

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL RUTEO DE VEHÍCULOS EN UNA
EMPRESA DEDICADA A LA VENTA Y DISTRIBUCIÓN DE MAÍZ EN EL NORTE
DEL VALLE DEL CAUCA**

**INGRID LORENA LLANOS VÁSQUEZ
LUISA FERNANDA RAMÍREZ PINCHAO**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2019**

**ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL RUTEO DE VEHÍCULOS EN UNA
EMPRESA DEDICADA A LA VENTA Y DISTRIBUCION DE MAÍZ EN EL NORTE
DEL VALLE DEL CAUCA**

**INGRID LORENA LLANOS VÁSQUEZ
LUISA FERNANDA RAMÍREZ PINCHAO**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial

**Director
Msc. Julián González Velasco**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2019**

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado (1)

Jurado (2)

Zarzal, Valle del Cauca, 5 Abril 2019

DEDICATORIA

A Laura Sofía Arango Llanos.

Por ser la motivación a ser mejor cada día,

Por ser la fuerza inagotable para afrontar los retos y adversidades,

Por ser la inspiración para anhelar un mejor mañana...

Ingrid Lorena Llanos

AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos a:

La Universidad del Valle por acogernos y hacer de este proceso una experiencia inolvidable, por su excelente labor y compromiso con nuestra formación académica, por ser la coautora de los conocimientos que se adquirieron a lo largo de los años y sobre todo por darnos la alegría de culminar con nuestra etapa profesional al formarnos como ingenieras industriales.

Al coordinador y director de tesis, Julián González Velasco, quien estuvo siempre orientándonos y motivándonos para la culminación del proyecto. Así mismo a todos los docentes que tuvieron la disposición de colaborarnos con las dudas presentadas durante el desarrollo del proyecto. Gracias a todos ustedes, por poner a nuestra disposición su conocimiento, experiencia y sabiduría.

A nuestras familias por todo el apoyo, colaboración y paciencia que nos brindaron durante el proceso de formación, por su apoyo incondicional en los altos y bajos que presentamos a lo largo de la carrera y por haber depositado toda su confianza en nosotras.

A todas las personas que de una u otra manera fueron partícipes de nuestro proceso y desarrollo académico durante estos años y que aportaron conocimientos, experiencias y aprendizajes significativos que nos hicieron mejores personas.

A todos ustedes muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN DE MAIZ TRILLADO	16
1.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	16
1.1.1 Gerente.	16
1.1.2 Contadora.	17
1.1.3 Auxiliar de ventas.	17
1.1.4 Distribuidor.	17
1.1.5 Operario	17
1.2 TIPOS DE PRODUCTOS	17
1.3 CLIENTES	18
1.4 DISTANCIAS	19
1.5 VEHICULOS	20
1.6 DEMANDA	20
1.7 CARACTERIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN	20
1.7.1 Selección de proveedores.	20
1.7.2 Compra de productos.	21
1.7.3 Selección de producto.	21
1.7.4 Generacion de rutas.	21
1.8 OPERACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	21
1.9 COSTOS DE TRANSPORTE	22
1.9.1 Costos variables camioneta.	22
1.9.2 Costos variables carguero.	22
1.9.3 Costos fijos camioneta y carguero.	23
2. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE MAIZ TRILLADO	24
2.1 PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA	24
2.2 SUPUESTOS	25
2.3 DESARROLLO DEL MODELO	25

2.4	FORMULACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN	26
2.4.1	Conjuntos	26
2.4.2	Parámetros.....	26
2.4.3	Variables de decisión	27
2.4.4	Función Objetivo	27
2.4.5	Restricciones.....	27
2.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELO ASIGNACIÓN.....	28
2.6	FORMULACIÓN DEL MODELO DE RUTEO	33
2.6.1	Conjuntos	33
2.6.2	Parámetros.....	33
2.6.3	Variables de decisión	34
2.6.4	Función Objetivo	34
2.6.5	Restricciones.....	34
2.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELO RUTEO	35
3.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	40
4.	CONCLUSIONES	42
5.	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFÍA	44
	ANEXOS	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de productos	17
Tabla 2. Clientes	18
Tabla 3. Asignación de clientes a transporte	29
Tabla 4. Comprobación de entrega.....	29
Tabla 5. Ruta 7	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 6. Ruta 8	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7. Ruta 11	31
Tabla 8. Ruta 12	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9. Ruta 13	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 10. Ruta 14	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11. Ruta 1	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 12. Ruta 2	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13. Ruta 3	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14. Ruta 4	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15. Ruta 5	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16. Ruta 6	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17. Ruta 9	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18. Ruta 10	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19. Comparación sistema actual vs propuesta	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama.....	16
Figura 2. Puntos de distribución por municipios	19
Figura 3. Proceso de los modelos de asignación y ruteo.....	24
Figura 4. Resultados asignación.....	28
Figura 5. Grafica ruta 7	30
Figura 6. Grafica ruta 8	31
Figura 7. Grafica ruta 11	31
Figura 8. Grafica ruta 12	32
Figura 9. Grafica ruta 13	32
Figura 10. Grafica ruta 14	32
Figura 11. Grafica ruta 1	35
Figura 12. Grafica ruta 2	36
Figura 13. Grafica ruta 3	36
Figura 14. Grafica ruta 4	36
Figura 15. Grafica ruta 5	37
Figura 16. Grafica ruta 6	37
Figura 17. Grafica ruta 9	38
Figura 18. Grafica ruta 10	39

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Ubicación geográfica de puntos de distribución.....	47
ANEXO B. Matriz de distancia	48
ANEXO C. Características de vehículos.....	49
ANEXO D. Demanda de clientes	49
ANEXO E. Diagrama de flujo de proceso organizacional	50
ANEXO F. Diagrama de logística de despacho	51
ANEXO G. Rutas actuales.....	52
ANEXO H. Costo promedio alquiler camioneta	57
ANEXO I. Costo variable alquiler camioneta	57
ANEXO J. Costo alquiler carguero.....	58
ANEXO K. Promedio de recorrido de carguero	58
ANEXO L. Costo combustible carguero.....	58
ANEXO M. Costo total carguero	58
ANEXO N. Costos fijos de transporte	59
ANEXO O. Modificación de la demanda.....	59
ANEXO P. Vehículos requeridos para cubrir la demanda.....	59
ANEXO Q. Solución modelo de asignación	60
ANEXO R. Resultados arrojados para rutas faltantes	61
ANEXO S. Aumento de demanda 10%.....	64
ANEXO T. Porcentaje de variación resultado prueba 1	65
ANEXO U. Costos iguales para tipos de transporte.....	65
ANEXO V. Porcentaje de variación prueba 2	65

INTRODUCCIÓN

Logística y cadena de suministros es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante los cuales, y después de que la materia prima se convierte en producto terminado le añade valor a el consumidor final. En la cadena de suministro es muy importante el buen desarrollo que se debe tener para prestar un buen servicio al cliente, para esto hay que tener en cuenta el tema del transporte, el cual es un punto clave en el tema de la distribución (Ballou, 2004). Es por esto, que el manejo de la logística toma un papel relevante a la hora de evaluar el desempeño de cualquier organización, esto lo confirma (Vidal, 2011) cuando afirma que actualmente, los productos no solo se diseñan para que puedan ser producidos eficientemente en una planta, sino también para que puedan ser eficientemente almacenados, transportados y controlado su inventario.

Después de lo mencionado anteriormente, se puede deducir que las empresas como parte fundamental del progreso comercial dentro de la estructura logística requieren que sus procesos sean lo suficientemente eficientes para que puedan responder de forma oportuna a todos los requerimientos del mercado y cubrimiento de la demanda. Es por esto, que tomar en cuenta el manejo del factor transporte dentro de una empresa es de vital importancia a la hora de medir el cumplimiento de las metas trazadas por dichas organizaciones, principalmente porque un inadecuado manejo puede afectar directamente el desempeño operativo, táctico y estratégico de las mismas; como lo señala (Ballou, 2004) en su libro: Más específicamente, un sistema eficiente y económico de transporte contribuye a una mayor competencia en el mercado, a mayores economías de escalas en la producción y a la reducción de precios en bienes.

El transporte como parte del sistema logístico de cualquier empresa, representa una de las deficiencias mas frecuentes, ya que a pesar de las amplias soluciones teóricas que se han obtenido a lo largo de los años, aun existen falencias a nivel práctico debido a la complejidad del manejo y aplicación de ciertas herramientas existentes para determinar las mejores u óptimas rutas de los vehículos transportistas. Este reto lo asumen las empresas con mayor interés debido a la magnitud que representa el transporte en los costos de distribución. La complejidad en el mundo de la distribución física, las diferentes tecnologías aplicables, las exigencias del servicio y una legislación en constante evolución homologable a nivel internacional hacen que esta función consuma en torno a un 40% de los gastos de distribución (Anaya, 2015).

El VRP como parte del sistema real, posee variantes que se relacionan con problemas reales y específicos dentro de las empresas, estas variantes han sido señaladas e investigadas por diversas fuentes en la literatura. Autores como (Daza, Montoya, & Narducci, 2009), (Quintero, 2012), (Lüer, Benavente, Bustos, & Vanegas, 2009) , (Jaque, 2008), (Puenayán, Londoño, Escobar, & Linfati, 2014),

entre otros, hacen referencia a las variantes de ruteo con ventanas de tiempo (duras y suaves), ruteo periódico, ruteo multidepositos, ruteo con vehículos capacitados, ruteo con flota homogénea o heterogenea, ruteo de vehículos con clientes o demandas estocásticas, ruteo de vehículos con división de entregas.

La empresa caso de estudio se dedica a la venta y distribución de maíz a diferentes clientes (vendedores informales, graneros y supermercados). Estos clientes, se encuentran ubicados en diferentes zonas geográficas del valle del cauca (Zarzal, La Paila, La Unión, La Victoria, Roldanillo) y del oriente del Quindío (Calarcá), para un total de 19 clientes distribuidos en los anteriores municipios. La empresa cuenta con dos vehículos subcontratados (carguero y camioneta), los cuales se encuentran siempre disponibles en cualquier momento para realizar la distribución de los productos. Estos vehículos tienen diferente y limitada capacidad de 600 y 1500 (kg) respectivamente, en este caso estamos ante el problema de ruteo de vehículos con flota heterogénea (HVRP, por sus siglas en inglés) (Quintero, 2012). Los productos se manejan en diferentes presentaciones según la clase de maíz (amarillo y blanco), presentando así ventas totales según los registros históricos de aproximadamente 68.000 kg/mes. Los pedidos los realizan los clientes diariamente por medio de vía telefónica y para responder a ello la empresa tiene estimado un tiempo máximo de servicio de 24 horas. No se consideran penalidades puesto que no se deben cumplir con horarios de entrega. Después de haber recibido los pedidos el gerente de la empresa se encarga de diseñar las rutas de entrega diariamente de acuerdo con la demanda variable de los clientes y la capacidad de los vehículos; esto se hace de manera empírica sin tener en cuenta el apoyo que puede generar algún tipo de método como soporte para la toma de decisiones que tenga que ver con la planificación y asignación de rutas.

Con base en lo anterior se pretende realizar una propuesta de mejora para el ruteo de vehículos que contribuya a minimizar los costos logísticos de distribución de una empresa dedicada a la venta y distribución de maíz en un municipio del norte del Valle considerando flota heterogénea.

El desarrollo del estudio consta de tres fases, cada fase equivale el cumplimiento de un objetivo para llegar finalmente al cumplimiento del objetivo principal.

Para la primer fase se pretende realizar la caracterización del sistema actual de distribución de la empresa caso de estudio que se desarrolla en el capítulo 1 de la investigación. Para llevarlo a cabo se debe identificar el funcionamiento actual de la misma enfocándose principalmente en los lineamientos que tienen como base para diseñar el plan de ruteo con el que distribuyen, por ello, se debe estudiar las variables que determinan este plan como la disponibilidad de carros transportistas, tipo de flota, capacidad de los vehículos, información sobre los clientes, tiempo usual de respuesta, proceso de distribución, políticas básicas de seguridad y manejo exigidas, rutas actuales, datos históricos de interés, canales de distribución, costos de transporte, periodicidad de pedidos, entre otros.

La segunda fase se desarrolla en el capítulo 2, consta de realizar una propuesta de optimización para la distribución de maíz que considere restricciones de capacidad del vehículo, demanda de clientes, costos de distribución y distancias entre clientes y centro de distribución. Es por esto que se realiza una investigación acerca de las herramientas existentes en el tema de ruteo de vehículos especialmente utilizados para los que consideran flota heterogénea. En esta fase se debe tener total conocimiento acerca de los procesos reales de distribución de la organización para poder determinar cuál será la herramienta que más se adapte a la realidad y a los parámetros analizados en la primera fase, especialmente para abordar una propuesta que permita explorar la realidad del sistema de ruteo utilizado y posteriormente permita estandarizar las variables dirigidas al cumplimiento del objetivo principal.

