

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

“OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE CAÑA DE AZÚCAR DESDE LA ZONA DE COSECHA A LA PLANTA PROCESADORA DE UN INGENIO AZUCARERO MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE TRANSPORTE CAPACITADO CVRP, Y UN MODELO DE SIMULACIÓN DE TEORÍA DE COLAS DE MÁRKOV”

AUTOR:

Ing. Pablo Patricio Cárdenas González

Guayaquil - Ecuador

2018

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado fortaleza en toda esta etapa del programa de Maestría por darme la sabiduría, paciencia perseverancia para seguir adelante y culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi esposa, a mis hijos, a mis padres, a toda mi familia que en todo momento me apoyaron, durante el tiempo que duro este proceso que ha sido largo, pero no imposible para poder lograr, culminar y llegar con éxito hasta el final.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS y todos los Docentes que estuvieron en todo este tiempo de la Maestría impartiendo sus enseñanzas y a quienes aportaron con un granito de arena en cada etapa de este programa.

Mis más sinceros agradecimientos a las personas que estuvieron presentes apoyándome en momentos difíciles y que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento para poder terminar mis estudios.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Postgrados** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

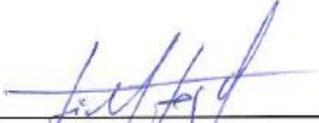


Pablo Cárdenas González

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



M.Sc. David De Santis Bermeo
PRESIDENTE



M.Sc. Víctor Vega Chica
DIRECTOR



M.Sc. Pedro Ramos De Santis
VOCAL



M.Sc. Nadia Cárdenas Escobar.
VOCAL

AUTOR DEL PROYECTO



Pablo Cárdenas González

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XI
CAPÍTULO 1	
Generalidades, Antecedentes, Planteamiento y Justificación del Problema, Objetivos y Metodología.....	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1 Introducción	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.2.1 Demanda de caña de azúcar para la molienda.....	4
1.3. Planteamiento del Problema.....	5
1.4. Justificación del problema.....	9
1.5. Objetivo General	10
1.6. Objetivos Específicos.....	10
1.7. Metodología.....	11
CAPÍTULO 2.....	14
Marco Teórico, Estado del Arte y Análisis de la situación actual	14
2.1. Marco Teórico	14
2.1.1 Cosecha de caña	14
2.1.3 Cosecha Manual	15
2.1.4 Cosecha Mecanizada.....	16
2.1.5 Transporte de caña.....	18
2.1.6 Problema de ruteo con capacidades CVRP	22
2.1.7 Sistema de colas.....	24
2.2. Estado del Arte.....	25
2.3. Análisis de la situación actual	29
CAPÍTULO 3.....	35
Diseño de la solución	35
3.1. Introducción	35
3.2. Descripción de maquinarias y equipos.....	35
3.3. Estructura de los frentes de corte	35
3.3.1 Frente 1 y Frente 2.....	36
3.3.2 Frente 3 y Frente 4.....	36
3.3.3 Frente 5 y Frente 6.....	37
3.4. Criterios para la ubicación de cada frente	37
3.5. Estructura de los lotes de caña.....	39
3.6. Cosechabilidad o rendimiento del lote	40
3.7. Disponibilidad de recursos	40
3.7.1 Capacidad de cosechadoras.....	41
3.7.2 Capacidad de alzadoras	41

3.7.3 Capacidad de camiones	41
3.7.4 Capacidad de carretones	42
3.8. Descripción del patio de caña.....	42
3.9. Descripción del ciclo de transporte	43
3.9.1 Tiempo en la cola de espera.....	43
3.9.2 Tiempo de carga	43
3.9.3 Tiempo de transito con carga.....	44
3.9.4 Tiempo de transito sin carga.....	44
3.9.5 Tiempo de espera en fábrica	44
3.10. Velocidad en tránsito de camiones y carretones	45
3.11. Planificación de la demanda.....	45
3.12. Distribución del corte basados en los estimados del rendimiento del lote	47
3.13. Distribución de corte mecánico.....	48
3.13.1 Caña por transportar de corte mecánico.....	50
3.14. Distribución del corte manual.....	51
3.14.1 Caña por transportar de corte manual	53
3.15. Planificación del transporte.....	54
3.15.1 Análisis de dimensionamiento de la flota vehicular	56
3.16. Análisis de la demanda para la simulación	58
3.17. Simulación	59
3.17.1 Resultados de la simulación del escenario 1	60
3.17.2 Resultados de la simulación del escenario 2	65
3.17.2 Resultados de la simulación del escenario 3	67
3.18. Función Objetivo.....	70
3.18.1 Restricciones	70
3.18.2 Resultados obtenidos de la optimización en Gams validados con un escenario real.....	72
CAPÍTULO 4.....	79
Conclusiones y Recomendaciones.....	79
4.1. Conclusiones y Recomendaciones	79
4.1.1 Conclusiones	79
4.1.2 Recomendaciones	80
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	86
GLOSARIO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción Nacional en toneladas de azúcar por Ingenio	4
Tabla 2. Cuadro referencial de la demanda de caña	5
Tabla 3. Toneladas de caña transportada en el año 2017	6
Tabla 4. Distribución de Toneladas de caña trasportada en el 2017	6
Tabla 5. Capacidades de las unidades de carga	21
Tabla 6. Costos de transporte año 2017	30
Tabla 7. Costos de transporte en camiones año 2017	31
Tabla 8. Costos de transporte en carretones año 2017	32
Tabla 9. Frentes de cortes de caña.....	36
Tabla 10. Clasificación de rutas	37
Tabla 11. Clasificación de lotes por su nivel de producción.....	38
Tabla 12. Clasificación de longitud del lote	40
Tabla 13. Clasificación de rendimientos del lote	40
Tabla 14. Disponibilidad de equipos	41
Tabla 15. Capacidad molienda y distribución de mesas de carga	42
Tabla 16. Tiempos de llenado de carretas con cosechadoras	43
Tabla 17. Tiempos de llenado de camiones con cosechadoras	43
Tabla 18. Tiempos de llenado de camiones con alzadoras	44
Tabla 19. Tiempos de transito de las unidades de carga	44
Tabla 20. Tiempos de espera en los patios, y tiempos de descarga.....	45
Tabla 21. Rango de velocidades permitidas	45
Tabla 22. Demanda quincenal en toneladas a transportarse.....	46
Tabla 23. Demanda quincenal en toneladas según su tipo de corte.....	47
Tabla 24. Distribución de la demanda según su capacidad por frente	49
Tabla 25. Distribución de la demanda según su capacidad por frente.....	50
Tabla 26. Distribución de la demanda según su capacidad por frente y tipo de corte	52
Tabla 27. Distribución de la demanda según su capacidad por frente y tipo de corte	53
Tabla 28. Demanda de transporte diario.....	55
Tabla 29. Disponibilidad de recursos para la operación	56
Tabla 30. Porcentaje de capacidad operativa	57
Tabla 31. Escenarios para la simulación corte mecánico	59
Tabla 32. Escenarios para la simulación de corte manual	59
Tabla 33. Escenarios para la simulación de corte mecánico	60

Tabla 34. Tiempo de trabajo de las maquinas	60
Tabla 35. Tiempo promedio de carga por tonelada.....	61
Tabla 36. Rendimiento de maquinaria	62
Tabla 37. Tiempo de las unidades de carga	63
Tabla 38. Tiempo promedio de toneladas y viajes al día escenario 1	64
Tabla 39. Tiempo promedio de toneladas y viajes al día escenario 2	66
Tabla 40. Tiempo promedio de toneladas y viajes al día escenario 3	67
Tabla 41. Costos operativos zafra 2017.....	72
Tabla 42. Costos operativos diarios zafra 2017	72
Tabla 43. Costos quincenales de la estrategia propuesta.....	75
Tabla 44. Costos diarios de la estrategia propuesta	75
Tabla 45. Validación de ahorros del modelo propuesto	75
Tabla 46. Indicador de peso.....	76
Tabla 47. Indicador de cumplimiento de ruta	77
Tabla 48. Indicador de cuotas diarias	77
Tabla 49. Control de planificación de mantenimientos.....	78

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Producción nacional en toneladas de azúcar por Ingenio	4
Gráfico 2: Transporte de caña en ton. producción propia y de terceros.....	6
Gráfico 3: Diagrama Causa efecto del problema actual	7
Gráfico 4: Comportamiento de la zafra 2017	31
Gráfico 5: Costos en camiones zafra 2017	32
Gráfico 6: Comportamiento en carretones de la zafra 2017.....	33
Gráfico 7: Costos en carretones zafra 2017.....	33
Gráfico 8: Comportamientos de la demanda de caña	46
Gráfico 9: Comportamiento de la demanda de caña según su tipo de Corte ..	48
Gráfico 10: Distribución de la demanda según su capacidad por frente	49
Gráfico 11: Comportamiento de los frentes de corte.....	51
Gráfico 12: Distribución de la demanda según su cap. por frente y tipo	52
Gráfico 13: Comportamiento de la demanda de caña por frente.....	54
Gráfico 14: Comportamiento diario de la demanda a transportar.....	55
Gráfico 15: Capacidad de flota vehicular	57
Gráfico 16: Ciclos de trabajo de las maquinas	61
Gráfico 17: Tiempos promedio de carga por tonelada	62

Gráfico 18: Rendimiento de maquinaria.....	63
Gráfico 19: Tiempos de un ciclo de las unidades de carga	64
Gráfico 20: Toneladas día transportada por camión escenario 1	65
Gráfico 21: Viajes por camión escenario 1.....	65
Gráfico 22: Toneladas día transportada por camión escenario 2.....	66
Gráfico 23: Viaje por camión escenario 2	67
Gráfico 24: Toneladas día transportada por camión escenario 3.....	68
Gráfico 25: Viajes por camión escenario 3.....	68
Gráfico 26: Rutas Optimizadas	74

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Fotografía de corte manual	16
Imagen 2: Carga de corte manual	16
Imagen 3: Maquina cosechadora de caña	17
Imagen 4: Corte y llenado de camiones con cosechadora	18
Imagen 5: Camiones cargados de materia prima	19
Imagen 6: Carretones transportadores de caña	20
Imagen 7: Carretones en proceso de carga	20
Imagen 8: Mapa del ingenio distribución lotes de caña	39

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo tiene un enfoque analítico, y de investigación con el objetivo de buscar posibles soluciones a un problema real, de una operación dentro de un ingenio azucarero, buscar optimizar la gestión del traslado de caña de azúcar desde las diferentes zonas de corte hasta la fábrica procesadora, la misma que luego de un proceso de industrialización se obtiene azúcar de consumo humano.

El estudio se desarrolla en tres etapas, la primera consiste en un dimensionamiento de las unidades de carga, tomando como base una flota propia, y una flota de terceros, esta busca encontrar cuantas unidades de terceros debo contratar, conociendo la demanda diaria. La segunda etapa consiste en unas simulaciones con la ayuda de un programa que permite crear posibles escenarios para tomas de decisiones, en esta parte nos completa o ratifica nuestro primer análisis de dimensionamiento de flota. La tercera etapa de este trabajo es la optimización de rutas, la idea es como distribuir las unidades, a los diferentes frentes de cosecha, a esto se aplicó un modelo matemático CVRP por sus siglas en inglés (capacity vehicle routing problem), o problema de ruteo de vehículo con capacidad limitada, cuyo objetivo principal es minimizar los costos de operación.

Palabras claves:

Dimensionamiento de flotas, Simulación, Optimización, CVRP, Minimizar.

ABSTRACT

The development of this work has an analytical approach, and research with the aim of finding possible solutions to a real problem, an operation within a sugar mill, seek to optimize the management of sugar cane transfer from the different cutting areas until the processing factory, the same one that after a process of industrialization obtains sugar for human consumption.

The study is developed in three stages, the first consists of a dimensioning of the cargo units, based on a fleet of its own, and a fleet of third parties, this seeks to find how many units of third parties I must hire, knowing the daily demand. The second stage consists of simulations with the help of a program that allows to create possible scenarios for decision making, in this part we complete or ratify our first analysis of fleet sizing. The third stage of this work is the optimization of routes the idea is how to distribute the units, to the different fronts of harvest, to this a mathematical model was applied CVRP by its acronym in english (capacited vehicle routing problem), or problem of routing of vehicle with limited capacity, whose main objective is to minimize operating costs.

Keywords:

Fleet sizing, Simulation, Optimization, CVRP, Minimize

CAPÍTULO 1

Generalidades, Antecedentes, Planteamiento y Justificación del Problema, Objetivos y Metodología

1.1. Generalidades

1.1.1 Introducción

La gestión logística de sistemas de abastecimiento en procesos continuos, como lo es el caso de la producción de azúcar y alcohol, representa un reto cuando se trata de mejorar y mantener eficiencias integrales a partir de la coordinación entre las actividades agrícolas de campo y los procesos industriales de fábrica según indica, (Hahn & Ribeiro, 1999). La cantidad de recursos que se manejan y la variabilidad en las actividades involucradas en el proceso azucarero requieren de la aplicación de herramientas especializadas que contribuyan, desde un punto de vista sistémico, a la toma de decisiones acertadas antes, durante y después de las operaciones es lo que indica (Amú Caicedo, 2011) .

