacteo-colombiano>

<http://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/604808/1962.pdf/abe38fb4-e74d-4dcc-b812-52776a9787f6>