Finalmente y para concluir la propuesta de mejora, en el capítulo 3 se realiza un análisis de sensibilidad de la propuesta frente a la variación de los costos y distancia recorrida en cada uno de los puntos de venta y comparación de dichas variables con el sistema actual de la empresa. Es decir, un análisis costo/beneficio frente a la propuesta que conlleve a una determinada conclusión.

El desarrollo del proyecto se basa en las diferentes investigaciones y métodos de solución que han surgido a través de los años. Estos métodos de solución comprenden los que son llamados métodos exactos y aproximaciones (heurísticas y metaheurísticas). Los autores (Lüer, Benavente, Bustos, & Vanegas, 2009) y (Daza, Montoya, & Narducci, 2009) definen los métodos exactos como aquellos que parten de la programación lineal y que producen una solución óptima empleando varias técnicas que permitan explorar el espacio de búsqueda. Los resultados se obtienen con menor rapidez dependiendo de la magnitud del problema. Los métodos de aproximaciones están conformados por heurísticas y metaheurísticas, el resultado que arroja no es el óptimo, es decir, que la calidad de los mismos se evalúa realizando una comparación con el óptimo. Las heurísticas según (Bermeo & Carderón, 2009) realizan una exploración limitada en el espacio de soluciones. Producen soluciones razonablemente buenas con tiempos de computación modestos.

Según la literatura la aplicación de métodos para la solución del problema de ruteo con flota heterogénea han dado resultados de mejora, como lo expone (Daza, Montoya, & Narducci, 2009) que resuelven el problema de ruteo con limitaciones de capacidad con un método de dos fases en el que se emplea Visual Basic 6.0. para la programación de una metaheurística de búsqueda tabu para el diseño de rutas, y la segunda fase lo abordó con un problema de secuenciación en máquinas paralelas idénticas para llegar a la planificación de la flota. Se obtuvo disminución de distancias, reducción en utilización de vehículos y optimización de la capacidad. Así mismo, (Orrego, Ospina, & Toro, 2016) proponen un método de dos fases para el problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada para el que utiliza

inicialmente la heurística del barrido y luego soluciona a cada uno como el problema del agente viajero, se realiza la programación en el lenguaje Matlab.

Otro caso de estudio lo realizó (Jaramillo, 2013) con el problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada y lo resuelve por medio de un algoritmo memético con codificación en Visual C++ 2010 haciendo uso de la búsqueda tabu para mejorar las soluciones de la nueva generación, en base a esto se encuentra la solución óptima con el 99,5% de los intentos; mientras que (Correa, Cogollo, & Salazar, 2011) realizaron en una empresa de transporte de carga una aplicación de un algoritmo basado en la teoría de grafos realizando un modelamiento con restricciones de capacidad, lo que generó una disminución en la utilización del recurso y disminución considerable en los costos. Por el contrario (Quintero, 2012) aporta una alternativa de solución a un problema de ruteo con flota heterogénea mediante un método de aproximación como variante del algoritmo de ahorros con la combinación de simulación monte carlo utilizando técnicas de memoria cache, realizando experimentos computacionales con diferentes tamaños y tipos de instancias tomadas de la literatura con el fin de minimizar costos incurridos en el transporte.

Por otro lado, enfocándose a la investigación a realizar, una solución al HVRP toma un papel relevante dentro del sistema logístico de la empresa caso de estudio, ya que se puede considerar el transporte como un pilar y medio esencial que se debe controlar y planear de la mejor forma, puesto que una buena coordinación del mismo establece diferentes tipos de beneficios como la minimización de costos, reducción de tiempos, utilización del máximo de la capacidad de los recursos disponibles, mejora en ingresos, aumento en la confianza y satisfacción de los clientes, establecimiento en el mercado, fidelización de clientes, capacidad de respuesta, participación constante en el mercado, entre otros, que hacen parte de una larga lista de beneficios incluidos. Es por ello, que para la empresa caso de estudio, es necesario tomar como base herramientas existentes en la literatura que conlleven a obtener soluciones frente a la problemática presentada y validar las razones para la mejor toma de decisiones, pensando siempre que un buen plan de ruteo en la distribución de los productos puede mejorar progresivamente el desempeño organizacional llevándolo a términos operativos, estratégicos y financieros.

Como estudiantes de ingeniería, es importante la realización de este proyecto porque permitirá reflejar el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera al relacionar lo teórico con lo práctico, además, el hecho de brindar una alternativa de solución al sistema de distribución de la empresa caso de estudio ayudará a fortalecer nuestro proceso de formación académica de manera significativa.

Por último, este trabajo aportará a la Universidad del Valle el crecimiento y fortalecimiento de las investigaciones y proyectos realizados por los estudiantes bajo su respaldo, especialmente a la calidad institucional.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar una propuesta de mejora para el ruteo de vehículos que contribuya a minimizar los costos logísticos de distribución en una empresa dedicada a la venta y distribución de maíz en un municipio del Norte del Valle.

Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema actual de distribución de la empresa caso de estudio.
- Diseñar una propuesta de optimización para la distribución de maíz que considere restricciones de capacidad de vehículo, demanda de clientes, costos de distribución y distancia entre clientes y centro de distribución.
- Realizar análisis de sensibilidad de la propuesta frente a la variación de los costos y distancia recorrida en cada uno de los puntos.

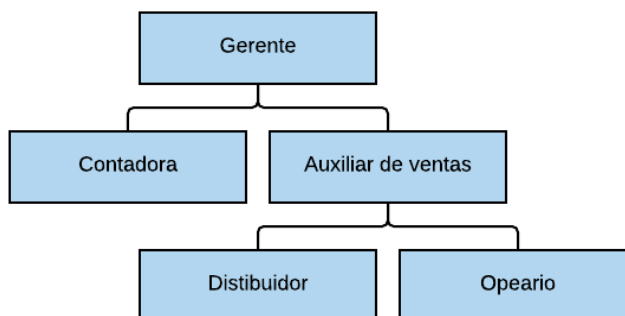
1. CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN DE MAÍZ TRILLADO

La empresa caso de estudio esta ubicada en Zarzal Valle del Cauca, tuvo comienzos gracias a la motivación y perseverancia de su fundador, el cual por medio de un curso dictado por la fundación Caicedo Gonzales decide crearla en el año 1992. La tarea principal de esta microempresa es producir, vender y distribuir dos clases de maíz en diferentes presentaciones como se mencionan en la Tabla 1. (Tipos de productos). Gracias a la calidad de los mismos, actualmente el depósito distribuye aproximadamente 1400 bultos de maíz al mes, con una equivalencia de 50 kg/bulto. A través de los años la microempresa ha tenido grandes progresos estructurales y comerciales que le han permitido adaptarse a las necesidades y requerimientos del mercado y expandir su mercado a diferentes municipios de sus alrededores.

1.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

En el siguiente organigrama se presenta la estructura organizacional de la empresa caso de estudio.

Figura 1.Organigrama



Fuente: Los autores

A continuación, se explican las funciones que realiza cada una de las personas que forman parte de la estructura organizacional.

1.1.1 Gerente. Es la persona que tiene el cargo más alto dentro de la organización. Se encarga de establecer metas y objetivos de la empresa y

hacer que estos se lleven a cabo, además, negocia con los proveedores los precios de compra y pago de la mercancía, después de dicha negociación planea la producción diaria y establece precio de venta del producto a sus clientes, también se encarga de diseñar rutas para la entrega del producto.

1.1.2 Contadora. Es la persona encargada de administrar los registros financieros y contables de la empresa.

1.1.3 Auxiliar de ventas. Se encarga de llevar un registro diario de las ventas para presentarlo al gerente, atención a los clientes, atención en el punto de venta, se encuentra pendiente de las órdenes de compra, es el encargado de dirigir los despachos del producto y recibe la materia prima que llega para ser almacenado en la bodega.

1.1.4 Distribuidor. Encargado de llevar el producto al cliente y cuando no realiza esta función brinda apoyo al operario de producción.

1.1.5 Operario. Es el encargado de cumplir con las ordenes de producción dirigidas por el gerente, después de esto verifica en la pesa que los bultos estén con un peso de 50 kg cada uno, inspecciona que el producto salga de las máquinas de trillado en óptimas condiciones para cumplir con los requerimientos del cliente y cuando es necesario brinda apoyo como auxiliar del distribuidor.

1.2 TIPOS DE PRODUCTOS

La empresa actualmente esta manejando dos clases de maíz para sus productos. Maíz blanco y amarillo que se acondicionan en diferentes presentaciones y peso.

El proceso para todos los productos se realiza tratando de utilizar adecuadas condiciones de limpieza, correcto pesaje, correcto empaque, y la mejor calidad de materia prima.

Las presentaciones manejadas por la empresa son las siguientes:

Tabla 1. Tipos de productos

PRODUCTO	PRESENTACION (kg)
Retrillado blanco	50
Trillado blanco	50
Retrillado amarillo	50
Trillado amarillo	50
Cuchuco	50

Maiz valle molido	50
Semola	50
Salvado amarillo	40
Salvado blanco	40

Fuente: Los autores

1.3 CLIENTES

Los clientes manejados por la empresa se distribuyen en municipios del norte del valle y alrededores del centro de distribución como Roldanillo, la victoria, la unión, la paila y zarzal, y en el oriente del quindio con el municipio de Calarcá. La mayoría de los clientes se dedican a la agroindustria, a la fabricación y distribución de arepas y algunos realizan pedidos para consumo personal.

Tabla 2. Clientes

Cientes	Nombre	Direccion	Ciudad
1	 Cliente 1	Calle 18a # 14-52	La Union
2	 Cliente 2	Cra.15 # 22-64	La Union
3	 Cliente 3	Cra.7 # 2-32	La Victoria
4	 Cliente 4	Cra.9 # 5-03	Roldanillo
5	 Cliente 5	Cra.2nte # 9-71	Roldanillo
6	 Cliente 6	Cra.4 # 10-37	Roldanillo
7	 Cliente 7	Cra.8 # 6-52	Roldanillo
8	 Cliente 8	Calle 12 # 1-15	La Paila
9	 Cliente 9	Calle 11 # 2-40	La Paila
10	 Cliente 10	Calle 11 # 2-29	La Paila
11	 Cliente 11	Cra. 2 # 10-18	La Paila
12	 Cliente 12	Calle 39 # 28-34	Calarca
13	 Cliente 13	Cra. 12 # 10-32	Zarzal
14	 Cliente 14	Cra.8 Calle 11 Esq.	Zarzal
15	 Cliente 15	Calle 10 # 12-35	Zarzal

1.5 VEHICULOS

En la actualidad para la distribución de sus productos la empresa cuenta con un carguero y una camioneta, con capacidad de 600 y 1500 (kg) respectivamente, los cuales se muestran en el anexo C. Es importante tener en cuenta que existe una sola restricción que obliga a que el carguero distribuya en el municipio de zarzal según lo tiene estipulado la empresa; Los dos vehículos son subcontratados y se encuentran siempre a disposición de la empresa.

1.6 DEMANDA

La demanda de los clientes es estocástica, puesto que los pedidos se realizan diariamente y de manera aleatoria por medio de vía telefónica. De acuerdo a las ventas historicas por un periodo de un año se logro estimar un porcentaje de venta de maíz blanco con aproximadamente 60000 kg/mes y maíz amarillo con aproximadamente 8000 kg/mes. Dado que las ventas de maíz amarillo son relativamente bajas comparándolas con las ventas del maíz blanco, se decidió centrar la investigación en el maiz con mayor porcentaje de salida. Es cuando encontramos que el maíz blanco con la presentación de retrillado representa el 70.32% de las ventas con un total de 47.820 kg/mes según datos históricos anteriormente nombrados, esta información se puede encontrar en el anexo D.

1.7 CARACTERIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN

A continuación se hará una breve descripción de los procesos logísticos que realiza la empresa caso de estudio, ver anexo E, con el fin de comprender como se comportan las variables de interés frente a la distribución, teniendo en cuenta que un adecuado manejo de este proceso representa crecimiento en ventas, mayor satisfacción del cliente, participación y posicionamiento en el mercado, fidelización de clientes, disminución de costos y tiempo, entre otros. Las variables de interés son:

1.7.1 Selección de proveedores. La empresa defiende la idea de tener y conservar buenas relaciones con sus proveedores. El gerente realiza la negociación con proveedores, a quienes tiene seleccionados como fijos o intermediarios. La decisión se basa principalmente en el plazo de pago, ya que el mismo estandarizo este plazo con un periodo de 45-60 días para poder saldar la deuda. En casos muy puntuales de no poder cumplir con ese plazo, el gerente informa al proveedor con anterioridad y realiza un aporte del 2% sobre el saldo pendiente hasta terminar de pagar el saldo total. Los otros dos criterios no menos importantes a la hora de seleccionar un proveedor es la calidad del producto y el precio de venta, que son aceptados o no según el criterio del gerente, quien esta al tanto del precio estándar del maíz según las clasificaciones (calidad buena, calidad regular) a nivel nacional.