El abastecimiento de caña de azúcar como materia prima para satisfacer la demanda de las fábricas azucareras, priorizando la optimización del ciclo del transporte, con los recursos disponibles que cuenta esta empresa.

En Ecuador existen varios Ingenios que se dedican a la extracción de la glucosa para industrializarla y transformar la materia en azúcar, según reporta un informe del año 2016 del Centro de Investigación de caña de azúcar del Ecuador CINCAE “Existen siete Ingenios azucareros en Ecuador siendo uno de los principales, Ingenio San Carlos, Compañía Valdez, y Co azúcar, los Ingenios de Monterrey, IANCEM, Miguel Ángel y San Juan tienen una baja participación de producción a nivel nacional.

Estas empresas consideradas de mayor importancia según el CINCAE se encuentran ubicadas geográficamente en la costa ecuatoriana trabajan en época

de verano debido a la situación climática que favorece a ciertos procesos dentro de esta cadena de abastecimiento.

Para la investigación en curso se ha considerado la gestión, y la información operativa de uno de los Ingenios de mayor producción a nivel nacional, el cual se encuentra ubicado en el cantón Marcelino Maridueña de la Provincia del Guayas.

Esta empresa cultiva entre el 60 y 70 % de la caña que corta y procesa, la diferencia de materia prima que necesita para cumplir con su producción anual la compra a cañicultores y finqueros de zonas adyacentes.

Toda la materia prima, tanto propia y de terceros es transportada desde el campo hasta los molinos de la fábrica, esta gestión está bajo la dirección del departamento de Transporte, el mismo que debe planificar la asignación de camiones hasta los puntos de corte.

En el proceso 2017 la planificación de selección y envío de camiones de carga se la ha venido desarrollando de forma poco eficiente, uno de los objetivos de la investigación es optimizar el proceso, esto se debe lograr con un plan de asignación y ruteo, con la ayuda del fortalecimiento de aplicaciones tecnológicas, del mejoramiento de infraestructuras viales dentro del recorrido de los camiones, del diseño de las áreas, de la asignación de camiones, de una buena planificación agrícola, todo estos factores aportar a los ahorros de los costos de la operación de transporte, que en este tipo de negocios suman un valor económico elevado.

Según indica (Amú Caicedo, 2011), en un Ingenio colombiano, los costos de transporte son alrededor del 34% del total de los costos variables de la operación de la cosecha, el combustible constituye el 35%, el mantenimiento de equipos el 28%, los costos de operación de 27% y las llantas y filtros el 10%.

1.2. Antecedentes

La industria azucarera es considerada como uno de los pilares para el desarrollo económico de la provincia en la cual se encuentran ubicados, y a su vez aportan con la producción de uno de los principales alimentos para consumo diario de las personas, adicionalmente proveen de materia prima para la elaboración de energía en forma de electricidad y biocombustibles.

Sin embargo, como en todo negocio agroindustrial existen factores climáticos, económicos, políticos y propios de la empresa que inciden de forma directa o indirecta, en la ejecución de sus planificaciones, en este caso la industrialización de azúcar.

Los procesos en este negocio empieza desde las labores de campo, con la selección de una buena semilla para la siembra, la cual debe garantizar una excelente calidad de producto, esta etapa va de la mano con las demás actividades agrícolas, para que posteriormente la caña llegue a su edad optima y entre a la etapa de cosecha, luego de esta, la materia debe ser transportada hasta la fábrica, el traslado debe cumplir ciertos criterios agronómicos que sirven para conservar la frescura de la materia prima, para luego por medio de los rodillos del trapiche se le exprime el jugo de caña, luego de esto el jugo es industrializado y transformado a azúcar de consumo humano, un porcentaje de jugo es enviado a través de tuberías inoxidable a una empresa que elabora alcohol, el afrecho o bagazo(residuo de la caña) es utilizado como materia prima en las calderas para la generar energía eléctrica.

Según información del CINCAE presenta la producción y participación anual en el mercado de los Ingenios más representativo a nivel nacional ver tabla 1.

Ingenio	Toneladas de Azúcar	Participación en el mercado
San Carlos	200.993	43,9 %
Valdez	140.177	30,6 %
Eco Azúcar	108.863	23,8 %
Otros	7.928	1,7 %

Tabla 1: Producción nacional en toneladas de azúcar por Ingenio.
Fuente: CINCAE Producción Anual 2016

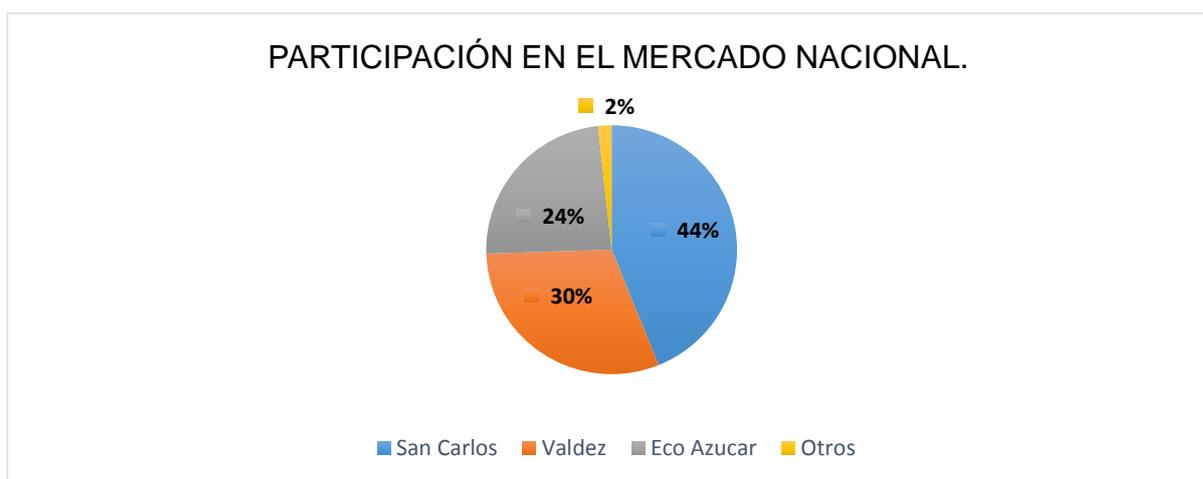


Gráfico 1: Producción nacional en toneladas de azúcar por Ingenio.
Fuente: CINCAE Producción Anual 2016

1.2.1 Demanda de caña de azúcar para la molienda

La demanda de molienda caña de azúcar en esta empresa, está preparada para procesar en su punto máximo hasta 98.000 toneladas semanales esta cantidad de materia proviene del corte mecanizado, y corte manual, la misma cantidad que se debe transportar desde el campo hasta la planta, los criterios de corte, transporte y producción dependerán mucho de los estimados proporcionados por el departamento de campo.

Para obtener un mejor control de la producción se divide la demanda semanal en requerimientos diarios, la fábrica está compuesta por 2 molinos, siendo el molino B el de mayor capacidad, y el molino A maneja niveles más bajos de procesamiento, los mismos que para su abastecimiento necesitan:

- Molino A: 5.000 toneladas
- Molino B: 9.000 toneladas.

Molinos	Demanda de caña		
	Toneladas	Semanales	Diario
A	98.000	35.000	5000
B		63.000	9000

Tabla 2. Cuadro referencial de la demanda de caña
Fuente. Información propia del Ingenio.

De la tabla 2 se concluye cual es la demanda de los molinos en toneladas para lograr y alcanzar sus compromisos de producción, se indica los requerimientos semanales y diarios de cada molino, los cuales deben cumplirse.

1.3. Planteamiento del problema

El problema del transporte dentro de los Ingenios azucareros en el Ecuador es un tema operativo de importancia para el traslado de caña, a su vez este proceso tiene un valor económico representativo para las empresas agroindustriales.

Basados en la información obtenida del CINCAE se observa que las toneladas de caña que deben ser movidas dentro de este negocio es de sumo interés para una investigación, la asignación de camiones y carretones para el transporte interno es una problemática que se pretende analizar y proponer una solución óptima.

En la actualidad este proceso logístico se lo ejecuta sin una apropiada planificación, no existe una metodología que ayude a medir la operación de abastecimiento, ya sea de corte manual o mecánico, conociendo que existen diferentes frentes de corte, los mismos que poseen características no homogéneas, cuentan con una variabilidad con respecto a las distancias, rendimientos por lote, formas de corte, y diferentes medios de carga.

La generación de caña como materia prima en el caso de estudio se la presenta en toneladas esta información es obtenida de la producción real del año 2015, 2016 (Anexos 1,2), y 2017 del Ingenio.

Caña Transportada 2017	
	Toneladas
Camiones	1.397.097
Carretas	821.826
Total	2.218.923

Tabla 3. Toneladas de caña transportada en el 2017

Fuente. Información propia del Ingenio

El tonelaje de caña cosechada y transportada en las zafras 2015, 2016 y 2017 según información propia del Ingenio, nos permite apreciar la importancia de un análisis de este proceso en este negocio, las toneladas de caña que se debe transportar desde los campos hasta los patios de la fábrica, son cantidades considerables con altos costos logísticos, cabe indicar que el tonelaje de la materia prima indicada en los cuadros es la suma de la caña cosechada y transportada en los terrenos propios, y de los cañicultores y finqueros.

Año 2017	
Caña	Toneladas
Propia	1.515.137
Cañicultores	703.785
Total	2.218.923

Tabla 4. Distribución de Toneladas de caña transportada en el 2017

Fuente. Información propia del Ingenio

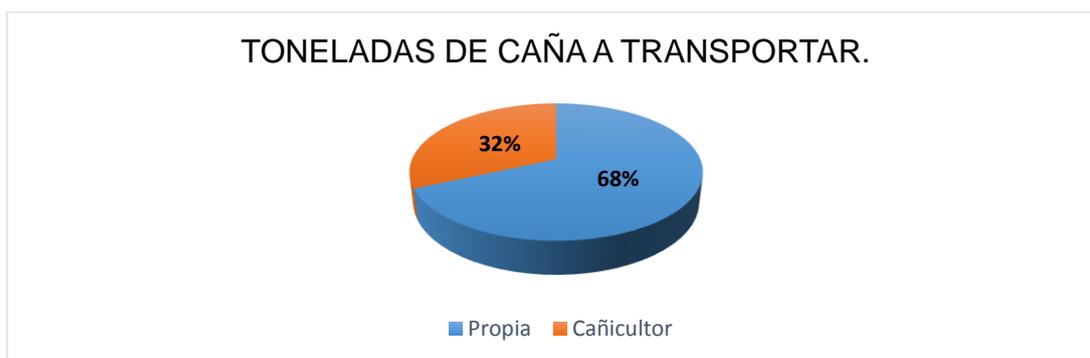


Gráfico 2. Transporte de caña en toneladas producción propia y de terceros.

Fuente. Información propia del Ingenio

El Ingenio cuenta con una variedad de recursos y medios que se podrían optimizar, mediante la sistematización de la operación de transporte, esta gestión aportaría considerablemente al crecimiento de las eficiencias operativas de cosecha y molienda, son áreas que intervienen directamente en esta cadena

de abastecimiento, considerando la operación de cosecha como la parte ofertante y el área de molinos como la parte demandante.

Apegados a esta información se ha elaborado un diagrama de causa efecto donde se indican el problema y las posibles causas de una mala asignación de recursos.

Se busca optimizar el número correcto de camiones que se va a asignar a las áreas corte, los cuales deben transportar la carga hasta los patios del Ingenio, donde estos serán descargados y retornarán nuevamente al punto, a ser cargados.