- 1.7.2 Compra de productos.** La característica mas importante para el gerente es la calidad de su materia prima, con la intención de que el producto terminado tenga el mismo resultado. Las compras se realizan dependiendo la necesidad de la empresa para cada uno de sus productos, aunque por lo general sus compras suelen tener un promedio de 150 ton/2 meses de maíz blanco y 20 ton/2 meses de maíz amarillo, tomando en cuenta que en el proceso de producción se consume aproximadamente el 20% de la materia prima que al mismo tiempo se convierte en otro producto llamado Salvado. La variación de la compra de materia prima es muy poca y depende de la variabilidad de la demanda y del precio del maíz.
- 1.7.3 Selección de producto.** El maíz se recibe a los proveedores por bultos de 50 kg, el pesaje y la limpieza del maíz lo realizan los proveedores y al llegar a la empresa se verifica el estado (pesaje y limpieza). En caso de no tener la limpieza que se requiere y la materia prima este contaminada (tusa, hojas, piedras), se realiza una limpieza manual antes de iniciar el proceso en el que automáticamente también se realiza una limpieza al pasar el maíz principalmente por un monitor antes de trillarlo. Despues, se clasifica el maíz para su debido proceso dependiendo del requerimiento (trillado, retrillado).
- 1.7.4 Generacion de rutas.** El auxiliar de ventas es el encargado de recepcionar los pedidos, asi mismo se encarga de dirigir los despachos del maíz a cada uno de los clientes, por esto le informa al gerente, quien es el que planea la distribución a todos los puntos tomando en cuenta principalmente esta información de ventas.

Los parámetros que tiene en cuenta el gerente para diseñar las rutas principalmente es acumular los pedidos que se requieran en cierto municipio y asi poder enviar un solo camion que abastezca el total de la demanda en el mismo. Con este método lo que trata de ahorrar son costos, pero sin embargo esta práctica no es muy eficiente a la hora de cumplir este objetivo, debido a que los pedidos se realizan diarios y de forma aleatoria siempre estará pendiente acumular un pedido significativo en volumen que sustente el costo de transporte. En este caso pueden suceder dos escenarios: los pedidos no se acumulan en volumen lo suficiente como para aprovechar al máximo la capacidad del vehiculo o que estos pedidos sobrepasen la capacidad del vehiculo y que requieran varios viajes, generando así muchas veces perdidas por desaprovechamiento de capacidad y distribución ineficiente.

1.8 OPERACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La cadena termina con el despacho y la distribución de los pedidos realizados por los clientes. En la empresa caso de estudio la planeación y la asignación de las rutas para la distribución se realiza por el gerente de manera empírica, con el objetivo de satisfacer la demanda variable de los clientes, teniendo en cuenta la ubicación del centro de distribución.

A continuación se menciona el procedimiento que se utiliza para desarrollar los despachos y se muestra gráficamente en el anexo F.

- Cuando se conoce la orden de pedido se le informa al operario para realizar una verificación de disponibilidad de producto.
- Luego de saber la disponibilidad de este se procede al alistamiento del producto para ser despachado, en caso de no haber disponibilidad se programa proceso de trillado o retrillado según lo requieran.
- Con la información de la orden de pedido el gerente planea la ruta dependiendo los puntos de entrega.
- Al verificar los puntos anteriores se procede a cargar el vehículo y se despacha para entregarle el producto al cliente.

En este punto tan representativo de la investigación se decide recrear las rutas específicamente para la demanda a considerar (Maíz retrillado blanco). Es importante aclarar que las rutas no están estandarizadas debido a la fluctuación de la demanda, es decir que las rutas no siempre son las mismas. Por ello, se le pidió al gerente que asignara la ruta de manera empírica para la demanda del producto seleccionado tomando en cuenta los mismos parámetros que ha venido utilizando para establecer las rutas de distribución en la empresa, con el fin de que la definición de las rutas actuales para ese producto no sea ajeno a la realidad suponiendo que si ese fuese el caso así es como se haría la distribución, ver anexo G.

1.9 COSTOS DE TRANSPORTE

Para estimar los costos se deben tener en cuenta tanto los costos variables, como los costos fijos. A continuación se presentan los costos para cada tipo de vehículo.

1.9.1 Costos variables camioneta. Por tratarse de un vehículo subcontratado los costos variables solo se calculan con el precio de alquiler, ya que este valor cubre todos los costos de transporte a excepción de la mano de obra (costo fijo), quien es el que se encarga del manejo del vehículo y distribución del producto con o sin auxiliar dependiendo la carga de viaje asignada. El costo/km se obtuvo realizando un promedio de los costos de viaje asignados a cada municipio conforme lo tiene estipulado el arrendatario del vehículo en relación con la distancia en km a cada uno de ellos, ver anexo H. Luego, se calculó el costo/km*kg teniendo en cuenta el anterior costo calculado y la capacidad del vehículo, como lo muestra el anexo I.

1.9.2 Costos variables carguero. El carguero tiene un precio estipulado de alquiler por día, que cubre todos los costos de transporte a excepción del combustible y mano de obra (este último representa un costo fijo). Este vehículo se alquila varios días en la semana dependiendo la necesidad. El cálculo del costo de transporte del carguero se realizó de forma diferente al de la camioneta, debido a que este tipo de transporte incluye costo de

combustible. Como primer medida se calculo un costo de distribución por kilogramo en relación al costo de alquiler de carguero, ver anexo J. Para ello, se requirió un promedio de recorrido (km/sem), ver anexo K ,donde se muestra un historico de distribución para este tipo de transporte en un periodo de un mes. Seguido se incluye la segunda operación en el anexo L, en el que se calcula el costo de combustible/km en relación a la capacidad del vehículo(\$/km*kg), por ello se verifico el promedio del rendimiento del combustible en la ficha técnica de cargueros de la página <https://maestros.com.co/buenas-practicas/trasporte-sus-materiales-herramientas-forma-practica/> y el precio actual vigente del galón de gasolina que se verificó en <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-precios-de-la-gasolina-para-el-ano-2019-310406>. Finalmente para determinar los costos totales se realizó la sumatoria de las dos operaciones descritas anteriormente, ver anexo M.

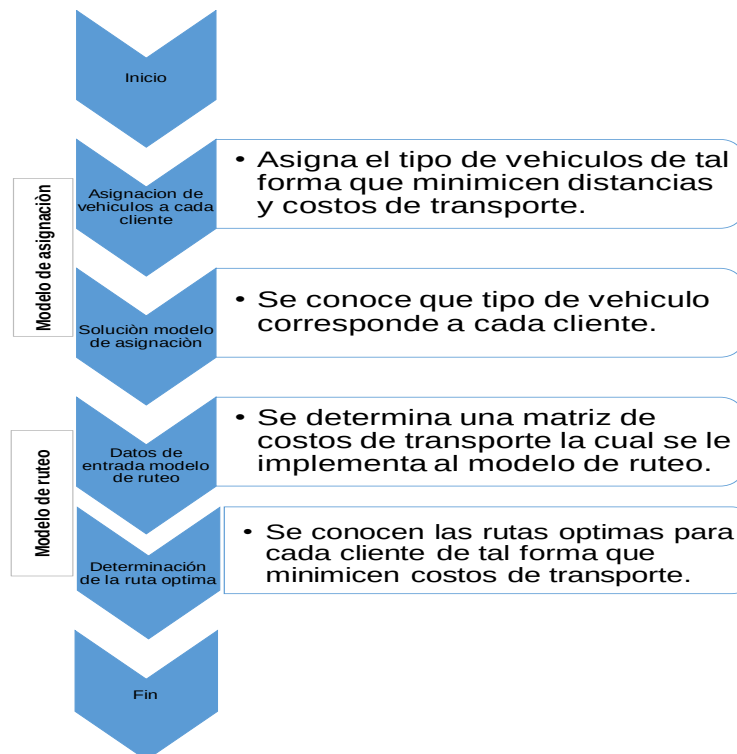
- 1.9.3 Costos fijos camioneta y carguero.** Los costos fijos son determinados por los seguros, salarios de mano de obra, peajes y parqueadero. Sin embargo, en el caso de estudio los costos fijos para la camioneta y el carguero son iguales dado que para ambos transportes solo se consideran costos de mano de obra, ver anexo N.

2. PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE MAÍZ RETRILLADO

2.1 PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Para el planteamiento de una solución a la problemática de la empresa caso de estudio se propone la utilización de una herramienta que apoye de manera eficiente a la toma de decisiones referente a la distribución de maíz retrillado blanco en los diferentes puntos, tomando en cuenta las variables claves para su desarrollo . La propuesta de mejora consta de dos fases que se dividen en el desarrollo de dos modelos de programación lineal; el primer modelo realiza una asignación óptima de los clientes a cada vehículo y el segundo modelo asigna una ruta a cada vehículo de acuerdo a los clientes que fueron anteriormente asignados. Ambos modelos se enfocan principalmente en la minimización de costos de transporte, es decir que la solución de ambos modelos unidos conformarían la solución óptima requerida para aplicar al sistema actual.

Figura 3. Proceso de los modelos de asignación y ruteo



Fuente. Los autores

2.2 SUPUESTOS

- La demanda requerida por los clientes es menor que la oferta
- Los vehículos cuentan con diferente capacidad
- El recorrido inicia y termina en el centro de distribución
- Los vehículos siempre están disponibles para la empresa
- Los clientes no reciben los pedidos en horarios específicos, no hay penalizaciones.
- Las distancias son reales, es decir, distancias asimétricas.
- Se modela con la demanda del producto mas representativo en las ventas, retronillado blanco.
- Con el fin de trabajar los modelos de tal forma que los vehículos cumplieran con la demanda de acuerdo a su capacidad, se realizó una operación matemática en donde se calcula cuantos vehículos de cada tipo deben estar disponibles para cumplir con la demanda total, suponiendo que la elección de cada tipo de vehículo representa un viaje para cada uno de ellos.
- La demanda es estocástica, sin embargo para la realización del modelo se trabajó con un promedio en ventas del producto seleccionado por un periodo de un año.
- Los costos de transporte para el primer vehiculo (camioneta) se calcularon con un promedio de los precios estandares de viaje para cada municipio, ver anexo H, es decir que los costos establecidos para este medio de transporte no consideran la diferencia de precio entre ir a un municipio u otro.

2.3 DESARROLLO DEL MODELO

Para el desarrollo del modelo fue necesario recolectar la siguiente información: cantidad y ubicación de clientes, número y capacidad de vehículos, productos, demanda, oferta, costos de transporte, ubicación de cada cliente en coordenadas geograficas y conversión de ubicaciones a coordenadas cartesianas. Después de obtener las coordenadas cartesianas de la ubicación de cada cliente se realiza la matriz de distancias. Para la realización de esta se utilizo la herramienta de Google maps con la cual se obtienen distancias reales en kilómetros y tiempo desde el centro de distribución hasta el cliente final. De acuerdo a lo mencionado anteriormente se obtiene la matriz 20x20 la cual consta de los clientes ubicados en las diferentes zonas geográficas (Zarzal, La Paila, Roldanillo, La Victoria, La Union, Calarca) y del centro de distribución ubicado en Zarzal, Valle del Cauca.

Luego, se realiza el modelo algebraico el cual se programa en el lenguaje AMPL. Se realizan tres archivos diferentes en block de notas (modelo, comandos y datos). Estos archivos se introdujeron en la plataforma Neos Server y se corrió en el solver Gurobi.

Para la realización del modelo es importante resaltar que se modificaron los datos de la demanda aproximándolos a un valor entero para facilitar la corrida del modelo, ver anexo O, y se ajustó el número de vehículos disponibles realizando una operación matemática para determinar cuantos vehículos de cada tipo se requerían para cumplir con el total de la demanda de los clientes, ver anexo P.

2.4 FORMULACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN

2.4.1 Conjuntos

- Conjunto de bodegas asociado a i

$$BOD = \{i | i \text{ es una bodega}\}$$

$$B = \{i_1\}$$

- Conjunto de transportes asociados a j

$$TRA = \{j | j \text{ es un transporte}\}$$

$$J = \{j_1, j_2\}$$

- Conjunto de clientes asociados a k

$$CLI = \{k | k \text{ es un cliente}\}$$

$$CLI = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_n \dots k_{19}\}$$

2.4.2 Parámetros

- Costo por kilómetro*kg recorrido del transporte $j \left[\frac{\$}{km/kg} \right]$

$$COSTO_j = \{j \in TRA : j \geq 0\}$$

- Distancia de la bodega i en el tipo de transporte j al cliente k [Km]

$$D_{ijk} = \{i \in B, j \in J, k \in K : i, j \text{ y } k \geq 0\}$$

- Demanda del cliente k [Kg]

$$DEMANDA_k = \{k \in CLI: k \geq 0\}$$

- Capacidad del transporte j [Kg]

$$CAP_j = \{j \in TRA: j \geq 0\}$$

2.4.3 Variables de decisión

$$X_{ijk} = \{i \in BOD, j \in TRA, k \in CLI : i, j \text{ y } k \geq 0\}$$

{cantidad a llevar de bodega i en el transporte j al cliente k}

2.4.4 Función Objetivo

La función objetivo para el modelo caso de estudio busca minimizar el costo total de distribución, para el cual toma en cuenta la cantidad a llevar de la bodega i en el transporte j al cliente k, la distancia en km desde el transporte j que parte del nodo 0 al cliente k y el cálculo del costo por kilómetro recorrido por kilogramo desde la bodega i en el tipo de transporte j.

$$Z_{min} =$$

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{19} (X_{ijk} * COSTO_j * D_{jk})$$

2.4.5 Restricciones

- Restricción de demanda de los clientes

Cantidad de unidades transportadas de la bodega i en tipo de transporte j, debe ser igual a la demanda del cliente k

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^2 X_{ijk} = DEMANDA_k \quad ; \forall k \in CLI$$

- Restricción de capacidad de tipo de transporte

$$\sum_{i=1}^1 \sum_{k=1}^{19} X_{ijk} \leq CAP_j \quad ; \forall j \in TRA$$

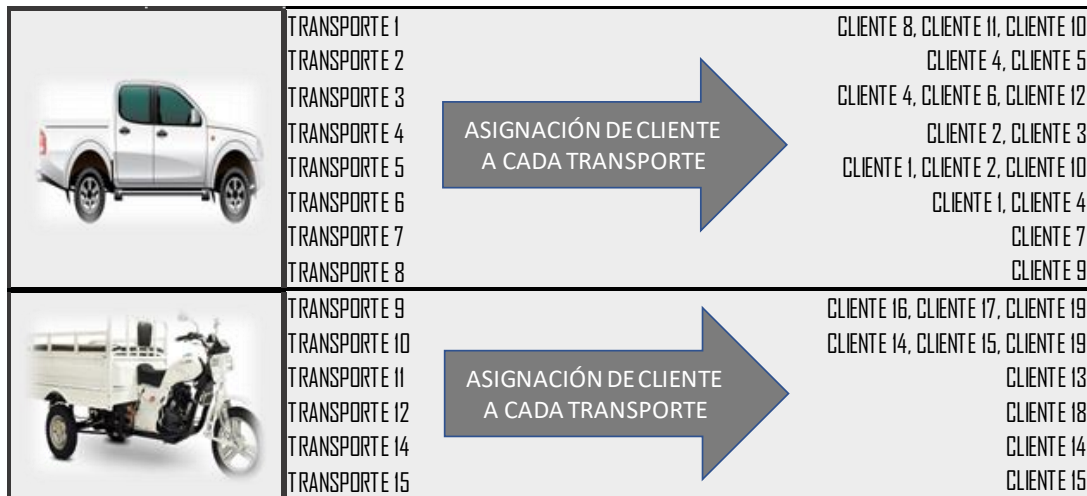
Restricción que asegura que a los clientes ubicados en zarzal se entregue solo con el tipo de transporte 2.

$$\sum_{i=1}^i X_{i2k} = DEMANDA_k \quad ; \forall k \in CLI: k \geq 13$$

2.5 ANALÍSIS DE RESULTADOS MODELO ASIGNACIÓN

La solución generada por el modelo de asignación de vehículos a cada cliente dio como resultado la utilización de 14 transportes, a los cuales se les asigno respectivos clientes con el propósito de cumplir con la distribución en todos los puntos. En la siguiente imagen se expresan gráficamente los resultados y en el anexo Q se puede ver la solución generada por el modelo.

Figura 4. Resultados asignación



Fuente. Los Autores

Realizando la visualización de la gráfica y teniendo en cuenta el supuesto ya mencionado anteriormente se puede observar que el transporte (1,2,3,4,5,6,7,8) representado por la camioneta realiza en su totalidad 8 viajes con diferentes clientes asignados para cumplir con unas rutas, y el transporte (9,10,11,12,14,15) que representan el carguero realiza en su totalidad 6 viajes con diferentes clientes asignados, para un total de 14 rutas. A continuación se muestra la tabla 3. que incluye la cantidad a distribuir en cada viaje y donde se evidencia que el resultado no sobrepasa la capacidad de los vehículos, además la tabla 4 donde se verifica que el vehículo si cumple con el total de la demanda para cada cliente.

Tabla 3. Asignación de clientes a transporte

TRANSPORTE	CLIENTE	CANTIDAD	CLIENTE	CANTIDAD	CLIENTE	CANTIDAD	DEMANDA TOTAL
1	8	1000	11	300	10	200	1500
2	4	1300	5	200			1500
3	4	400	6	100	12	1000	1500
4	2	200	3	1300			1500
5	1	650	2	800	10	50	1500
6	1	550	4	700			1250
7	7	600					600
8	9	200					200
9	16	100	17	400	19	100	600
10	14	150	15	250	19	200	600
11	13	200					200
12	18	300					300
14	14	150					150
15	16	600					600
SUMATORIA DE LA DEMANDA							12000

Fuente.Los Autores

Tabla 4.Comprobación de entrega

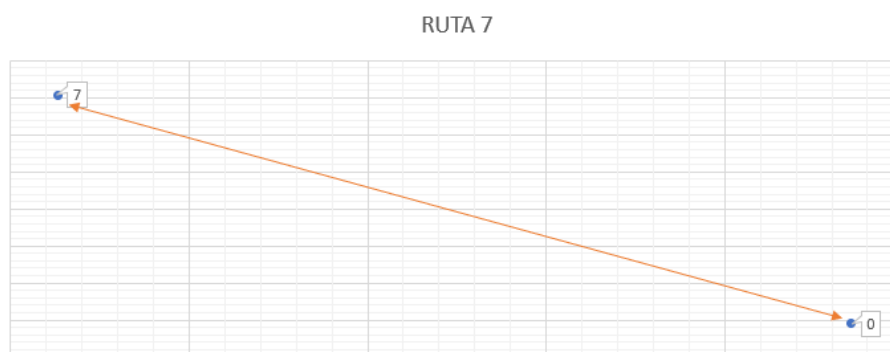
MUNICIPIO	CLIENTE	DEMANDA	SUMATORIA DE ENTREGA A CADA CLIENTE	Diferencia entre demanda y entrega
La union	1	1200	1200	0
La union	2	1000	1000	0
La victoria	3	1300	1300	0
Roldanillo	4	2400	2400	0

Roldanillo	5	200	200	0
Roldanillo	6	100	100	0
Roldanillo	7	600	600	0
La Paila	8	1000	1000	0
La Paila	9	200	200	0
La Paila	10	250	250	0
La Paila	11	300	300	0
Calarca	12	1000	1000	0
Zarzal	13	200	200	0
Zarzal	14	300	300	0
Zarzal	15	250	250	0
Zarzal	16	700	700	0
Zarzal	17	400	400	0
Zarzal	18	300	300	0
Zarzal	19	300	300	0
SUMATORIA		12000	12000	

Fuente.Los Autores

A continuación se agregan las rutas que genero el modelo de asignación con apenas un cliente por vehículo, expresadas por el transporte (7,8,11,12,14,15)

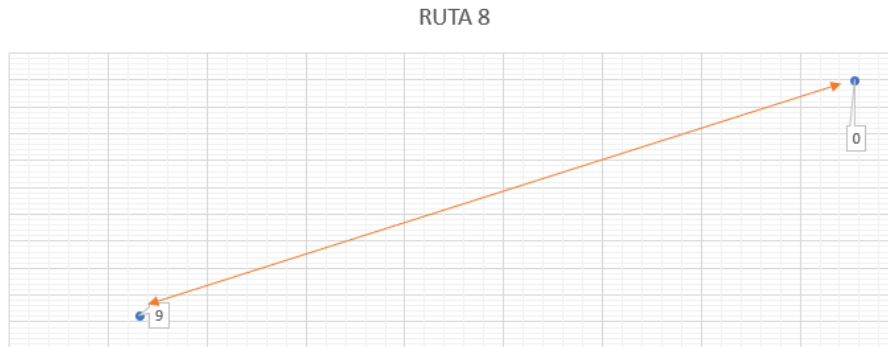
Figura 5. Grafica ruta 7



Fuente.Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-7-0) con un recorrido total de 23 km, con un tiempo aproximado de 42 min, con el respectivo vehículo N.7 asignado (Camioneta).

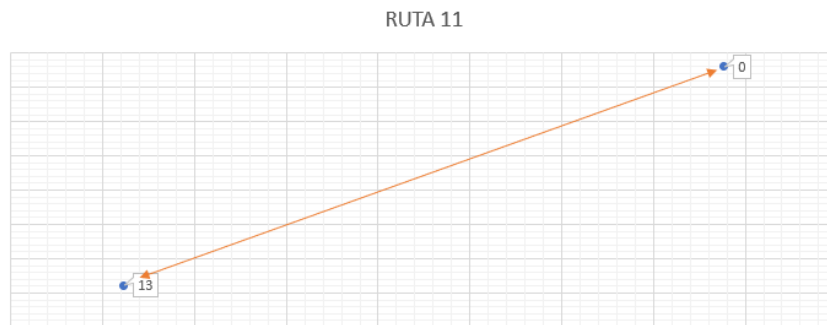
Figura 6. Grafica ruta 8



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-9-0) con un recorrido total de 22.7 km, con un tiempo aproximado de 30 min, con el respectivo vehículo N.8 asignado (Camioneta).

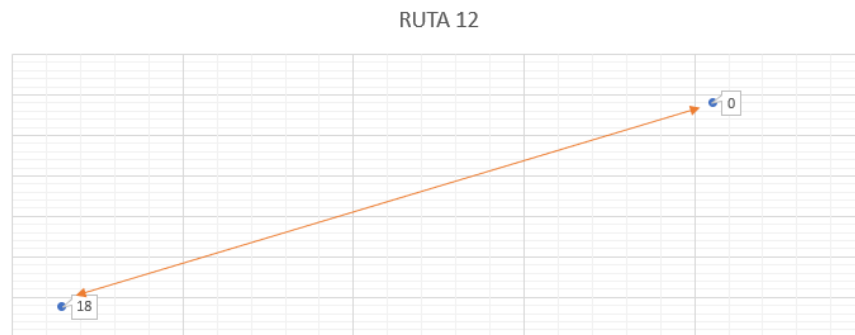
Figura 7. Grafica ruta 11



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-13-0) con un recorrido total de 1.4 km, con un tiempo aproximado de 8 min, con el respectivo vehículo N.11 asignado (Carguero) .

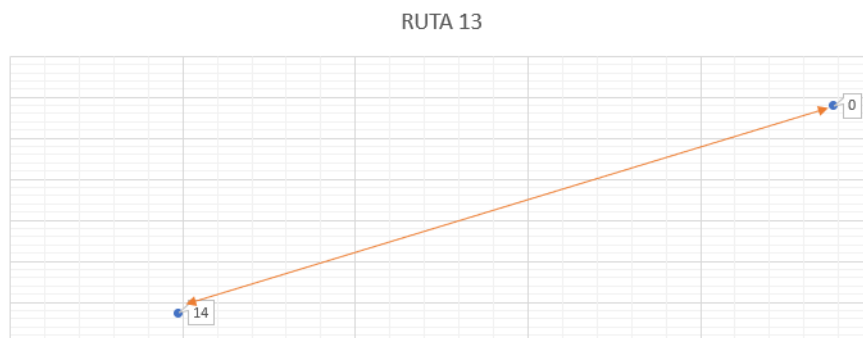
Figura 8. Grafica ruta 12



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-18-0) con un recorrido total de 2.1 km, con un tiempo aproximado de 10 min, con el respectivo vehículo N.12 asignado (Carguero).