En la gráfica 3 se muestra uno de los potenciales problemas dentro de esta cadena:

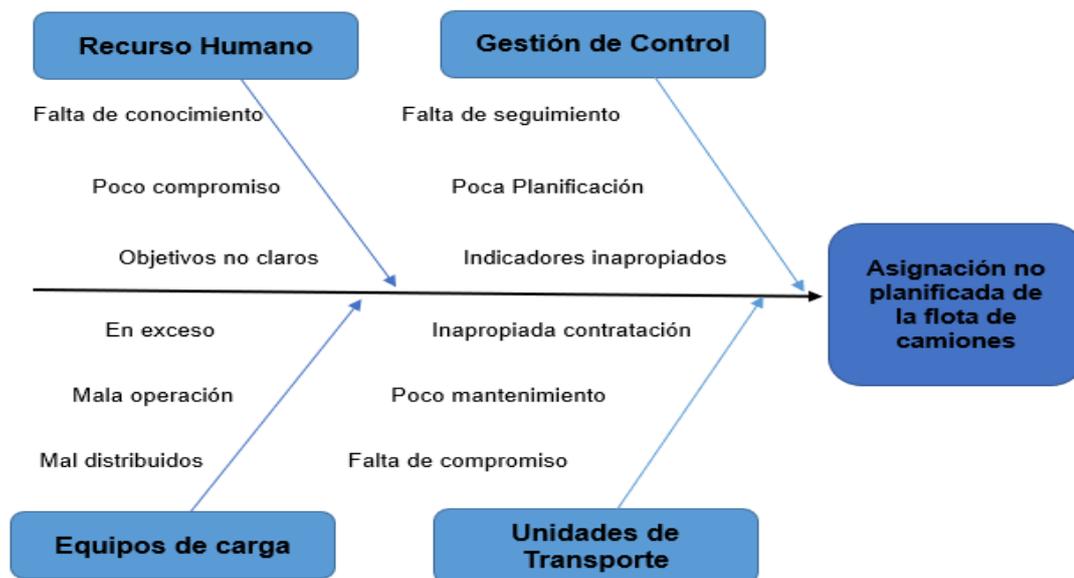


Gráfico 3. Diagrama Causa efecto del problema actual
Fuente: elaboración Pablo Cárdenas.

Al tener una mala asignación de camiones para los frentes de corte, da paso a un problema que se torna crítico, ya que no están distribuidos equitativamente los camiones, hacia los diferentes puntos, ocasionando paras innecesarias en ciertos frentes por falta de camiones, dando paso a la sobreutilización de

maquinarias, y en otros frentes sobre poblando la presencia de camiones, convirtiéndose así en una mala práctica logística, entorpeciendo los procesos de cosecha y molienda.

El proceso de cosecha tiene un punto importante en la logística interna, la misma que debe ser lo más dinámica posible para ajustar tantas veces sea necesario, la disposición de los recursos involucrados y así responder a los cambios que se dan en las variables presentes en la cosecha y demanda de los molinos.

Los cambios que se producen corresponden básicamente a la ubicación de los frentes de cosecha (distancia) y las características del lote donde se va a cosechar y que impactan de forma directa en los tiempos de los diferentes movimientos asociados que se dan en el proceso de abastecimiento de caña.

Para este esquema se debe formular y establecer un modelo matemático de optimización y un simulador de recursos que aporte considerablemente a la eficiencia de la cadena, las bases estadísticas son de suma importancia para este estudio y análisis que se podría incrementar las eficiencias de los eslabones de este tipo de cadena de abastecimiento, y como resultado subir los niveles de generación de la producción.

El problema se establece como: la falta de un modelo matemático que optimice el proceso de transporte de caña, eficiente, que aporte las decisiones operativas, que ayude al control y asignación de recursos antes y durante las operaciones.

1.4. Justificación del problema

En esta cadena de abastecimiento y distribución en el Ingenio intervienen varios eslabones, los cuales tienen sus procedimientos establecidos de forma cotidiana, y tienen un tiempo de ejecución de forma individual, estos tiempos influyen directamente al proceso de análisis, los mismos que serán considerados para lograr optimizar la logística del transporte.

Al lograr establecer un plan de programación, asignación y control de camiones de carga hacia los frentes se establecería un gran avance a la logística de la empresa, empezando por la implementación de indicadores de gestión para el área de transporte, que es el área en estudio, con la cual se logrará medir su desempeño, tomar correctivos de forma rápida, reducir el cometimiento de errores, equilibrar recursos, aportara a tomar una decisión lo más real posible para asignar de forma equitativa los camiones, y sobre todo tener grandes beneficios económicos.

La implementación de esta investigación no solo ayudara al área de transporte, sino que también aportara a las áreas de cosecha, tractores automotores y fábrica, las mismas que a futuro deberán evaluar el nivel de su desempeño, y tomar medidas de análisis, control y ejecución.

El departamento de cosecha deberá evaluar el estado de sus lotes de caña, la implementación de la agricultura de precisión debería ser fundamental en esta área, la misma que deberá proporcionar información eficaz, como rendimiento, dimensiones, distancia, tipo de corte del lote, variedad de caña, estos datos deberán ser los más reales posible, esta área debe comunicar al departamento de transporte para que esta pueda procesar la información y asignar la cantidad correcta de camiones, al lote en proceso de corte, desde este punto el estudio involucra esta área.

Departamento de Tractores automotores deberá implementar buenas prácticas de mantenimiento, cumplir con su programa de reparación de manera óptima, para asegurar la operatividad de las maquinarias que intervienen en los procesos de corte, llenado y remolque de los camiones, y demás equipos que intervienen de forma indirecta en este proceso.

El área de fábrica con esta gestión de optimización debería subir el rendimiento de molienda de caña, para lo cual debe aportar a esta cadena, con el buen funcionamiento de sus molinos, evitando las paradas imprevistas que deberían mejorar si cumplen con su plan de mantenimiento, poner en ejecución un plan de mantenimiento predictivo con esto lograra aumentar la operatividad, para que el flujo de molienda no se detenga y el descargue de los camiones cumplan con el tiempo normal.

1.5. Objetivo General

Diseñar un modelo matemático que permita programar, analizar y controlar la logística del transporte interno de caña minimizando los costos de la operación, determinando un numero óptimo de unidades de carga, priorizando los recursos asignados, con la ayuda de la aplicación de herramientas tecnológías.

1.6. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que persigue este estudio son los siguientes:

- Determinar y minimizar el costo total de la operación de transporte de caña de azúcar.
- Identificar las variables que influyen en el proceso de transporte de caña, así como su impacto operativo.
- Parametrizar las variables identificadas y definir indicadores para el desarrollo del problema.

- Desarrollar un modelo de capacidad de flota vehicular, una simulación de teoría de colas, para su posible aplicación al proceso real.
- Formular el modelo de transporte VRP que ayude a optimizar la asignación de camiones para el abastecimiento de caña.

1.7. Metodología

La metodología aplicada en este proyecto de investigación empieza desde la necesidad de minimizar los costos de transporte de abastecimiento de materia prima a un ingenio azucarero, lo primero que se definieron fueron las diferentes variables que intervienen directamente en la operación, las cuales se clasificaron y se determinaron las que impactan con mayor intensidad el proceso, luego se realizó un estudio de tiempos y movimientos para definir patrones que ayudarían al desarrollo de los diferentes análisis.

Se realizó un estudio del comportamiento del rendimiento de los lotes de caña, producto de esto se realizó una clasificación ABC por sector, cada sector tiene un radio de cobertura, se identificó el nivel de aporte de cada zona, esto contribuye a identificar donde existe una mayor población de materia prima.

Una vez conocido el estimado de la demanda que se deberá transportar en la zafra se realizó un análisis de dimensionamiento de flota vehicular, ya que el ingenio cuenta para esta operación con un 40% de flota propia y un 60% de flota contratada, este análisis ayuda a determinar cuántos camiones se debe contratar para la zafra, garantizando que todas las unidades trabajen diariamente, este punto nos ayuda a evitar contratar camiones en exceso, y sobre todo asegurando el flujo de la operación.

Conocidas las variables de mayor impacto, y el número óptimo de camiones propios y contratados, se realizó una simulación, en la misma se cargó toda la información analizada en los modelos explicados en líneas anteriores, se

realizaron varias corridas, de lo cual podemos indicar que con la información expuesta obtenemos resultados muy acertados, es decir que con la identificación de los patrones de las variables y número de camiones obtenidos, podemos satisfacer la operación, manteniendo un flujo continuo del abastecimiento de caña a la planta procesadora.

Obtenido los diferentes resultados y revisados con información estadística propios de la empresa se puede indicar que los análisis hasta este punto se apegan mucho a la operación real, confirmada esta información, se establece un modelo VRP capacitado, el cual ayudará a determinar a qué rutas se deben enviar las unidades de carga, para esto se estructuraron grupos de camiones a las cuales se las denomina flotas, identificadas todas las restricciones y con el objetivo de minimizar los costos del proceso, se ejecuta el modelo, el cual nos da resultados óptimos identificando cuales deberían ser las diferentes rutas que deberían seguir las diferentes flotas.

Luego de esto se establecen diferentes indicadores que ayudaran a medir y controlar la operación, y sobre todo tener un sustento matemático que aporte a la toma de decisiones.

Determinada las diferentes etapas de proceso podemos indicar que este proyecto se apega a las directrices y premisas de la Metodología SCOR, herramienta que ayudará y permitirá analizar, los diferentes eslabones de la cadena de abastecimiento que intervienen en este caso.

El modelo SCOR ayuda a mejorar, las estructuras, funciones y actividades que intervienen en los diferentes eslabones de la cadena de suministro en general, la misma que se debe desarrollar de manera cíclica a través de los siguientes eventos planificación, abastecimiento, producción, distribución y retorno, en este caso el de ruteo de abastecimiento

La metodología ayudará a consolidar varios conceptos logísticos, ideas y experiencia vividas en el día a día, estos conceptos fundamentados que se utilizarán en la operación.

El modelo cuya finalidad es la de mejorar la cadena de abastecimiento, evaluará la situación actual y marcará ciertos parámetros que se deberán mejorar, que es lo que se quiere en un futuro.

Basados en la amplia aplicación de esta metodología y de los grandes beneficios que pueden lograrse se ha decidido utilizar esta herramienta que ayuda de gran manera a la toma de decisiones a nivel estratégico, se ha concluido utilizar los indicadores de transporte y distribución, ya que se apegan a los objetivos de esta investigación, que busca minimizar costos.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico, Estado del Arte y Análisis de la Situación actual

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Cosecha de caña

La cosecha representa un eslabón fundamental dentro de lo que es la elaboración de este producto alimenticio, pues al finalizar los procesos agrícolas de campo se realiza el corte y recolección, la misma que debe ser transportada a la planta donde empieza el proceso de industrialización.

El corte de caña se lo debe realizar en la edad apropiada, es decir 13 meses para caña planta y 12 meses para caña soca, esas son las edades optimas de corte, el mismo que se lo realiza con procedimientos establecidos dependiendo el tipo de corte, la finalidad de respetar la edad es encontrar el mejor rendimiento de la materia.

Se puede indicar que si se realiza el corte en una edad inapropiada, y con procedimientos fuera de lo establecido, esta operación dará como resultado perdidas económicas altas, debido a que no se ha respetado los principios agronómicos y de operación, esta mala práctica es una cadena ya que en la industrialización del producto, obtendremos un jugo de mala calidad, así mismo existirá abundante presencia de trash, impurezas en la materia, basado en estos criterios podemos definir cuál debería ser una buena práctica de corte, que asegure un óptimo proceso:

- La materia debe ser cosechada en su edad apropiada, dependerá si es cana soca o planta, se debe evitar cortar antes de la edad correcta.
- El corte inferior se lo debe realizar a ras del suelo, evitando halar la cepa, este corte en su prioridad se lo debe hacer en la parte más baja, ya que es donde está concentrada la sacarosa.

- El corte superior se lo debe realizar a una altura adecuada observando donde empieza la hojarasca, es donde se debe realizar el corte, en esta etapa estamos aportando a la no presencia de trash en la materia
- La materia debe en lo posible estar libre de impurezas, cuerpos extraños, como hojas raíces basura.
- La caña cortada debe enviarse lo más pronto posible al Ingenio.

En la actualidad existe varios procedimientos que ayudan a establecer el estado de madurez, y calidad de la materia, para que esta entre en su estado de planificación de corte, que ayude a que su rendimiento sea el óptimo.

La frescura de la caña dependerá mucho del tiempo que transcurre desde que la materia prima es quemada, en todos los casos de corte manual se planifica quemar antes de cortar, debió a las dificultades que consiste la cosecha manual en verde, en ciertos casos y por factores geográficos la caña no se quemará cuando se cosecha mecanizada, mientras la materia llega lo más pronto a la planta luego de ser quemada será más ricas en sus propiedades.

Este tiempo normalmente se lo mide en horas, se ha calculado que el tiempo entre quema y corte mecanizado es de 8 horas, mientras que para corte manual ser de 24 horas.

El objetivo para las empresas azucareras es tratar al máximo de reducir el tiempo para evitar grandes pérdidas del contenido de sacarosa.

2.1.3 Cosecha Manual

Es el sistema de corte en donde el proceso se lo realiza manualmente, luego de que la materia se encuentra en forma de rollos en el piso, sigue en colocar la caña en el cajón del camión que se lo realiza con una llenadora cameco.

Se puede definir como los pasos que realiza el cortador para realizar esta actividad los siguientes: se corta a ras del aporque en la parte baja de la materia,

luego se debe cortar en los nudos superiores antes de la presencia de la hojarasca que posee esta planta, luego de esto se forman bultos denominados rollos, los mismos que serán recogido con máquinas según se observan en las imágenes 1 y 2.