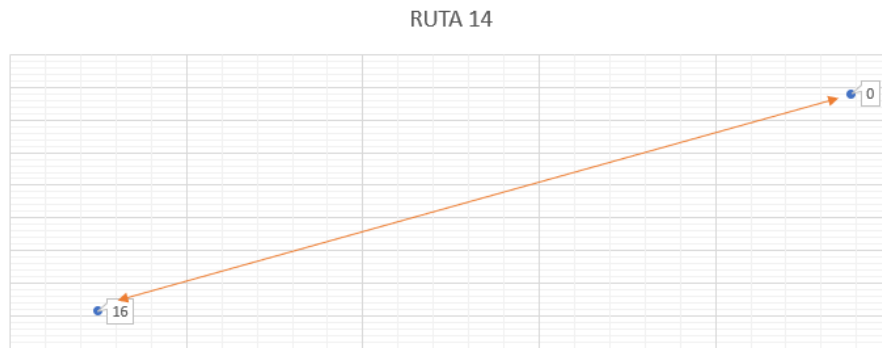
Figura 9. Grafica ruta 13



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-14-0) con un recorrido total de 1.6 km, con un tiempo aproximado de 7 min, con el respectivo vehículo N.14 asignado (Carguero).

Figura 10. Grafica ruta 14



Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia (0-16-0) con un recorrido total de 1.85 km, con un tiempo aproximado de 9 min, con el respectivo vehículo N.11 asignado (Carguero).

2.6 FORMULACIÓN DEL MODELO DE RUTEO

2.6.1 Conjuntos

- Conjunto de nodos asociados al índice i y j

$$NODOS = \{i | i \text{ es un nodo}, j | j \text{ es un nodo}\}$$

- Conjunto de arcos asociados al índice (i, j)

$$ARCOS = \{(i, j) | (i, j) \text{ es un arco}: i \in NODOS, j \in NODOS, i \neq j\}$$

2.6.2 Parámetros

- Parámetro N para las restricciones de eliminación de subrutas

$$\{N | N \in \mathbb{Z}, N > 2\}$$

- Costo por kilómetro*kilogramo recorrido en el tipo de transporte $\left[\frac{\$}{km/kg} \right]$

$$COSTOT \geq 0$$

- Distancia entre el nodo i y el nodo j [Km]

$$DISTANCIA_{ij} = \{(i, j) \in ARCOS\}$$

- Costo por kilómetro* kilogramo del recorrido entre el nodo i y el nodo j en el tipo de transporte $\left[\frac{\$}{km*kg}\right]$

$$C_{ij} = DISTANCIA_{ij} * COSTOT$$

2.6.3 Variables de decisión

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

$$\begin{cases} 1, \text{ si el arco entre el cliente } (i,j) \text{ es recorrido} \\ 0, \text{ de lo contrario} \end{cases}$$

$$U_{ij} \in NODOS : i \text{ y } j \geq 0$$

2.6.4 Función Objetivo

La función objetivo para el modelo caso de estudio busca minimizar el costo total de distribución, la cual tiene en cuenta el costo por kilómetro*kilogramo del recorrido entre el nodo i y el nodo j en el tipo de transporte asignado.

$$Z_{min} =$$

$$\sum_{i=0}^{19} \sum_{j=0}^{19} (X_{ij} * C_{ij})$$

2.6.5 Restricciones

- Restricción de un ingreso por nodo

$$\sum_{(i,j) \in ARCOS} X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in NODOS$$

- Restricción de una salida por nodo

$$\sum_{(j,i) \in ARCOS} X_{ji} = 1 \quad ; \forall i \in NODOS$$

- Restricciones de rompimiento de subrutas MTZ definidas (Miller et al, 1960).

$$(1) \quad U_i - U_j + N * X_{ij} \leq N - 1 \quad ; \forall (i,j) \in \text{ARCOS}: i <> j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$(2) \quad U_i \leq N - 1 - (n - 2) * X_{0i} \quad ; \forall i \in \text{NODOS}: i \geq 2$$

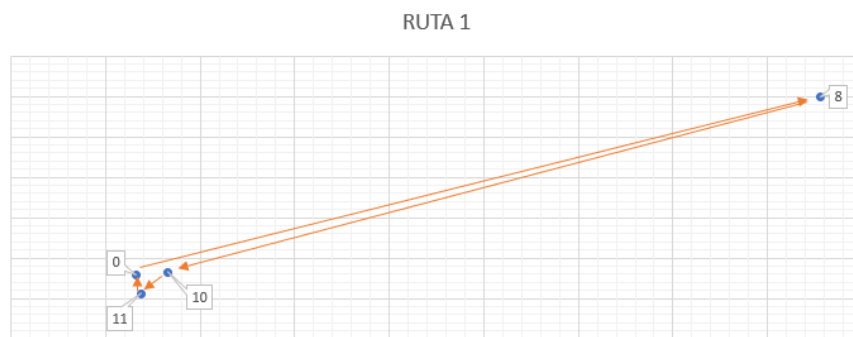
$$(3) \quad U_i \geq 1 + (N - 2) * X_{i0} \quad ; \forall i \in \text{NODOS}: i \geq 2$$

2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELO RUTEO

De acuerdo a la respuesta del modelo de asignación se obtiene los clientes que debe visitar cada vehiculo, arrojando en total 14 rutas con diferente tipo de transporte, por lo cual para las rutas (1,2,3,4,5,6,9,10) es necesario determinar el orden de entrega por medio del modelo de ruteo por haber sido asignado más de un cliente para un mismo vehiculo, ver tabla 3. Este planteamiento es el que se ingresa como datos de alimentación al modelo de ruteo para finalmente determinar la cantidad de producto a llevar del cliente i al cliente j.

Luego de haber sido ejecutado el modelo de ruteo se determina el sistema de distribución óptimo para la empresa caso de estudio obteniendo las 8 rutas faltantes, ver anexo R. A continuación se muestra el resultado de las rutas arrojadas, la distancia recorrida, el tiempo aproximado de distribución calculado con el aplicativo Google maps, el costo y las respectivas gráficas como verificación de que cumpla con las restricciones. Las gráficas se realizaron con las correspondientes coordenadas cartesianas en un plano X,Y, ver tabla 3.

Figura 11. Grafica ruta 1

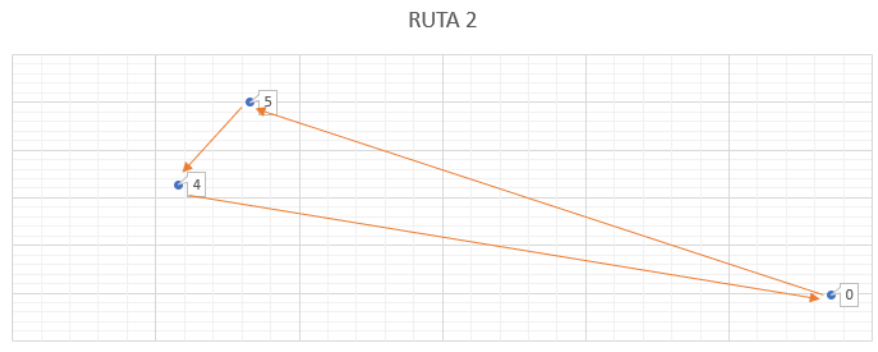


Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-8-10-11-0) con un

recorrido total de 21.92 km, con un tiempo aproximado de 31 min, con el respectivo vehiculo N.1 asignado (Camioneta).

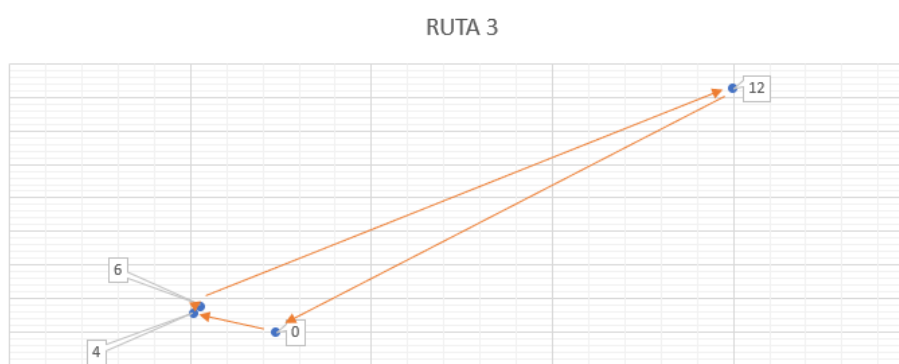
Figura 12. Grafica ruta 2



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-5-4-0) con un recorrido total de 24.3 km, con un tiempo aproximado de 47 min, con el respectivo vehiculo N.2 asignado (Camioneta).

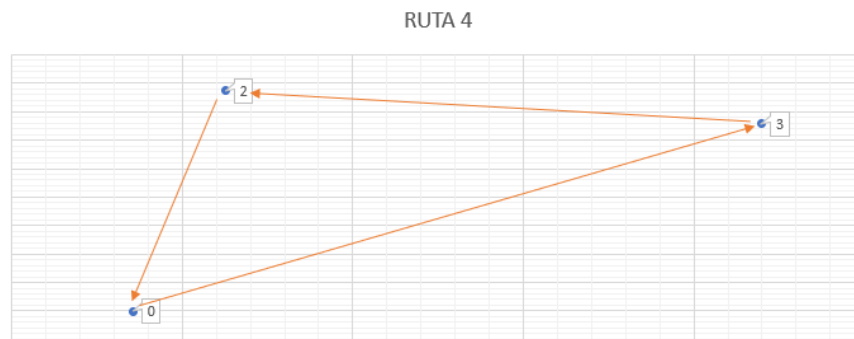
Figura 13. Grafica ruta 3



Fuente:Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-4-6-12-0) con un recorrido total de 159.4 km, con un tiempo aproximado de 199 min, con el respectivo vehiculo N.3 asignado (Camioneta).

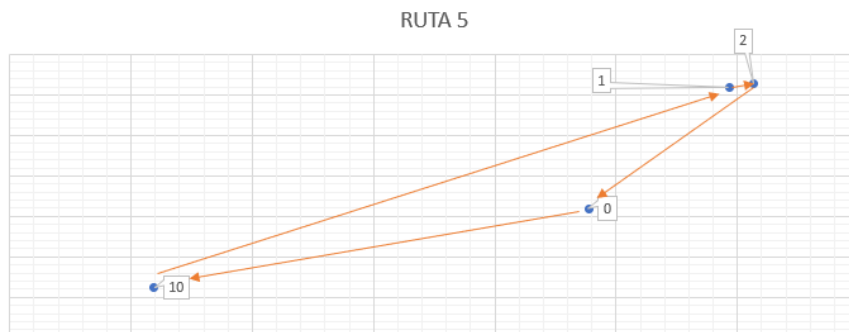
Figura 14. Grafica ruta 4



Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-3-2-0) con un recorrido total de 53.3 km, con un tiempo aproximado de 65 min, con el respectivo vehículo N.4 asignado (Camioneta).

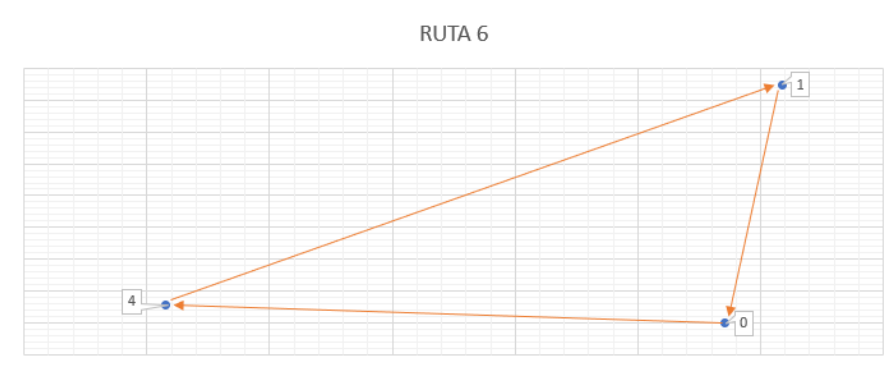
Figura 15. Grafica ruta 5



Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-10-1-2-0) con un recorrido total de 71.95 km, con un tiempo aproximado de 84 min, con el respectivo vehículo N.5 asignado (Camioneta).

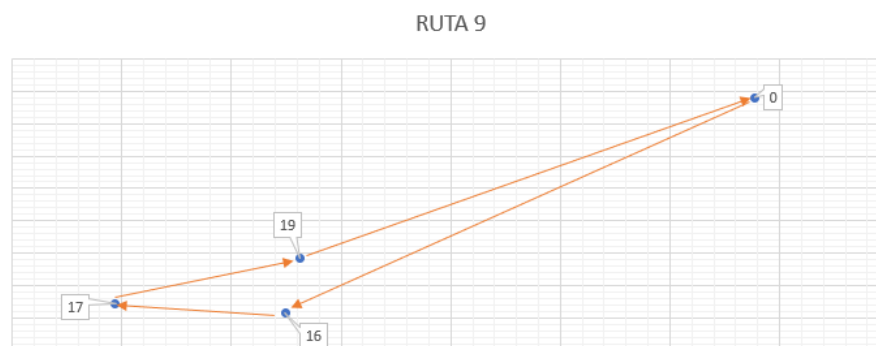
Figura 16. Grafica ruta 6



Fuente. Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-4-1-0) con un recorrido total de 58.1 km, con un tiempo aproximado de 79 min, con el respectivo vehículo N.6 asignado (Camioneta).

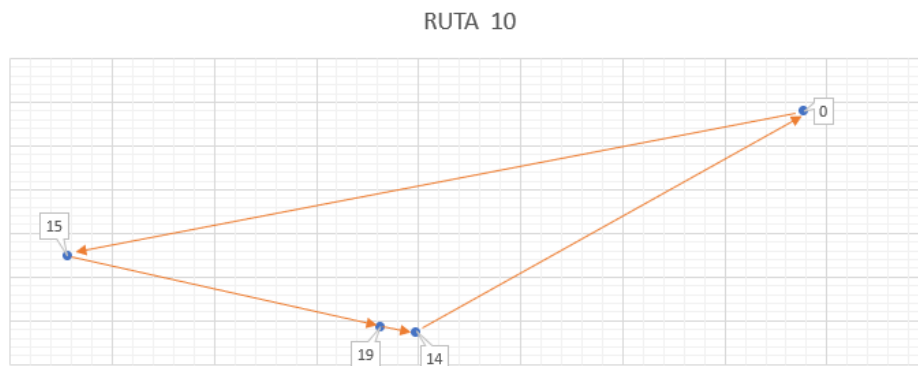
Figura 17. Grafica ruta 9



Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-16-17-19-0) con un recorrido total de 2.07 km, con un tiempo aproximado de 13 min, con el respectivo vehículo N.9 asignado (Carguero).

Figura 18. Grafica ruta 10



Fuente: Los autores

Como se observa en la anterior gráfica la ruta óptima en minimización de costos de transporte tiene una secuencia de visita para cada cliente (0-15-19-14-0) con un recorrido total de 1.94 km, con un tiempo aproximado de 11 min, con el respectivo vehículo N.9 asignado (Carguero).

3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Es importante mencionar que el análisis de sensibilidad se obtiene de la comparación con las rutas actuales establecidas en el anexo G. Se considero pertinente realizar dicho análisis con estas rutas, ya que como se menciono anteriormente las rutas no están establecidas debido a la fluctuación de la demanda, y no se considero realizarlo con los costos de transporte registrados por la empresa, porque estos costos abarcan la distribución de todos los productos, por lo cual, se asumió que esta estrategia se ajusta más al análisis costo/beneficio que se requiere.

En el análisis de los resultados arrojados por el modelo aplicado se puede observar que se obtuvo una mejora significativa en el índice del costo de transporte, ya que, al realizar una comparación, la variación entre el sistema actual y los resultados obtenidos representan un 37.27%, lo que claramente indica que el actual sistema representa grandes pérdidas para la empresa caso de estudio ya que no está funcionando de manera eficiente. Realizando una observación de otra variable clave como lo es el kilometraje recorrido se puede verificar que la variación es representativa al obtener un porcentaje de 15.04%, esto indica que este cambio en los costos básicamente se debe a que el modelo propuesto reduce la utilización del vehículo más costoso (carguero) de manera radical, realizando con este la distribución solo en el municipio de Zarzal, al que está sujeto. En cambio, decide utilizar el vehículo menos costoso y con más capacidad (camioneta) con un porcentaje de utilización de la capacidad del 79.5%, es por esto que se puede explicar la reducción del recorrido en kilómetros al realizar menos viajes.

Tabla 5. Comparación sistema actual vs propuesta

	KM	TIEMPO (MIN)	TIEMPO (H)	COSTO TRANS.	COSTO M.O.
PROPUESTO	445,628	624	10,4	\$ 100.769	\$ 46.582
				\$ 147.351	
ACTUAL	524,572	722	12,03333333	\$ 181.021	\$ 53.897
				\$ 234.918	
VARIACIÓN(%)	15,04922	13,5734072	13,5734072	37,27573919	

Fuente. Los autores

Para verificar el comportamiento de las variables se realizaron dos pruebas modificando el modelo propuesto. La primera prueba supone un aumento en la demanda de un 10%, ver anexo S y se obtiene una utilización de , en los resultados obtenidos se puede observar que la variación no es significativa ya que al realizar una comparación con la propuesta original, el costo total de transporte aumentó un 6.81% y aumenta un 3.83% en kilómetros recorridos, ver anexo T. Con base en lo anterior podemos deducir que el modelo continúa asignando el vehiculo (2) mas

costoso (carguero) solo para realizar la distribución en Zarzal y el vehículo (1) (camioneta) para realizar la distribución en los demás puntos con un porcentaje de utilización de la capacidad de un 87.5%, y aunque el aumento en los costos es muy poco, en realidad este porcentaje disminuye al tener en cuenta que la utilización de la capacidad aumento sin modificar mucho los índices de resultados del modelo propuesto originalmente. Adicional a ello se realizó una segunda prueba, para lo cual se establecieron iguales costos de transporte para ambos vehículos al modelo anteriormente modificado en la prueba 1, ver anexo U. Se logra observar que la asignación del carguero cambia, ya que lo incluye para realizar la distribución no solo en el municipio de zarzal, sino también en La Paila, Roldanillo, La Unión y La Victoria utilizando un porcentaje de 90.90% de la capacidad, incurriendo en un aumento bastante significativo de costos de un 75%, ver anexo V.

4. CONCLUSIONES

- Los costos de transporte representan un gran porcentaje en los gastos de las organizaciones, lo que frecuentemente motiva a realizar mejoras en el sistema de distribución.
- La asignación de los vehículos en la propuesta se determina principalmente por los costos de transporte en los que se incurre al utilizar un tipo de vehículo.
- La propuesta de los modelos de asignación y ruteo proveen un resultado positivo al cumplir con el objetivo principal de la investigación reflejando así la minimización de costos de transporte para la empresa caso de estudio.
- Los modelos pueden ser replicables y aunque su función es determinística, pueden adaptarse como una herramienta estocástica que la empresa puede utilizar al ajustar los parámetros adaptándolos a la realidad, generando un beneficio para el sistema de distribución.
- Se evidencio la deficiencia del sistema actual de distribución al obtener un porcentaje bastante significativo en la variación entre los resultados de lo propuesto y lo real.

5. RECOMENDACIONES

Dado que el sistema actual de distribución se realiza en un periodo de una semana y el modelo propuesto arroja que la distribución de la demanda calculada se puede concretar en un tiempo de 10.4 horas, se recomienda a la empresa restringir los horarios asignando los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes para la realización de pedidos y alistamiento de mercancía y que los días sábado y domingo se realice la distribución completa de los pedidos demandados, para que al inicio de semana los clientes ya dispongan de su materia prima en sus negocios. Esta propuesta se realiza para que al utilizar los modelos estos arrojen los mejores resultados posibles y sirvan como herramienta para la planificación eficiente de entrega de pedidos. Además, la distribución como se maneja actualmente es compleja de controlar, ya que la empresa debe contar con la capacidad de respuesta inmediata al despacho de un pedido que muy probablemente genere un alto costo de distribución y que motiva a que el sistema se maneje siempre de manera empírica.

BIBLIOGRAFÍA

- Anaya, J. (2015). *El transporte de mercancías (Enfoque logístico de la distribución)*. ESIC.
- Arboleda, J., López, A., & Lozano, Y. (2016). El problema de ruteo de vehiculos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística - Administración de la cadena de suministro*. Mexico: Pearson.
- Bermeo, E., & Carderón, J. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte.
- Correa, A., Cogollo, J., & Salazar, J. (2011). Solución de problemas de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad usando la teoría de grafos.
- Daza, J. M., Montoya, J., & Narducci, F. (2009). Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *EIA*.
- ELTIEMPO.COM. (1 de Enero de 2019). *EL TIEMPO*. Obtenido de Precios de gasolina bajaron desde este martes: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-precios-de-la-gasolina-para-el-ano-2019-310406>
- Escobar, J., Adarme, W., & Clavijo, N. (2017). Comparative analysis of granular neighborhoods in a tabu search for the vehicle routing problem with heterogeneous fleet and variable costs(HFVRP).
- Estevéz, P. (1997). Optimización mediante algoritmos genéticos.
- Gallard, J. (Julio de 2019). ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO METAHEURISTICO GRASP QUE PERMITA RESOLVER EL PROBLEMA DE RUTAS DE VEHICULOS CON CAPACIDAD . Lima.
- Gestal, M. (2014). Introducción a los algoritmos genéticos.
- González, E., Adarme, W., & Orjuela, J. (2014). Stochastic mathematical model for vehicle routing problem in collecting perishable products. *DYNA*.
- González, G., & González, F. (2006). metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1:formulación del problema . *Revista Ingeniería e investigación Vol 26 N°3*.
- González, J. L., & Ríos, R. (1999). Investigación de operaciones en acción:Aplicación del TSP en problemas de manufactura y logística. *Ingenierías*.

- Hidalgo, D., Oliva, M., Ortiz, P., & Pino, F. (14 de Octubre de 2013). EURISTIC ALGORITHMS, APPLICATIONS AND INSTANCES OF VEHICLE ROUTING PROBLEM.
- Jaque, A. (2008). Métodos aproximados para la solución del problema de enrutamiento de vehículos.
- Jaramillo, J. R. (2013). Algoritmo memético para resolver el problema de enrutamiento de vehículos con capacidad limitada. *EIA*.
- Londoño, M. (s.f.). *TRANSPORTE SUS MATERIALES Y HERRAMIENTAS DE FORMA PRÁCTICA*. Obtenido de periódico a la obra maestros: <https://maestros.com.co/buenas-practicas/trasporte-sus-materiales-herramientas-forma-practica/>
- Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., & Vanegas, B. (2009). El problema de las rutas de vehículos: Extensiones y métodos de resolución, estado del arte. *WORKSHOP INTERNATIONAL EIG 2009*, 8.
- Medioreal Carrillo, A. F. (2014). Modelo de ruteo de vehículos para la distribución de las empresas Laboratorios Veterland, Laboratorios Callbest y Cosméticos Marliou Paris. Bogotá, Colombia.
- Mercado, V., Villagra, A., Pandolfi, D., & Leguizamón, G. (s.f.). Algoritmos Evolutivos Multirecombinativos Híbridos Aplicados al Problema de Vehículos con Capacidad Limitada.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. *Journal of the ACM (JAM)*.
- Orrego, J. P., Ospina, D., & Toro, E. (2016). Solución al problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística. *Scientia et Technica año XXI*.
- Puenayán, D., Londoño, J., Escobar, J. W., & Linfati, R. (2014). Un algoritmo basado en búsqueda tabú granular para la solución de un problema de ruteo de vehículos considerando flota heterogénea. *Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Quintero, T. (2012). Algoritmo híbrido basado en un método de aproximaciones sucesivas para el problema de ruteo de vehículos heterogéneo. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.
- Rocha, L., González, E., & Orjuela, J. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución.
- Rodríguez, J. (Enero de 2010). Análisis de algoritmos basados en colonias de hormigas en problemas de camino mínimo.

- Tarantilis, Zachariadis, & Kiranoudis. (2008). A guided tabu search for the heterogeneous vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*.
- Vidal, C. J. (2011). *INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE Y OPTIMIZACIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO*. Santiago de Cali, COLOMBIA: Programa Editorial-Universidad del Valle.

ANEXOS

ANEXO A. Ubicación geográfica de puntos de distribución

NODO	Municipio	Nombre	Latitud	Longitud	x [km]	y [km]
0	Zarzal	CEDI	4.399240	-76.068459	-61726445847	4859798537
1	La union	Cliente 1	4.535314	-76.102416	-61724132474	5009815042
2	La union	Cliente 2	4.539582	-76.102304	-61723740175	5014519909
3	La victoria	Cliente 3	4.518520	-76.036761	-61708013819	4991301765
4	Roldanillo	Cliente 4	4.409746	-76.157182	-61749216013	4871381978
5	Roldanillo	Cliente 5	4.417581	-76.150235	-61746723272	4880020390
6	Roldanillo	Cliente 6	4.413526	-76.150837	-61747218412	4875549595
7	Roldanillo	Cliente 7	4.410436	-76.155341	-61748670100	4872142735
8	La Paila	Cliente 8	4.320500	-76.070239	-61733346132	4772978304
9	La Paila	Cliente 9	4.319958	-76.071320	-61733678825	4772380654
10	La Paila	Cliente 10	4.319942	-76.071092	-61733619193	4762363011
11	La Paila	Cliente 11	4.319519	-76.071160	-61733671561	4771896579
12	Calarca	Cliente 12	4.531276	-75.643235	-61600096995	5005363693
13	Zarzal	Cliente 13	4.396351	-76.072465	-61727754037	4856613228
14	Zarzal	Cliente 14	4.394663	-76.069891	-61727205138	4854752094
15	Zarzal	Cliente 15	4.396243	-76.072938	-61727889291	4856494151
16	Zarzal	Cliente 16	4.393200	-76.069801	-61727301390	4853139034
17	Zarzal	Cliente 17	4.393484	-76.071052	-61727612316	4853452164
18	Zarzal	Cliente 18	4.394676	-76.074199	-61728355063	4854766427
19	Zarzal	Cliente 19	4.394761	-76.070186	-61727275907	4854860146

Fuente: Los Autores.