Imagen 1. Fotografía del corte manual
Fuente. Información propia del Ingenio



Imagen 2. Carga del corte manual
Fuente. Información propia del Ingenio

2.1.4 Cosecha Mecanizada

El corte mecanizado cuenta con modernas máquinas, la cosechadora carga directamente sobre la unidad de transporte, evitando el costo de la alzadora.

Debido a los avances tecnológicos se ha generado un nuevo concepto de corte y cargue de cana, este proceso, ayuda a reducir considerablemente los costos

logísticos de lo que es cosecha y transporte de caña, sin embargo se están realizando estudios ya que se cree que este tipo de corte está produciendo a largo plazo grandes pérdidas de rendimiento de los lotes de caña.

Es válido mencionar que en este tipo de proceso de corte con maquinarias ayudan también a la reducción de los costos de los subprocesos de cosecha, como por ejemplo la repaña actividad que se la realiza post cosecha, y que en corte manual genera una actividad diaria importante en la recolección de la materia, es decir con este corte mecánico obtenemos costos mucho menores, en lo que logística interna, aumenta también la eficiencia del rendimiento de la caña, luego de la quema.



Imagen 3. Maquina cosechadora de caña
Fuente. Información propia del Ingenio



Imagen 4. Corte y llenado de camiones con cosechadora
Fuente. Información propia del Ingenio

2.1.5 Transporte de caña

La cosecha y el transporte de caña de azúcar cada día cobran mayor importancia dentro de la economía nacional, esto ha llevado a los Ingenios azucareros a expandir sus cultivos y operaciones, tal implicación conlleva a elevar la dificultad de la logística de abastecimiento de materia.

Al incrementar las distancias de operación de los frentes de corte, da origen a que los tiempos de un ciclo de transporte se eleven, la variabilidad de llegada de los camiones a los patios del Ingenio aumentan, incrementado la incertidumbre del cumplimiento de la demanda.

En este caso de podemos decir que esta empresa, está apuntando a la implementación de conceptos logísticos para este proceso, podemos citar la utilización de varios indicadores y herramientas de seguimiento y control como la aplicación de dispositivos de rastreo satelital a los camiones y maquinarias que interviene en este proceso, la misma que genera información estadística y la misma que sirve para levantar indicadores que ayudaran a la toma de decisiones.

Este control se da debido a que el flujo de materia hacia la fábrica debe ser continuo, se puede indicar que en esta operación se mantiene 3 tipos de stock, el primero el stock en piso, el stock en tránsito, y el stock de espera en la cola de fábrica, la sumatoria de estos hacen un stock de seguridad que aseguran la molienda sin problemas, lo que se quiere es evitar que por una mala planificación de transporte dejemos sin materia este proceso, el mismo que si para genera grandes pérdidas económicas a la empresa.

La distribución de caña de azúcar se lo realiza de dos maneras:

La primera forma es a través de una flota de camiones contratados que traslada la materia prima.



Imagen 5. Camiones cargados de materia prima
Fuente. Información propia del Ingenio

La segunda forma de traslado es con la utilización de carretones, las mismas que necesitan la tracción de tractores.

Optimización del transporte de caña de azúcar desde la zona de cosecha a la planta procesadora de un ingenio azucarero mediante el diseño de un modelo de transporte capacitado CVRP, y un modelo de simulación de teoría de colas de Márkov

Maestría en Logística y Transporte con Mención en Modelos de Optimización



Imagen 6. Carretones transportadores de caña
Fuente. Información propia del Ingenio



Imagen 7. Carretones en proceso de carga
Fuente. Información propia del Ingenio

Estos dos procesos de traslado son cargados en el campo con máquinas cosechadoras o alzadoras, luego de esto se dirigen a la planta donde son descargado y retornan nuevamente.

Las capacidades de este equipo son:

Capacidad de unidades de transporte	
Modalidad	Toneladas
Camiones	14,5
Carretones	15

Tabla 5. Capacidades de las unidades de carga
Fuente. Información propia del Ingenio

Países de la región, se han preocupado en realizar investigaciones y análisis de movimientos para el traslado de la caña del campo a la planta, con la utilización de modelos y herramientas computacionales y matemáticas las cuales han deberían dar como resultados en la reducción de los costos de transporte, estos modelos que se han desarrollado bajo condiciones específicas para cada Ingenio en cada país, debido a que las gestiones operaciones no deberían ser iguales, lo que dificulta la adaptación de uno de estos modelos para este caso.

Para una adecuada asignación de unidades de carga a cada frente de corte, el departamento de transporte utiliza una distribución de unidades no optima de ruteo, no existe un balance para los frentes, para que ninguno de estos quede parado por falta de camiones, lo cual representaría una pérdida económica considerable para la empresa, actualmente estas gestiones son manejadas y confirmados vía radio transmisor, esta información no es exacta, debido a esto se está implementando la instalación de rastreo satelital, a todos los equipos que participan en esta operación, esta información nos aportara resultados de mayor valides para los análisis de toma de decisiones, estos resultados los podemos ver en línea.

La operación de abastecimiento o traslado de caña para este tipo de agroindustrias ha tomado gran importancias para las gerencias ya que presenta un costo considerable para las mismas, el objetivo principal es la recolección y abastecimiento de la materia que se encuentra en un tipo de stock (stock en suelo) regada el campo, estos procesos deben garantizar el flujo constante de caña, optimizando el tiempo entre la quema, corte, traslado y molienda, pues la

finalidad es obtener azúcar de altos estándares de calidad y a precios competitivos.

Para alcanzar estos objetivos de entrega de la materia, y que la misma cumpla con los requisitos de calidad y frescura, es necesario realizar varios análisis de planificación, clasificación de lotes, distancias de estos.

Las labores o actividades que están relacionadas a este proceso son desarrolladas, aplicando conceptos de buenas prácticas de seguridad que buscan minimizar los riesgos inherentes de la operación.

Para diseñar el plan de recolección de cada frente, se debe considerar los siguientes componentes:

- Cantidad de caña a ser transportada información proporcionada por el área de cosecha.
- Ubicación y zona geográfica donde se encuentra el frente de cosecha.
- Extensión del área a cosechar.
- Forma de cosecha aplicada en el frente.
- Tipo de suelo donde se encuentra el frente.
- Distancia donde se encuentra el frente.

2.1.6 Problema de ruteo con capacidades CVRP

Para el desarrollo de la investigación se utilizará el modelo de transporte capacitado CVRP, y un modelo de simulación de teoría de colas de Márkov.

Se consideró básico plantear el modelo de ruteo de vehículos capacitado CVRP que ayudara a optimizar el número total de vehículos asignados a cada frente de corte, minimizando los costos del transporte.

Según indica (Limone Muñoz, 2011) la extensión natural de TSP fue el problema de vehículos (VRP, del inglés Vehicle Routing Problem), y posteriormente el

problema del ruteo del vehículos con capacidades CVRP. Este consiste en determinar una serie de rutas para una flota de K vehículos, a partir de un depósito, para un cierto número de clientes o nodos geográficamente dispersos, todos los vehículos cuentan con la misma capacidad Q , y cada cliente demanda q_i (con $0 \leq q_i \leq Q$ para $i = 1, \dots, n$.)

(Limone Muñoz, 2011) indica que el modelo propuesto por (Toth & Vigo, 2002), para resolver la versión simétrica de CVRP (i.e. el costo para ir de i a j es el mismo en que se incurre para ir de j a i), es utilizado más tarde (Iori et al. 2005), para resolver el 2L-CVRP. El modelo original se describe en las siguientes inecuaciones.

$$\text{Min } \sum_{e \in E} X_e \cdot C_e \quad (1)$$

Sujeto a las siguientes restricciones.

$$\sum_{e \in d(i)} X_e = 2 \quad \forall i \in V / \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{e \in d(0)} X_e = 2K \quad (3)$$

$$\sum_{e \in d(S)} X_e \geq 2Y(S) \quad \forall S \subseteq V / \{0\}, S \neq \emptyset \quad (4)$$

$$x_e \in \{0,1,2\} \quad \forall e \in d(0), \quad (5)$$

$$X_e \in \{0,1\} \quad \forall e \notin d(0), \quad (6)$$

Siendo V el conjunto de nodos presentes en el problema, E el conjunto de arcos, $d(S)$, los arcos que tienen uno de sus extremos en S y otro en V / S (sin considerar el sentido de cada arco, ya que se resuelve la versión simétrica del problema). Como se ha realizado la literatura, se utilizará $d(i)$ en lugar de

$d\{i\}$. X_e corresponde a una variable entera que representa la cantidad de veces que es recorrido el arco e en la solución. Esta variable puede tomar el valor 2 para el caso en que se represente una ruta con un único cliente, ya que se utiliza el mismo arco para retornar a la bodega, esto es indicado por (Limone Muñoz, 2011) .

Según indica (Limone Muñoz, 2011), este modelo **(1)** corresponde a la función objetivo, que minimiza el costo total de ruteo. Las restricciones **(2)** y **(3)** determinan la cantidad de arcos salientes o entrantes para los clientes y para la bodega, respectivamente. Las restricciones **(4)**, conocidas como las restricciones de capacidad corte, implican conectividad en la solución y factibilidad respecto a las restricciones clásicas de BPP. En estas restricciones, $Y(S)$ corresponde al mínimo número de vehículos necesarios para satisfacer a los clientes en S , sin considerar la secuencia en que son visitados, por lo que podría requerirse más vehículos que los determinados por $Y(S)$ en caso de lograrse un packing no factible debido a la restricción de carga secuencial. Por lo general, $Y(S)$ se calcula según $Y(S) = \sum_{i \in S} q_i / Q$. Por lo tanto, $Y(S)$ vehículos deben cruzar desde el subconjunto de nodos $V \setminus S$ a S arcos unen ambos subconjuntos de nodos.

Finalmente, las restricciones **(5)** y **(6)** implican que cada arco entre dos clientes es recorrido como máximo solo una ocasión y cada arco incidente a la bodega es recorrido como máximo dos veces. Este último caso corresponde a un vehículo visitando a solo un cliente. En este modelo, las restricciones de eliminación de sub-tours, se cumplen implícitamente debido a **(2)** y **(4)** indica (Limone Muñoz, 2011) .

2.1.7 Sistema de colas

La teoría de colas sirve para la planificación de la capacidad encontrando un equilibrio entre la atención al cliente y el costo de agregar capacidad.

Se representan los distintos servidores donde se llevarán a cabo las actividades que se desarrollan en el sistema mediante un conjunto de estaciones de trabajo interconectadas. (Jiménez, Pérez, & Sanz, 2005).

En varios escenarios se puede indicar que los turnos de las personas en colas se pierden debido a que abandonan el sistema. La palabra “cliente” en este tipo de análisis se la aplica en un sentido general para determinar un turno en la cola, el mismo que pueden ser personas, piezas en líneas de fabricación, entre otros.

Según indica (García, 2016), son seis las características básicas que se deben utilizar para describir adecuadamente un sistema de colas:

- Patrón de llegada de los clientes.
- Patrón de servicio de los servidores.
- Disciplina de cola.
- Capacidad del sistema.
- Número de canales de servicio.
- Número de etapas de servicio.

En términos generales se pueden decir que los puntos citados anteriormente bastan para dar a entender un escenario general de teoría de colas, es importante decir que todo modelo depende de sus variables para su implementación adaptación y desarrollo.

2.2. Estado del arte

Es necesario conocer los conceptos del problema de ruteo de vehículos VRP, y Simulación de Teoría de colas, sus variantes, los métodos exactos y aproximados ya existentes, además de las aplicaciones con las que se han pretendido resolver diversos problemas en la vida real.

Los diferentes casos que se pueden presentar en una operación real, referente a un problema de ruteo de vehículos, su finalidad es optimizar la mejor ruta para la entrega o retiro de bienes o servicios a clientes que están distribuidos geográficamente.

El objetivo que involucra la aplicación de un modelo VRP problema del ruteo de vehículos es asignar a un grupo de clientes, un grupo de unidades de transporte y conductores, y planificar y secuenciar sus visitas. El objetivo del VRP es entregar un producto o servicio minimizando tiempos, distancias, dinero.

Los diferentes tipos de restricciones dependerá mucho del caso que se presente en desarrollo, la razón básica es completar las posibles rutas, adaptándose a los recursos disponibles, en los mejores tiempos determinados para el cumplimiento de la operación, que se cumplan las jornadas diarias de trabajo del conductor, también se deberá establecer las velocidades límites y sobre todo tener claro las exigencias del cliente, existirán varias restricciones que dependerán de la operación.

Los componentes fundamentales del VRP, son: la red de carreteras, los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores.

Para hacer diferentes versiones de este problema se pueden interrelacionar diferentes restricciones y situaciones con objetivos particulares; las versiones más comunes del VRP son:

- Problema de ruteo capacitado CVRP.
- Distancia y capacidad limitada DCVRP.
- Limitación por ventanas de tiempo VRPTW.
- Con viajes de regreso VRPB.
- Con recogida y entrega VRPPD

Y cualquier otra combinación de estas variantes que se puedan presentar en casos existentes.

Estos modelos serán analizados para la elaboración del tema propuesto, basados en estos criterios se han revisado varias citas bibliográficas que se han enfocado en temas de transporte capacitados y simulación, en aplicaciones agrícolas y de recolección, los mismos que tiene gran similitud con el problema en análisis.

Los resultados observados en las investigaciones revisadas han direccionado la logística a un nivel estratégico, demostrando conseguir altos rendimientos en sus operaciones.

Según indican (Palumbo, Chiachera, & Carnero, 2010) El Problema de Ruteo de Vehículos VRP, abarca una amplia gama de problemas que fundamentalmente consiste en encontrar un conjunto de rutas que deben ser llevadas a cabo por una flota de vehículos con el objetivo de satisfacer los requerimientos de un grupo de clientes. Dentro de ellos se encuentra el problema de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad, CVRP, en el cual, a partir de un único depósito, se debe visitar un conjunto de n clientes, ubicados en localizaciones conocidas, y que poseen determinadas demandas. Se dispone de un conjunto de k vehículos, de capacidad idéntica y conocida, Q . El conjunto de rutas es determinado de tal manera que se optimice algún criterio de desempeño, por ejemplo, la distancia total recorrida o el costo total de transporte, sin violar las restricciones de capacidad.

(Arboleda-Zúñiga, López, & Lozano, 2016), Indican sobre la aplicabilidad del CVRP en esta variación del VRP se tiene en cuenta la capacidad del vehículo que realizará el recorrido; la empresa cuenta con una flota compuesta por cinco turbo camiones, cada uno con una capacidad de carga de cinco toneladas; de estos vehículos, para la recolección de residuos hospitalarios se utilizan solo tres, los cuales no son utilizados en toda su capacidad, por lo que es posible

reducir el número y, en consecuencia, disminuir costos de transporte tales como el combustible y la mano de obra.

(Amú Caicedo, 2011), presenta un modelo de programación lineal entera mixta para resolver el problema de minimización del costo operacional de cortar y transportar la caña desde el campo hasta la fábrica. El modelo fue desarrollado con información de 239 campos ubicados en la provincia de Holguín en Cuba. Los resultados del modelo no solo fueron utilizados para minimizar el costo de transporte, sino también para establecer la programación diaria de los vehículos y las cuotas de cada sistema de corte.

Dentro de las consultas bibliográficas en el tema de logística de caña de azúcar se resaltan los escritos realizados por Andrew Higgins, un investigador de origen australiano quien ha dedicado gran parte de sus estudios a desarrollar modelos matemáticos y de simulación de recursos, con la intención de encontrar posibles soluciones a la transportación de caña de azúcar en Australia.

(Amú Caicedo, 2011) toma como referencia a Higgins (2007), los problemas de logística en la cadena productiva de caña de azúcar pueden ser resueltos utilizando modelación matemática, simulación o mediante la analogía de modelos realizados en otros sistemas agrícolas o forestales.

Según indican (P-y, Papaïconomou, Lyne, & Meyer, 2005) mostraron que es posible incrementar la producción hasta en un 5% y la capacidad de transporte en 35% a través de la simulación con un mejor sistema de abastecimiento de caña en la región de Sésela en South África.

Podemos definir la Simulación de sistemas como el diseño y desarrollo de un modelo informático computarizado con la finalidad de poder entender las variables y diferentes tipos de comportamientos con el mundo real, por la cual se realizan varias estrategias y estudios para gestionar el proceso real de cómo puede operar un sistema.

La Simulación de sistemas comprenden tres puntos específicos, por ello es conveniente plantear las siguientes definiciones:

Sistema: Conjunto de ideas u objetos que están entre si interrelacionadas como una unidad para la determinación de un fin específico, también se la puede definir como un segmento del Universo que será objeto de la Simulación, indica (Lilienfeld, 1984).

Modelo: Es una representación resumida de un procedimiento previamente elaborado para percibir, pronosticar y controlar el comportamiento de dicho sistema a simular.

Una definición bastante generalizada de modelo, originaria en ámbito geográfico según (Rengifo, 2008) es la representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades.

Estado: Simulación es el proceso que permite diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento de este, indica González, F. A. (2004)

2.3. Análisis de la situación actual

Se decido desarrollar para este trabajo un modelo de optimización matemática y una simulación de recursos desde un enfoque matemático, en el proceso de traslado de la materia prima, participan algunas variables cuyo comportamiento individual es diferente.

En esta etapa se presentan cuadros de capacidades de las toneladas transportadas y los costos asociados a esta operación, el comportamiento de la

demanda generada por la fábrica la cual debe ser cumplida, estos valores son históricos de zafras ya ejecutadas los cuales van a hacer base para la interpretación de los diferentes resultados obtenidos.

Posteriormente se va a presentar los costos por toneladas sobre las distancias recorridas las cuales ayudaran a planificar mejor la solución óptima para este proceso, se tratará de indicar las potenciales oportunidades de mejora que se pueden obtener en el área de transporte.

Para el desarrollo de esta investigación se deben considerar algunas variables que intervienen en el proceso, el movimiento de caña de azúcar dentro del Ingenio se viene desarrollando de manera poco analítica, para la empresa el traslado interno de la materia prima representa un costo operativo muy alto por lo cual es importante conocerlos, se presentan en los siguientes cuadros los costos 2015, 2016, ver Anexo 3 y 4, y del año 2017, ver Tabla 6.

Caña Transportada 2017		
	Toneladas	Costo
Camiones	1.397.097	\$4.054.624
Carretas	821.826	\$1.101.758
Total	2.218.923	\$5.156.382

Tabla 6. Costos de Transporte año 2017
Fuente. Información propia del Ingenio

En las tablas presentadas se puede observar los costos operativos anuales que representa al Ingenio la operación del transporte de caña de azúcar.

Este proceso de traslado de materia prima se la realiza con camiones de capacidades de 14.5 toneladas promedio, los cuales deben ser enviados a los diferentes frentes de corte, este costo representa anualmente un valor representativo el cual expresamos en los siguientes cuadros ver Tabla 7.

Costo del transporte en camiones año 2017				
Quincena	Distancia	TMC	Total \$	\$ / Ton. Km
Jul 1	14	79.216	177.008	\$0,16
Jul 2	20	110.108	326.457	\$0,15
Agos 1	21	111.489	338.935	\$0,14
Agos 2	19	118.936	349.694	\$0,15
Spt 1	19	114.087	319.027	\$0,15
Spt 2	20	118.545	339.103	\$0,14
Oct 1	21	115.262	348.677	\$0,14
Oct 2	21	113.923	345.167	\$0,14
Nov 1	19	138.302	392.330	\$0,15
Nov 2	21	125.025	384.733	\$0,15
Dic 1	20	131.233	402.239	\$0,15
Dic 2	13	120.971	331.254	\$0,21

Tabla 7. Costos de Transporte en camiones año 2017
Fuente. Información propia del Ingenio

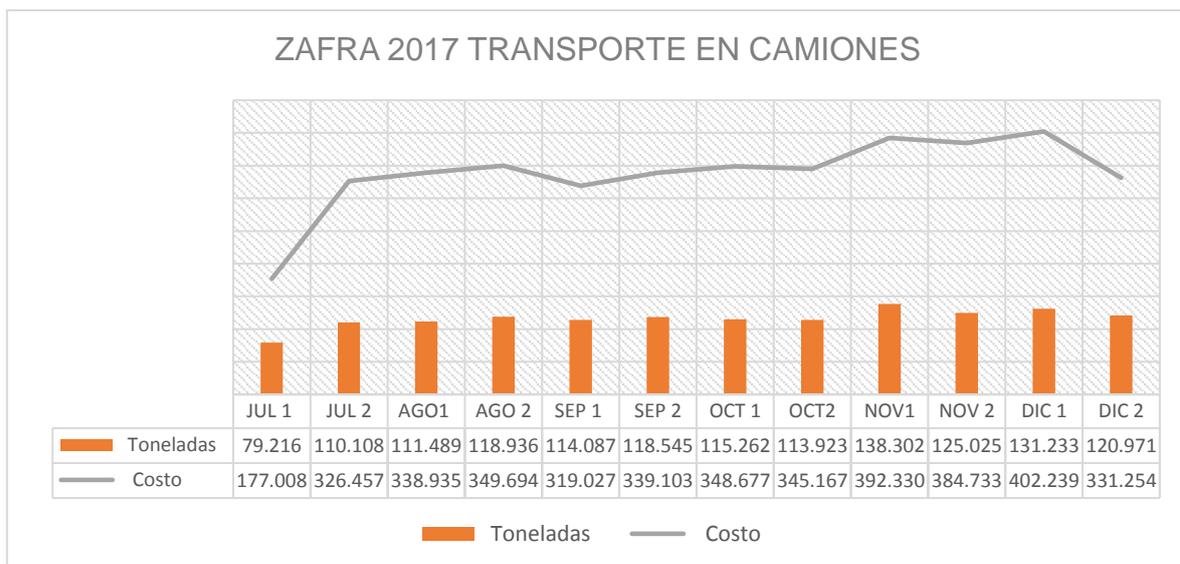


Gráfico 4. Comportamiento de la zafra 2017.
Fuente. Información propia del Ingenio

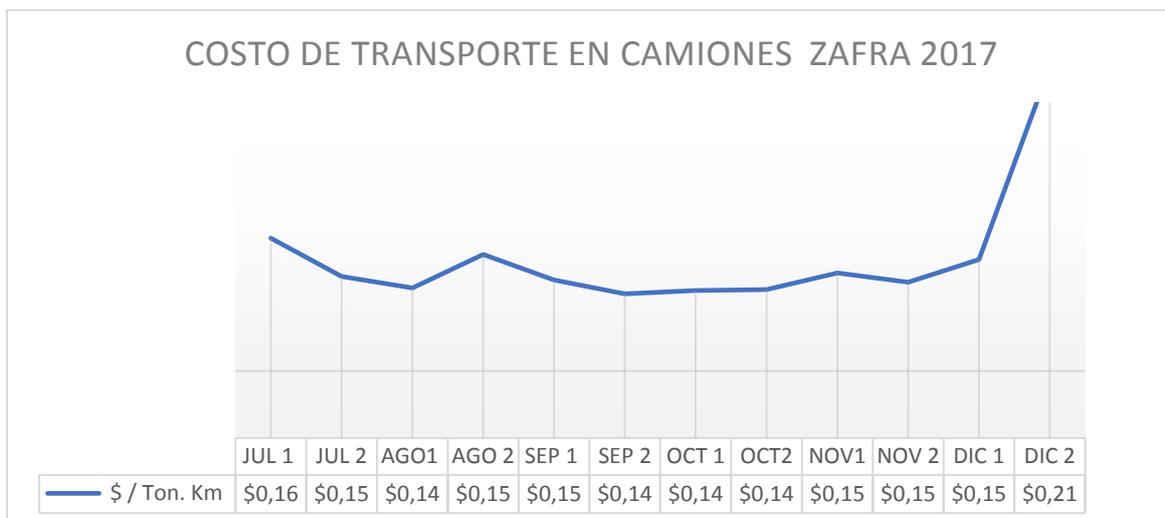


Gráfico 5. Costos en camiones zafra 2017.
Fuente. Información propia del Ingenio

Al Ingenio actualmente le cuesta entre 0.14 y 0.21 centavos la tonelada kilómetro recorrido al ser transportada con camiones, este valor podría reducir si se logra optimizar el rendimiento de los camiones actualmente estas unidades realizan entre 5 y 6 viajes día.

Esta gestión podría ser más eficiente si logramos asignar de mejor manera los camiones hasta los frentes.

Costo del transporte en carretones año 2017				
Quincena	Distancia	TMC	Total \$	\$ / Ton. Km
JUL 1	8	52.221	64.165	\$0,15
JUL 2	7	69.460	87.997	\$0,19
AGOS 1	9	75.918	99.813	\$0,14
AGOS 2	10	76.508	101.942	\$0,14
SEPT 1	10	69.446	92.782	\$0,14
SEPT 2	8	72.393	90.565	\$0,16
OCT 1	8	74.512	97.290	\$0,16
OCT 2	9	71.449	91.099	\$0,15
NOV 1	13	63.720	102.779	\$0,12
NOV 2	8	72.270	92.887	\$0,16
DIC 1	10	64.550	92.499	\$0,15
DIC 2	10	59.380	87.940	\$0,15

Tabla 8. Costos de Transporte en carretones año 2017
Fuente. Información propia del Ingenio

La siguiente operación de traslado se la realiza con los carretones propios de la empresa cuya capacidad es de 15 toneladas actualmente se cuenta con 87 unidades las cuales deben ser distribuidas a dos frentes de corte mecanizado, este costo representa anualmente un valor el cual expresamos, ver tabla 8.