ANEXO B. Matriz de distancia

		CEDI																			
			DISTANCIA[i,j]																		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CEDI	0	.	25.2	27.1	17.6	12.8	10.3	10.7	11.6	9.5	9.7	9.7	9.7	69.9	0.7	0.9	0.75	1	1	1	0.85
Ciente 1	1	24.6	.	0.75	9	21	17.6	18.9	19.3	33.3	33.5	33.5	33.5	92.1	25	24.9	25.1	25.6	25.1	25.3	24.9
Ciente 2	2	26.4	0.55	.	9.6	22.8	19.3	20.7	21.1	35.1	35.2	35.2	35.3	93.9	26.7	26.6	26.8	27.4	26.8	27.1	26.7
Ciente 3	3	16.7	8.6	9.3	.	25.5	22.1	23.4	23.8	25.4	25.5	25.5	25.5	84.1	17	16.9	17.1	17.6	17.1	17.3	17
Ciente 4	4	12.6	20.7	22.6	25.4	.	1.5	1.1	0.4	19.7	19.9	19.8	19.9	78.5	12.3	12.4	12.3	12.2	12	12.1	12.5
Ciente 5	5	10.4	17.3	19.2	22	1.4	.	0.75	1.3	17.5	17.6	17.6	17.6	76.3	10.1	10.2	10.1	10	9.8	9.8	10.3
Ciente 6	6	10.3	18.4	20.3	23.1	1.1	0.55	.	0.95	17.4	17.5	17.5	17.6	76.2	10	10.1	10	9.9	9.7	9.8	10.2
Ciente 7	7	11.4	19.5	21.4	24.2	0.45	1.2	0.8	.	18.4	18.6	18.6	18.6	77.2	11.1	11.2	11	11	10.8	10.8	11.2
Ciente 8	8	13	35.2	37.1	27.6	22.2	19.7	20.1	21	.	0.17	0.15	0.18	62.1	11.2	11	11.2	10.8	10.8	11	11.1
Ciente 9	9	13	35.2	37.1	27.6	22.2	19.7	20.1	21	0.26	.	0,025	0.097	62.1	11.2	11	11.2	10.8	10.8	11	11.1
Ciente 10	10	13	35.1	37.1	27.5	22.1	19.7	20.1	20.9	0.28	0,025	.	0.072	62.1	11.2	11	11.2	10.8	10.8	10.9	11.1
Ciente 11	11	12.2	35.1	37	27.5	22	19.6	20	20.9	0.4	0.22	0.24	.	62	11.1	10.9	11.1	10.7	10.7	10.9	11
Ciente 12	12	69.3	93	94.9	85.4	80	77.5	77.9	78.8	60.9	61.1	61.1	61.1	.	67.5	67.3	67.5	67.1	67.1	67.3	67.4
Ciente 13	13	0.7	25.3	27.2	17.7	12.2	9.8	10.2	11.1	9	9.1	9.1	9.1	67.7	.	0.4	0.076	0.55	0.55	0.28	0.35
Ciente 14	14	0.7	25.2	27.1	17.6	12.4	9.9	10.3	11.2	8.6	8.8	8.8	8.8	67.4	0.4	.	0.4	0.19	0.18	0.6	0.035
Ciente 15	15	0.8	25.4	27.3	17.8	12.2	9.8	10.1	11	8.9	9.1	9.1	9.1	67.7	0.076	0.4	.	0.65	0.65	0.26	0.45
Ciente 16	16	0.85	25.9	27.8	18.3	12.4	9.9	10.3	11.2	8.4	8.6	8.6	8.6	67.2	0.6	0.18	0.6	.	0.23	0.6	0.21
Ciente 17	17	0.85	25.3	27.3	17.7	9.7	9.8	10.1	11	8.5	8.7	8.7	8.7	67.3	0.55	0.18	0.5	0.23	.	0.45	0.19
Ciente 18	18	1.1	25.7	27.6	18.1	12	9.5	9.9	10.8	8.7	8.9	8.9	8.9	67.5	0.28	0.7	0.26	0.8	0.6	.	0.65
Ciente 19	19	0.65	25.2	27.1	17.6	12.6	10.1	10.5	11.4	8.6	8.8	8.8	8.8	67.4	0.35	0.036	0.45	0.19	0.19	0.6	.

Fuente: Los Autores.

ANEXO C. Características de vehículos

Vehículo	Tipo de Vehículo	Capacidad [kg]
Nissan Frontier	Camioneta	1500
AKT 3W 200	Carguero	600

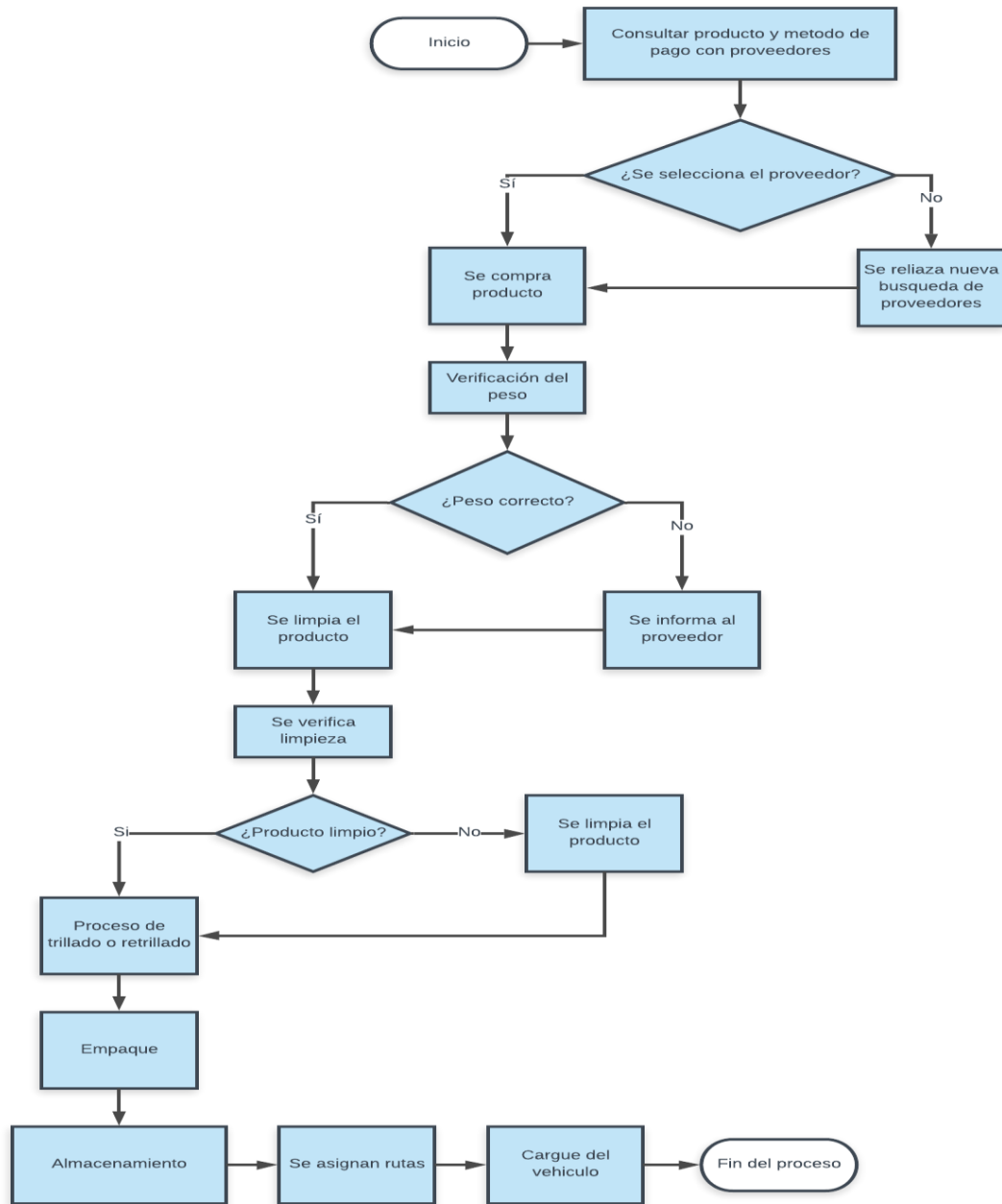
Fuente: Los Autores.

ANEXO D. Demanda de clientes

Nombre	Municipio	Demanda retrillado blanco [kg/sem]
Cliente 1	La Unión	1200
Cliente 2	La Unión	1000
Cliente 3	La Victoria	1298
Cliente 4	Roldanillo	2400
Cliente 5	Roldanillo	200
Cliente 6	Roldanillo	97
Cliente 7	Roldanillo	600
Cliente 8	La Paila	985
Cliente 9	La Paila	200
Cliente 10	La Paila	250
Cliente 11	La Paila	290
Cliente 12	Calarca	1000
Cliente 13	Zarzal	200
Cliente 14	Zarzal	300
Cliente 15	Zarzal	245
Cliente 16	Zarzal	700
Cliente 17	Zarzal	390
Cliente 18	Zarzal	300
Cliente 19	Zarzal	300
Sumatoria		11955

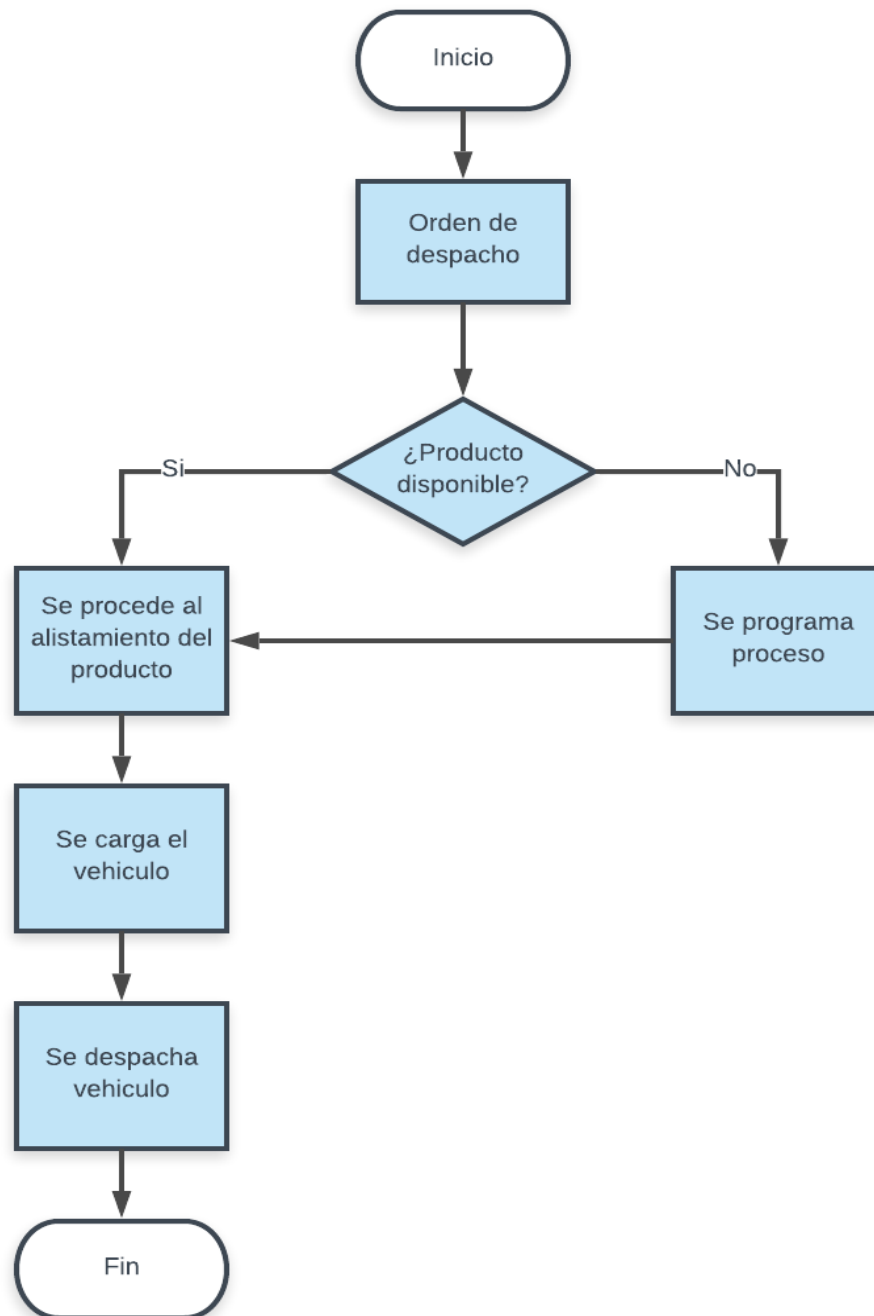
Fuente: Los Autores.