Gráfico 6. Comportamiento en carretones de la zafra 2017.
Fuente. Información propia del Ingenio

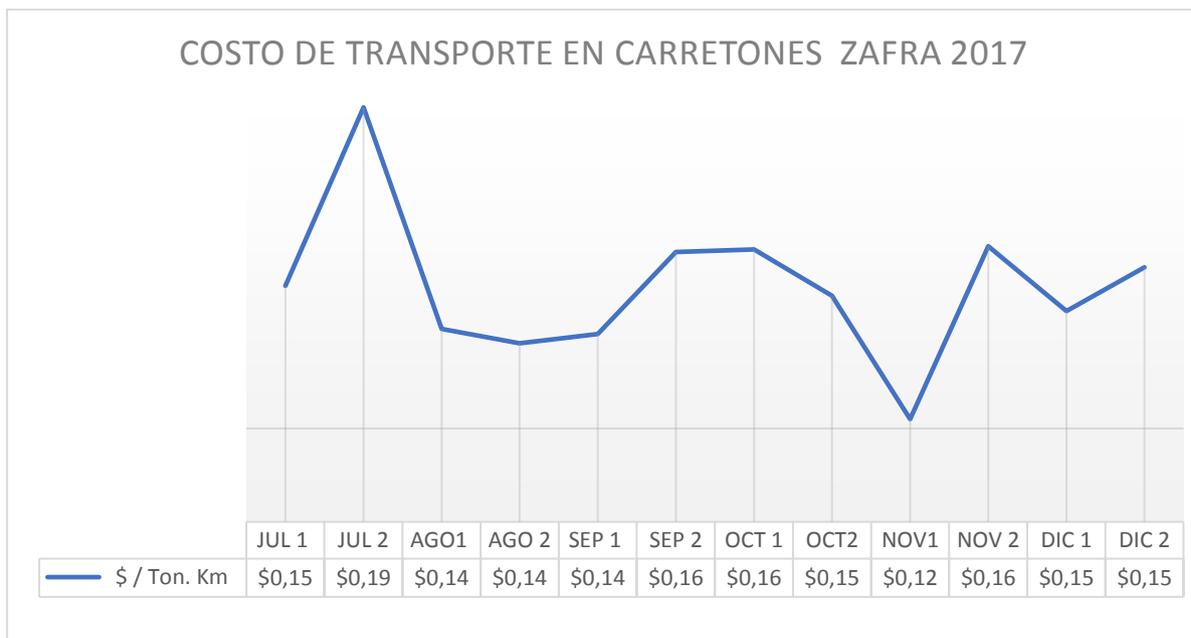


Gráfico 7. Costos en carretones zafra 2017.
Fuente. Información propia del Ingenio

Al Ingenio le cuesta entre 0.12 y 0.19 centavos la tonelada por kilómetro recorrido al ser transportada la materia prima en carretones, este valor podría reducir si se logra optimizar el rendimiento de los carretones actualmente estas unidades realizan entre 5 y 6 viajes al día, esta gestión podría subir si logramos asignar de mejor manera las unidades de carga hasta los frentes.

CAPÍTULO 3

Diseño de la solución

3.1. Introducción

En esta fase de la investigación en desarrollo se encontraron algunas variables que influyen y alteran los resultados del proceso real, las mismas que no pueden ser medidas como por ejemplo geografía del suelo, estado climático, quemas fortuitas, estructura de los frentes de trabajo, tipo cantidad de máquinas, equipos, camiones y carretones disponibles y asignados a este proceso.

Para dar cumplimiento a las metas propuestas en este trabajo de investigación, se desarrolló etapas para conocer la formación y distribución de cada frente de corte y la disponibilidad de las maquinarias y equipos, el objetivo principal es encontrar un balance en cuanto a la asignación de recurso de transporte de carga a los diferentes frentes de corte.

3.2. Descripción de maquinarias y equipos

En el desarrollo de esta cadena como es la cosecha, carga de unidades de transporte, y traslado de caña, se estructuró 6 frentes o puntos de carga, cada uno de ellos con sus propias particularidades de asignación, los cuales están distribuidos en diferentes sectores del campo ubicados alrededor del Ingenio, a distancias que oscilan entre 0.2 y 75 km.

3.3. Estructura de los frentes de corte

Basados en la planificación de recursos se estructuraron los frentes de corte, se consideraron varios factores para esta distribución, uno de ellos son los rendimientos de los lotes, distancias, capacidades operativas de las máquinas, y disponibilidad de unidades de carga.

Identificación del frente	Tipo de corte	Composición	Tipo de Transporte.
1	Manual	3 alzadoras	Camiones
2	Manual	3 alzadoras	Camiones
3	Mecánico	5 cosechadoras	Camiones
4	Mecánico	5 cosechadoras	Camiones
5	Mecánico	4 cosechadoras	Carretones
6	Mecánico	4 cosechadoras	Carretones

Tabla 9. Frentes de corte de caña
Fuente. Información propia del Ingenio

3.3.1 Frente 1 y Frente 2

Estos frentes son de cosecha manual que operan a distancias lejanas que están dentro de una ruta considerada de larga distancia, con respecto a la ubicación de la planta procesadora. Los frentes utilizan 3 máquinas alzadoras por cada uno, para la carga de los camiones cuya capacidad es de 14,5 toneladas según el tipo de unidad, las misma que en el escenario real realizan entre 5 y 6 viajes al día.

3.3.2 Frente 3 y Frente 4

Estos frentes son de cosecha mecanizada, se los asigna a lotes propios del Ingenio formando bloques de lotes, para tener una área con la mayor cantidad de hectáreas posibles, en estos frentes trabajan 5 máquinas cosechadoras cuyas capacidades de corte y llenado es 450 - 500 toneladas de caña día, actualmente está maquinaria trabaja 14 horas al día, este tiempo es debido a los diferentes factores que interrumpen el flujo del procesos, estos bloques están siempre ubicados geográficamente dentro rutas denominadas cortas y media, en estos frentes se utilizan camiones que realizan aproximadamente 5 y 6 viajes al día. Esta distancia es considera desde la planta procesadora

3.3.3 Frente 5 y Frente 6

Estos son frentes de caña corta o mecanizada que a diferencia de los frentes 1, 2, 3 y 4, estos utilizan camiones para el transporte de la caña, tienen una capacidad promedio de 14.5 toneladas por viaje. Estos frentes siempre van a estar ubicados a distancias cortas.

3.4. Criterios para la ubicación de cada frente

Es importante mencionar que el Ingenio cuenta con 2066 lotes de terreno los cuales son áreas donde se cultiva la caña, y lugar donde es recogida la misma, estos terrenos tienen por su naturaleza a tener comportamientos totalmente diferentes no son homogéneos, en la actualidad se está realizando, análisis de suelo para estimar sus rendimientos, con el objetivo de que las áreas de siembra y cosecha sean muchas más grandes, existen áreas que van desde 1 hectárea hasta las 200 hectáreas, el fin de este estudio es que las áreas sean muchos grandes para que la logística tenga un menor impacto económico.

Se realizó una clasificación de lotes considerando criterios de distancias, áreas y peso en toneladas, al realizar este análisis se estableció criterio de asignación de camiones y carretones a los frentes considerando, varios factores que influyen en la asignación de flotas, entre uno de ellos la accesibilidad, las distancias, las vías tránsito, y sobre el análisis de la tarifa mientras más cerca este el lote con respecto a la planta la tarifa será más baja.

Criterios de Zonificación.		
Distancia en Km.		
A	≥ 0	≤ 15
B	> 15	≤ 20
C	> 21	75

Tabla 10. Clasificación de rutas
Fuente. Información propia del Ingenio

Luego de la parametrización de distancia basados en información histórica de procesos de años anteriores, se realizó un análisis ABC considerando la distancia y sus niveles de participación, rendimiento de los lotes dentro del proceso de cosecha y transporte, es importante mencionar que el 85 % de la caña que se corta y transporta el Ingenio se encuentra en un radio de 20 km, , el 15 % se encuentra ubicado a distancia superiores a 20 km, la misma que tienen poca participación y generan un índice bajo de toneladas de caña, esta información es bajo la óptica de este análisis, ya que este 15% es muy valioso para los objetivos de molienda general del Ingenio, podemos decir que dentro de esta clasificación se encuentran terrenos propios, de finqueros y cañicultores que venden su producción de caña en pie, la distancia más lejana en este grupo es de 75 km. tomando como punto de referencia la planta procesadora del Ingenio.

Criterios	Clasificación	Lotes	Participación	Toneladas
<=15	A	1761	60 %	1.438.459
>15	B	251	25%	616.482
<=20	C	54	15%	362.637
>20 =75				

Tabla 11. Clasificación de lotes por su nivel de producción
Fuente. Información propia del Ingenio

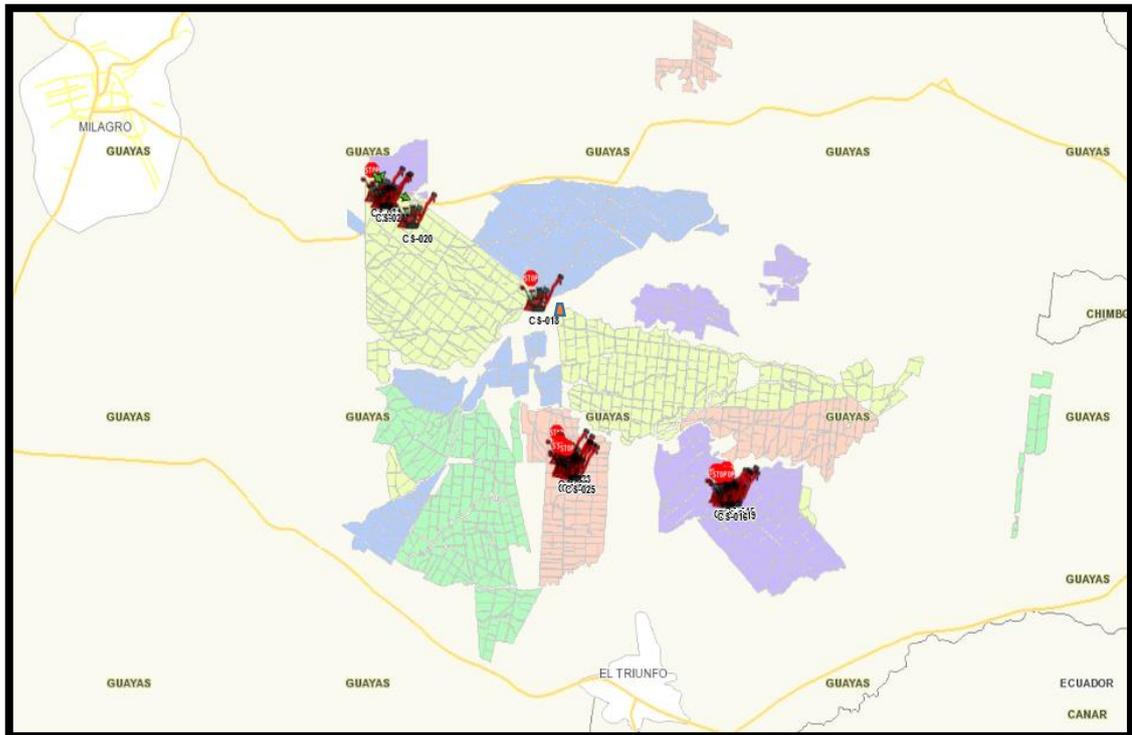


Imagen 8. Mapa del Ingenio distribución de lotes de caña.
Fuente. Información propia del Ingenio

3.5. Estructura de los lotes de caña

Las áreas donde se cultiva la caña de azúcar se la denomina lotes de terrenos las cuales no tienen características homogéneas, tienen una variabilidad considerable, esto se debe a su ubicación geográfica, límites con otros propietarios, sistemas de riego, canales de agua, torres eléctricas, que pasan por cierta trayectoria de los terrenos del Ingenio, debido a estos criterios se han clasificados los lotes en tiros corto, medio y largo.

El tiro se puede denominar la distancia y fin de lote donde está cultivada la caña, es las distancias que deben recorrer las máquinas y camiones para el corte y recolección de la materia prima, a mayor distancia más rápido se llenara las unidades de transporte.

Características del Lote	
Tiro	Distancia
Corto	< 200 m
Medio	200 - 350 m
Largo	> 350 m

Tabla 12. Clasificación de Longitud del lote
Fuente. Información propia del Ingenio

3.6. Cosechabilidad o rendimiento del lote

La cosechabilidad es la cantidad de caña que produce un lote, a mayor tonelaje por hectárea mayor cosecha.

Considera también rendimiento del lote depende mucho de los tipos de suelo, los mismos que pueden ser arcillosos, franco arcilloso, arcilloso, pedrosos, la variedad de caña, la misma que existe un gran número esta selección dependerá del análisis y tipo de suelo, ubicación geográfica, edad al momento del corte, tratamientos agronómicos, y estado del terreno al momento del corte.