ANEXO E. Diagrama de flujo de proceso organizacional



Fuente: Los Autores.

ANEXO F. Diagrama de logística de despacho



Fuente: Los Autores.

ANEXO G. Rutas actuales

Ruta 1.

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	13	200	2	0,7	3
13	14	200	2	0,4	3
14	15	150	2	0,4	3
15	0	0	2	0,8	4
		550		2,3	13
				%(hora)	0,2166667
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	344
\$	197
\$	148
\$	2
\$	691
\$	1.661

Fuente: Los Autores.

Ruta 2

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	16	100	2	1	5
16	17	300	2	0,23	2
17	0	0	2	0,85	4
		400		2,08	11
				%(hora)	0,1833333
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	246
\$	170
\$	2
\$	418
\$	1.239

Fuente: Los Autores.

Ruta 3

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	5	200	2	10,3	17
5	6	100	2	0,75	4
6	8	200	2	17,4	21
8	0	0	2	13	13
		500		41,45	55
				%(hora)	0,9166667
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	5.068
\$	185
\$	8.561
\$	32
\$	13.845
\$	17.951

Fuente: Los Autores.

Ruta 4

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	18	300	2	1	4
18	19	300	2	0,65	4
19	0	0	2	650	3
		600		651,65	11
				%(hora)	0,1833333
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	738
\$	480
\$	1.599
\$	2.817
\$	3.638

Fuente: Los Autores.

Ruta 5

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	10	250	1	11,2	13
10	11	200	1	0,072	2
11	12	1000	1	62	77
12	0	0	1	70,8	85
		1450		144,072	177
				%(hora)	2,95
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	1.568
\$	8
\$	35
\$	40
\$	1.650
\$	14.863

Fuente: Los Autores.

Ruta 6

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	8	200	2	11,1	13
8	9	200	2	0,17	2
9	0	0	2	13	13
		400		24,27	28
				%(hora)	0,4666667
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	5.461
\$	84
\$	32
\$	5.577
\$	7.667

Fuente: Los Autores.

Ruta 7

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	8	600	2	11,1	13
8	0	0	2	13	13
		600		24,1	26
				%(hora)	0,4333333
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	16.384
\$	32
\$	16.416
\$	18.356

Fuente: Los Autores.

Ruta 8

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	16	600	2	1	5
16	0	0	2	0,85	4
		600		1,85	9
				%(hora)	0,15
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	1.476
\$	2
\$	1.478
\$	2.150

Fuente: Los Autores.

Ruta 9

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	14	100	2	0,9	4
14	15	100	2	0,4	3
15	17	100	2	0,65	4
17	0	0	2	0,85	4
		300		2,8	15
				%(hora)	0,25
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	221
\$	98
\$	160
\$	2
\$	482
\$	1.602

Fuente: Los Autores.

Ruta 10

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	1	1200	1	25,2	31
1	0	0	1	24,6	29
		1200		49,8	60
				%(hora)	1
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	22.982
\$	19
\$	23.001
\$	27.480

Fuente: Los Autores.

Ruta 11

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	4	600	2	12,8	21
4	0	0	2	12,6	21
		600		25,4	42
				%(hora)	0,7
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	18.893
\$	31
\$	18.924
\$	22.059

Fuente: Los Autores.

Ruta 12

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	4	600	2	12,8	21
4	0	0	2	12,6	21
		600		25,4	42
				%(hora)	0,7
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	18.893
\$	31
\$	18.924
\$	22.059

Fuente: Los Autores.

Ruta 13

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	4	600	2	12,8	21

COSTO T	
\$	18.893

4	0	0	2	12,6	21
		600		25,4	42
				%(hora)	0,7
				M.O. (H)	4479

\$	31
\$	18.924
\$	22.059

Fuente: Los Autores.

Ruta 14

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	4	600	2	12,8	21
4	0	0	2	12,6	21
		600		25,4	42
				%(hora)	0,7
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	18.893
\$	31
\$	18.924
\$	22.059

Fuente: Los Autores.

Ruta 15

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	7	600	2	11,6	21
7	0	0	2	11,4	22
		600		23	43
				%(hora)	0,7166667
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	17.122
\$	28
\$	17.150
\$	20.360

Fuente: Los Autores.

Ruta 16

CALCULO					
X					
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp
0	3	1300	1	17,6	19
3	0	0	1	16,7	17
		1300		34,3	36
				%(hora)	0,6
				M.O. (H)	4479

COSTO T	
\$	12.813
\$	9
\$	12.822
\$	15.510

Fuente: Los Autores.

Ruta 17

CALCULO							
X							
i	j	Cant.	Trans.	Dist.	tmp	COSTO T	
0	2	1000	1	27,1	33	\$	15.176
2	11	100	1	35,3	35	\$	1.977
11	0	0	1	12,9	13	\$	7
		1100		75,3	81	\$	17.160
				% (hora)	1,35	\$	23.207
				M.O. (H)	4479		

Fuente: Los Autores.

ANEXO H. Costo promedio alquiler camioneta

COSTO DE TRANSPORTE CAMIONETA (KM)			
MUNICIPIO	RECORRIDO IDA Y VUELTA HASTA EL CEDI [KM]	PRECIO TOTAL	PRECIO/KM
Calarca	139	\$ 110.000	\$ 790
Roldanillo	19,4	\$ 20.000	\$ 1.031
La Union	51,4	\$ 30.000	\$ 584
La Victoria	37,4	\$ 25.000	\$ 668
La Paila	17,8	\$ 20.000	\$ 1.124
PROMEDIO			\$ 839

Fuente: Los Autores.

ANEXO I. Costo variable alquiler camioneta

COSTO DE TRANSPORTE CAMIONETA (KM*KG)		
PROMEDIO \$/KM	CAPACIDAD VEHICULO (KG)	PROMEDIO \$/KM*KG
\$ 839	1500	\$ 0,56

Fuente: Los Autores.

ANEXO J. Costo alquiler carguero

COSTO DE ALQUILER CARGUERO (KM*KG)		
ALQUILER DEL VEHICULO (\$)	CAPACIDAD (KG)	RECORRIDO (KM)
30000	600	20,36
COSTO	2,4557957	

Fuente: Los Autores.

ANEXO K. Promedio de recorrido de carguero

SEMANA	RECORRIDO (KM/SEM)
SEMANA 1	18,16
SEMANA 2	15,6
SEMANA 3	22
SEMANA 4	25,68
PROMEDIO	20,36

Fuente: Los Autores.

ANEXO L. Costo combustible carguero

COSTO DE COMBUSTIBLE (KM*KG)		
CONSUMO COMBUSTIBLE KM/GAL	GALON (\$)	PRECIO/KM
60	9514	0,006306496
CAPACIDAD DEL VEHICULO (kg)	600	
PRECIO	1,05E-05	

Fuente: Los Autores.

ANEXO M. Costo total carguero

TOTAL COSTOS DE TRANSPORTE CARGUERO		
COSTO ALQUILER	COSTO COMBUSTIBLE	TOTAL COSTOS
2,4557957	1,05E-05	2,46

Fuente: Los Autores.

ANEXO N. Costos fijos de transporte

COSTOS FIJOS (carguero y camioneta)	
Salario y prestaciones	\$ 1.075.000
Salario/día	\$ 35.833
Salario/hora	\$ 4.479

Fuente: Los Autores.

ANEXO O. Modificación de la demanda

DEMANDA ORIGINAL	APROXIMACIÓN VALOR ENTERO
1200	1200
1000	1000
1298	1300
2400	2400
200	200
97	100
600	600
985	1000
200	200
250	250
290	300
1000	1000
200	200
300	300
245	250
700	700
390	400
300	300
300	300
11955	12000

Fuente: Los Autores.

ANEXO P. Vehículos requeridos para cubrir la demanda

DEMANDA	12000
CAPACIDAD VEHICULO	
1	1500

TRANSPORTE	CAPACIDAD
1	1500

CAPACIDAD VEHICULO 2	600
CANT. REQUERIDA VEH 1	8
CANT. REQUERIDA VEH 2	20

2	1500
3	1500
4	1500
5	1500
6	1500
7	1500
8	1500
9	600
10	600
11	600
12	600
13	600
14	600
15	600
16	600
17	600
18	600
19	600
20	600
21	600
22	600
23	600
24	600
25	600
26	600
27	600
28	600

Fuente: Los Autores.

ANEXO Q. Solución modelo de asignación

cliente i satisfecho por la bodega j con el transporte $k =$

```
X [A,*,*]
:      1      2      3      4      5      :=
2      0.0      0.0      0.0    1300.0    200.0
3      0.0      0.0      0.0     400.0      0.0
4      0.0    200.0    1300.0       0.0      0.0
5     650.0    800.0       0.0       0.0      0.0
6     550.0       0.0       0.0     700.0      0.0

:      6      7      8      9     10      :=
1      0.0      0.0    1000.0       0.0    200.0
3     100.0      0.0       0.0       0.0      0.0
5       0.0      0.0       0.0       0.0     50.0
7       0.0    600.0       0.0       0.0      0.0
8       0.0      0.0       0.0     200.0      0.0

:     11     12     13     14     15      :=
1     300.0       0.0       0.0       0.0      0.0
3       0.0    1000.0       0.0       0.0      0.0
10      0.0       0.0       0.0    150.0    250.0
11      0.0       0.0    200.0       0.0      0.0
14      0.0       0.0       0.0    150.0      0.0

:     16     17     18     19      :=
9     100.0    400.0       0.0    100.0
10      0.0      0.0       0.0    200.0
12      0.0      0.0    300.0       0.0
15     600.0      0.0       0.0       0.0
;
```

Fuente: Los Autores.

ANEXO R. Resultados arrojados para rutas faltantes

Resultado ruta 1

RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE $t =$

```
X :=
0 1  1.0
1 2  1.0
2 3  1.0
3 0  1.0
;
```

Fuente:NEOS Server

Resultado ruta 2

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 2    1.0  
1 0    1.0  
2 1    1.0  
;
```

Fuente:NEOS Server

Resultado ruta 3

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 1    1.0  
1 2    1.0  
2 3    1.0  
3 0    1.0  
;
```

Fuente:NEOS Server

Resultado ruta 4

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 2    1.0  
1 0    1.0  
2 1    1.0  
;
```

Fuente :NEOS Server

Resultado ruta 5

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 3    1.0  
1 2    1.0  
2 0    1.0  
3 1    1.0  
;
```

Fuente :NEOS Server

Resultado ruta 6

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 2    1.0  
1 0    1.0  
2 1    1.0  
;
```

Fuente :NEOS Server

Resultado ruta 9

```
RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE t =  
  
X :=  
0 1    1.0  
1 2    1.0  
2 3    1.0  
3 0    1.0  
;
```

Fuente :NEOS Server

Resultado ruta 10

RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j POR EL TIPO DE TRANSPORTE $t =$

```
X :=
0 2  1.0
1 0  1.0
2 3  1.0
3 1  1.0
;
```

Fuente:NEOS Server

ANEXO S. Aumento de demanda 10%

DEMANDA	AUMENTO 10%
1200	1320
1000	1100
1300	1430
2400	2640
200	220
100	110
600	660
1000	1100
200	220
250	275
300	330
1000	1100
200	220
300	330
250	275
700	770
400	440
300	330
300	330
12000	13200

Fuente: Los Autores.

ANEXO T. Porcentaje de variación resultado prueba 1

PRUEBA 1	KM	TIEMPO (MIN)	TIEMPO (H)	COSTO TRANS.	COSTO M.O.
	463,399	657	10,95	\$ 109.069	\$ 49.045
VARIACION MODELO PROP.	3,83449	5,02283	5,02283	\$	158.114
				\$	6,81

Fuente: Los Autores.

ANEXO U. Costos iguales para tipos de transporte

TRANSPORTES	COSTO
1	2.46
2	2.46

Fuente: Los Autores.

ANEXO V. Porcentaje de variación prueba 2

PRUEBA 2	KM	TIEMPO (MIN)	TIEMPO (H)	COSTO TRANS.	COSTO M.O.
	729,5	961	16,0167	\$ 524.848	\$ 71.739
VARIACIÓN MODELO PROP.	38,91	35,0676	35,0676	\$	596.587
				\$	75

Fuente: Los Autores.