Características del Lote	
Rendimiento	Toneladas
Bajo	70
Medio	70 - 80
Alto	> 80

Tabla 13. Clasificación de rendimientos del lote
Fuente. Información propia del Ingenio

3.7. Disponibilidad de recursos

Para la continuidad de la molienda diaria y cumplir con las metas y fabrica, los equipos en operación, maquinarias de corte y llenado y transporte se los clasifico como indica la tabla 14.

Equipo	Labor	Número de equipos
Cosechadoras	Corte y llenado	18
Alzadoras	Llenado	6
Camiones	Recogida	105
Carretones	Recogida	87
Cabezales	Remolque	10

Tabla 14. Disponibilidad de equipos
Fuente. Información propia del Ingenio

3.7.1 Capacidad de cosechadoras

Las maquinas cosechadoras son equipos mecánicos operador por un hombre, que se utiliza para realizar el corte de caña, y al mismo tiempo va llenando los camiones o carretones, su capacidad de corte aproximada en las condiciones del Ingenio en estudio es de 34 toneladas horas.

3.7.2 Capacidad de alzadoras

Esta maquinaria es la encargada de recoger la caña cortada que se encuentra en el suelo y la deposita en los baldes de los camiones su capacidad de recolección es de 40 toneladas horas.

3.7.3 Capacidad de camiones

Los camiones utilizados para la trasportación de la caña tienen una capacidad de 14,5 – 15 toneladas por viaje, esto dependerá de que tipo de caña es cargado, según información propia del Ingenio los camiones realizan entre 5 y 6 viajes dentro de las 24 horas.

3.7.4 Capacidad de carretones

Las unidades de carga denominadas carretones son estructuras metálicas adaptadas a la necesidad del Ingenio para la transportación de la caña realizan las mismas funciones que los camiones, estos realizan entre 5 y 6 viajes dentro de las 24 horas.

3.8. Descripción del patio de caña

El patio del ingenio donde se tiene un stock de seguridad, es denominado patio de caña, es el lugar de llegada de la materia prima donde se topan todas las unidades de carga que vienen de todos los frentes de corte ya sea caña cortada tipo manual o mecánica, para entregar la carga a los molinos de fábrica, a su vez es el sitio de donde se controla la operación y control de llegadas de las unidades de carga, aquí se recogen muestras de materia prima de diferentes camiones de forma aleatoria, para analizar la calidad de materia que está saliendo del campo.

La caña es entregada a los conductores de los molinos que a través de las mesas de descargue es cargado cada conductor de los 2 molinos, se indica en la tabla 15 la cantidad y capacidades de las mesas de recepción.

Molinos	Mesas	Recepción	Capacidad
A	1	Camiones	200 ton / h
	2	Camiones	
	3	Carretones	
B	1	Camiones / Carretones	400 ton / h
	2	Camiones / Carretones	
	3	Camiones	
	4	Camiones	

Tabla 15. Capacidad de Molienda y distribución de mesas de descargue
Fuente. Información propia del Ingenio

3.9. Descripción del ciclo de transporte

Los tiempos para el proceso de abastecimiento de caña en el Ingenio se lo ha determinado en 5 eventos, que al sumarlos hacen un ciclo completo.

3.9.1 Tiempo en la cola de espera

Este es el tiempo en que el carretón o camión espera a que alguna maquina cosechadora o llenadora termine de llenar una unidad de carga, para luego de esto ingresar a ser llenado.

3.9.2 Tiempo de carga

Tiempo desde que el camión o carretón empieza hacer cargado con caña, en esta etapa hay que distinguir si es cargado con cosechadora o llenadora, la información de los cuadros se la presenta en minutos.

Carretones	D. Baja	D. Media	D. Alta
Tiro Corto	30	25	20
Tiro medio	25	18	16
Tiro largo	20	16	13

Tabla 16. Tiempos de llenado de carretas con cosechadoras
Fuente. Información propia del Ingenio

Camión	D. Baja	D. Media	D. Alta
Tiro Corto	30	24	19
Tiro medio	24	17	16
Tiro largo	19	16	14

Tabla 17. Tiempos de llenado de camiones con cosechadoras
Fuente. Información propia del Ingenio

Camión	D. Baja	D. Media	D. Alta
Tiro Corto	25	21	17
Tiro medio	21	15	14
Tiro largo	17	14	11

Tabla 18. Tiempos de llenado de camiones con alzadoras
Fuente. Información propia del Ingenio

3.9.3 Tiempo de transito con carga

Tiempo que se demora en salir del frente hasta que llega al patio de la fábrica.

3.9.4 Tiempo de transito sin carga

Tiempo que se demora en salir de la fábrica hasta llegar al frente de corte asignado ubicado en el campo, información presentada en horas.

Frente	Camión Cargado	Camión Vacío	Carretón Cargado	Carretón Vacío	Distancia promedio
1	130	130	X	X	60 km
2	69	69	X	X	38 km
3	51	51	X	X	18 km
4	43	43	X	X	15 km
5	X	X	40	35	14 km
6	X	X	23	20	8 km

Tabla 19. Tiempos de transito de las unidades de carga
Fuente. Información propia del Ingenio

3.9.5 Tiempo de espera en fábrica

Tiempo que espera de los camiones en los patios de fábrica hasta que sean descargados, luego de esto retornan al campo, información presentada en minutos.

Tipo	Patio	Descarga
Camión	30	2
Carretones	30	3

Tabla 20. Tiempos de espera en los patios, y tiempos de descarga
Fuente. Información propia del Ingenio

3.10. Velocidad en tránsito de camiones y carretones

La velocidad permitida para la circulación de los camiones y carretones dentro de los predios del Ingenio se establece en el siguiente cuadro, tienen velocidades diferentes una cuando están cargados y otra cuando están en tránsito vacío las unidades están expresados en Km / h.

Tipo	Cargado	Vacío
Camión	45 km / h	70 km / h
Carretones	35 km / h	60 km / h

Tabla 21. Rango de velocidades permitidas
Fuente. Información propia del Ingenio

3.11. Planificación de la demanda

La planificación de la demanda que generan los molinos por quincenas es una información que es proporcionada por el departamento de fábrica, la misma que toma como base un estimado de producción que genera el área de campo, la fábrica que es la parte receptora de la materia prima y a la cual debemos abastecer y satisfacer su necesidad, para que puedan cumplir con sus metas de producción.

Esta información es analizada en base a las capacidades de molienda de los trapiches y de los demás equipos que van en cadena hasta llegar al producto terminado, esta información es procesada y presentada al departamento de cosecha y transporte para sus respectivas planificaciones.

Planificación 2018		
Quincena	Toneladas	Distancia
JUL 1	150.000	12
JUL 2	220.800	13
AGO1	207.000	14
AGO 2	211.486	17
SEP 1	207.857	17
SEP 2	207.857	19
OCT 1	197.857	18
OCT2	221.714	17
NOV1	207.857	14
NOV 2	195.571	15
DIC 1	205.629	15
DIC 2	183.949	12
Total.	2.417.578	15

Tabla 22. Demanda quincenal en toneladas a transportarse
Fuente. Información propia del Ingenio

El gráfico 8 muestra el comportamiento de las toneladas de caña estimadas a ser cortadas y su promedio de distancia, que deberán ser transportadas.

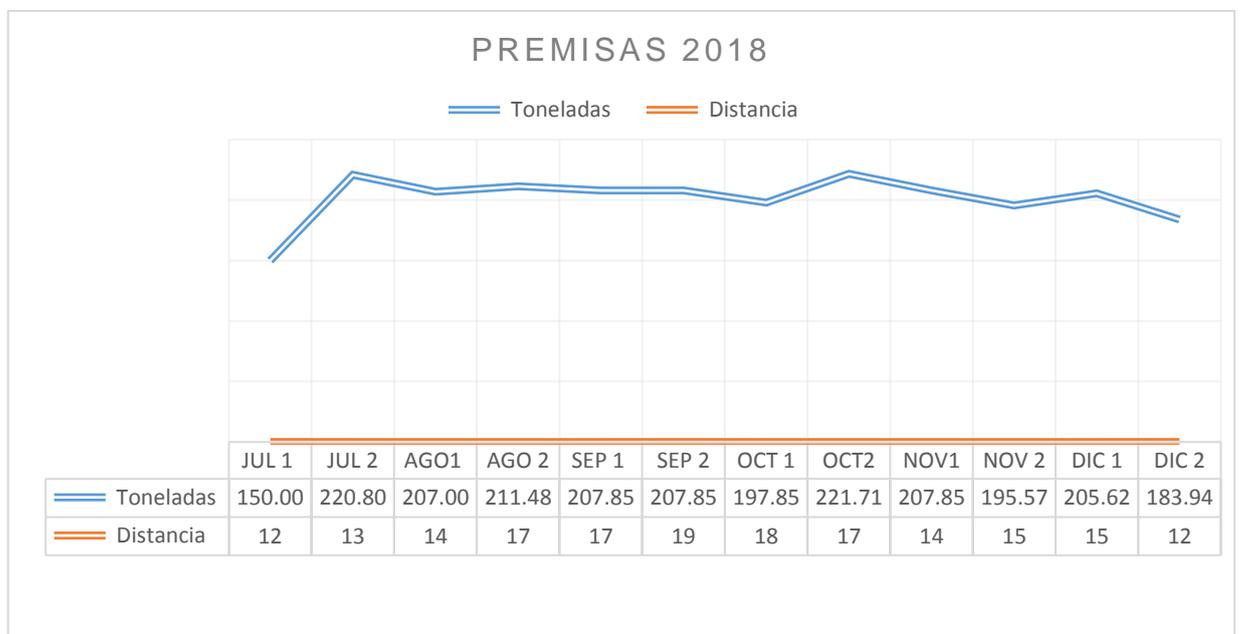


Gráfico 8. Comportamiento de la demanda de caña
Fuente. Información propia del Ingenio

3.12. Distribución del corte basados en los estimados del rendimiento del lote

Basados en las premisas quincenales información en toneladas de caña necesarias para la fábrica, la planificación de corte divide la demanda en 70% corte mecanizado y 30% corte manual.

Esta información es importante ya de aquí surge una nueva necesidad, de demanda para el departamento de transporte, en este punto se conoce como va a hacer el corte con sus respectivas cuotas diarias, ya que el abastecimiento y asignación de camiones o corretones a los puntos de despacho depende mucho de la forma del corte que se va a realizar.

Quincena	Distribución del corte	
	Mecanizado	Manual
JUL 1	90.000	60.000
JUL 2	132.480	88.320
AGO 1	124.200	82.800
AGO 2	126.891	84.594
SEP 1	124.714	83.143
SEP 2	124.714	83.143
OCT 1	118.714	79.143
OCT 2	133.029	88.686
NOV 1	124.714	83.143
NOV 2	117.343	78.229
DIC 1	123.377	82.251
DIC 2	110.370	73.580

Tabla 23. Demanda quincenal en toneladas según su tipo de corte
Fuente. Información propia del Ingenio

La Gráfica 9 muestra el comportamiento de las toneladas de caña quincenales a cortadas que deben ser transportadas ya sea de forma mecanizada o manual.

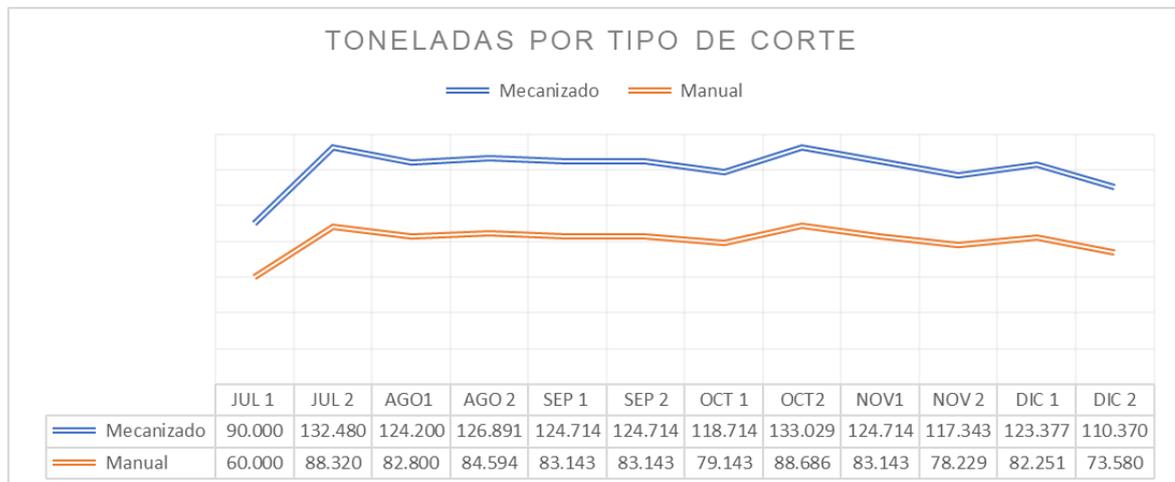


Gráfico 9. Comportamiento de la demanda de caña según su tipo de corte
Fuente. Información propia del Ingenio

3.13. Distribución de corte mecánico

Una vez definido el 70% de caña para corte mecánico, el departamento de cosecha debe continuar con su planificación, y distribuir los frentes de corte, basados en las capacidades de cada frente, los mismos que se los indican como frente 3, 4 ,5 y 6.

Los frentes 3 y 4 tienen asignados 5 máquinas cosechadoras, y los frentes 5 y 6 tienen asignados 4 máquinas, es importante indicar que el rendimiento de estas máquinas es entre 450 y 500 toneladas día, según información de zafras pasadas.

En este análisis de capacidades de máquinas intervienen factores externos que no se los puede predecir y que influyen en las eficiencias de los equipos, esta información es importante para la planificación de transporte, y calcular el dimensionamiento de flotas asignados a los diferentes frentes de este tipo, ver tabla 24.

Quincena	Corte Mecánico			
	Frente 3	Frente 4	Frente 5	Frente 6
JUL 1	24.300	25.200	20.700	19.800
JUL 2	35.770	37.094	30.470	29.146
AGO 1	33.534	34.776	28.566	27.324
AGO 2	34.261	35.530	29.185	27.916
SEP 1	33.673	34.920	28.684	27.437
SEP 2	33.673	34.920	28.684	27.437
OCT 1	32.053	33.240	27.304	26.117
OCT 2	35.918	37.248	30.597	29.266
NOV 1	33.673	34.920	28.684	27.437
NOV 2	31.683	32.856	26.989	25.815
DIC 1	33.312	34.546	28.377	27.143
DIC 2	29.800	30.904	25.385	24.281

Tabla 24. Distribución de la demanda según su capacidad por frente
Fuente. Información propia del Ingenio

En el Gráfico 10 se puede observar el comportamiento de las toneladas quincenales de caña cortada de forma mecánica por frente, las mismas que deben ser transportadas.

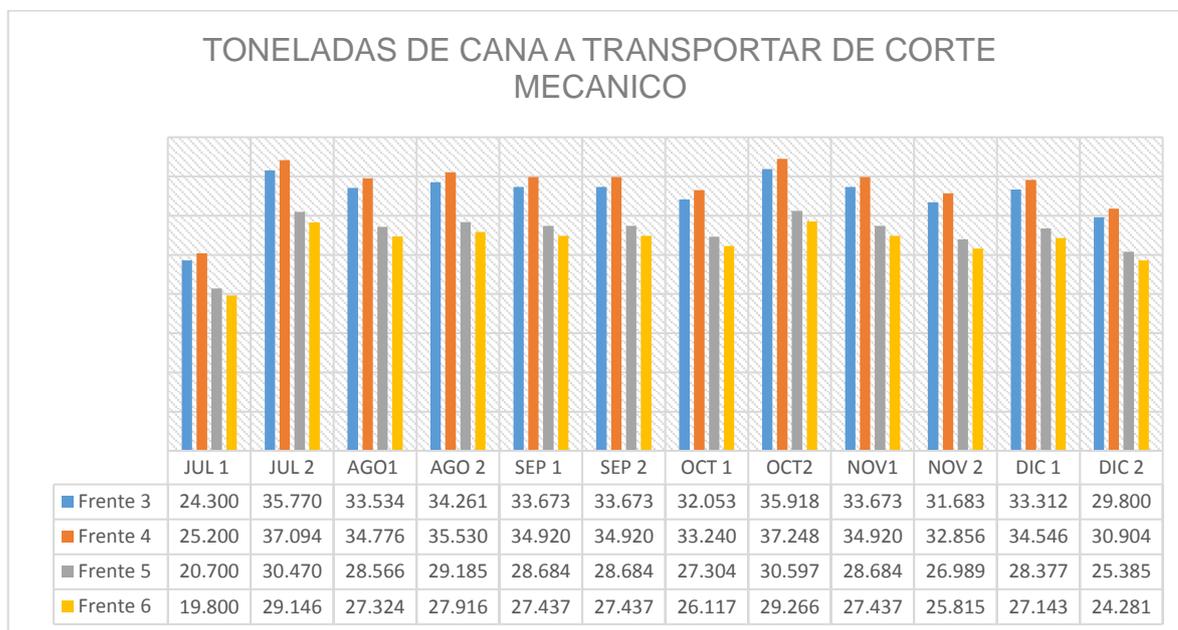


Gráfico 10. Distribución de la demanda según su capacidad por frente
Fuente. Información propia del Ingenio.

3.13.1 Caña por transportar de corte mecánico

Establecidos los frentes de corte mecánico se debe hacer un análisis de las toneladas de caña que deben ser transportadas, por frente desde los campos hasta los molinos.

En este punto los análisis deben cumplir ciertas restricciones, para la asignación de flotas.

Para los frentes 5 y 6 se asignarán solo camiones debido a que estos frentes se encuentran a distancias más lejanas de corte, y por la autonomía de las flotas, es más eficiente el envío de este tipo de medios de carga, ver tabla 25.

Para los frentes 3 y 4 que siempre estarán a distancias más cercanas según zafra 2017 promedio de 11 km, se enviarán los carretones, ver tabla 25.

Diario	Toneladas día a transportar de corte mecánico			
	Frente 3	Frente 4	Frente 5	Frente 6
JUL 1	1.620	1.680	1.380	1.320
JUL 2	2.385	2.473	2.031	1.943
AGO 1	2.236	2.318	1.904	1.822
AGO 2	2.284	2.369	1.946	1.861
SEP 1	2.245	2.328	1.912	1.829
SEP 2	2.245	2.328	1.912	1.829
OCT 1	2.137	2.216	1.820	1.741
OCT 2	2.395	2.483	2.040	1.951
NOV 1	2.245	2.328	1.912	1.829
NOV 2	2.112	2.190	1.799	1.721
DIC 1	2.221	2.303	1.892	1.810
DIC 2	1.987	2.060	1.692	1.619

Tabla 25. Distribución de la demanda según su capacidad por frente
Fuente. Información propia del Ingenio

El Gráfico 11 muestra el comportamiento de las toneladas diarias de caña cortadas por frente que van a ser transportadas ya sea en camiones o carretones.

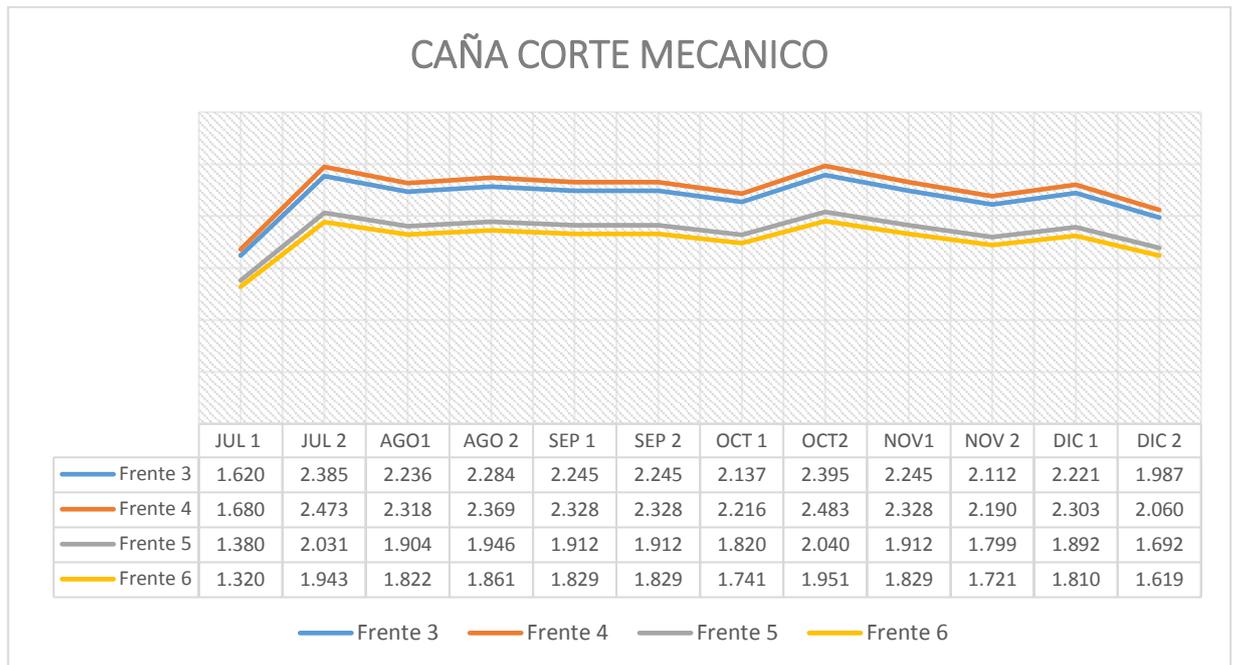


Gráfico 11. Comportamiento de los frentes de corte
Fuente. Información propia del Ingenio.

3.14. Distribución del corte manual

Definido el 30 % de caña para corte manual, el departamento de cosecha planificará, y distribuirá los frentes de corte, basados en las capacidades de cada frente, los mismos que se los indican como frente 1, 2 este corte es de forma manual el promedio día de corte por hombre es de 7,5 toneladas, según información de la zafra 2017, se utilizaron 650 cortadores entre nomina propia y contratados, a este grupo de corte se le asigna metas de corte diario, tabla 26.

Esta información es importante para la planificación de transporte, y calcular el dimensionamiento de flotas a los diferentes frentes manuales.

Quincena	Corte Manual	
	Frente 1	Frente 2
JUL 1	30.000	30.000
JUL 2	44.160	44.160
AGO1	41.400	41.400
AGO 2	42.297	42.297
SEP 1	41.571	41.571
SEP 2	41.571	41.571
OCT 1	39.571	39.571
OCT2	44.343	44.343
NOV1	41.571	41.571
NOV 2	39.114	39.114
DIC 1	41.126	41.126
DIC 2	36.790	36.790

Tabla 26. Distribución de la demanda según su capacidad por frente y tipo de corte
Fuente. Información propia del Ingenio

Comportamiento del movimiento de caña diario-cortada de forma manual ver gráfico 12.

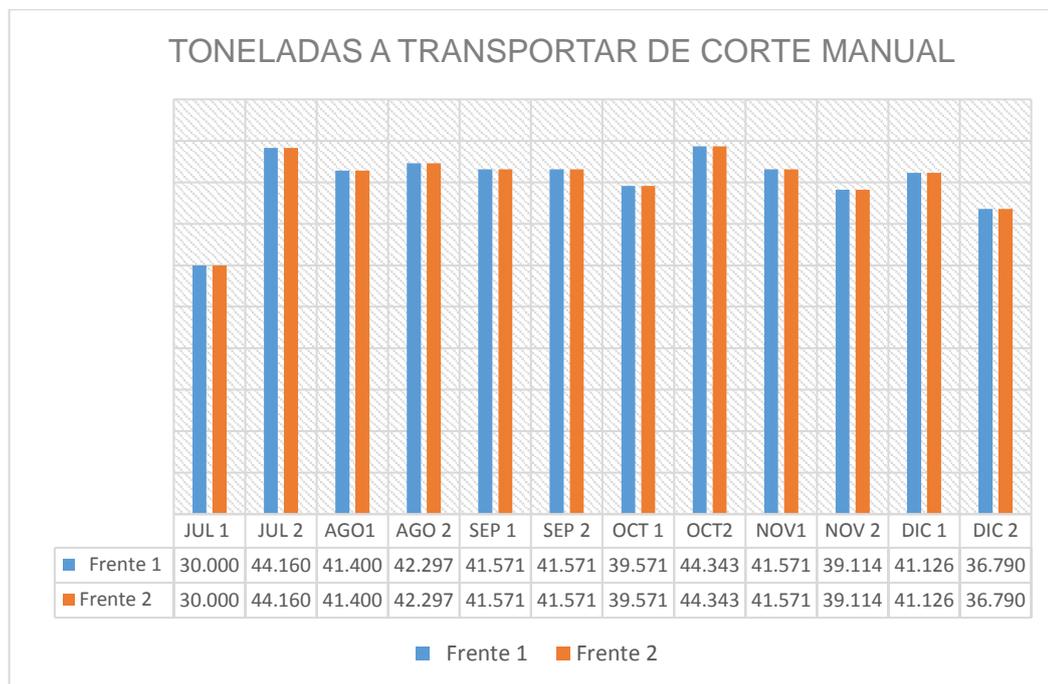


Gráfico 12. Distribución de la demanda según su capacidad por frente y tipo
Fuente. Información propia del Ingenio.

3.14.1 Caña por transportar de corte manual

Establecidos los frentes 1 y 2 de corte manual se debe hacer un análisis de las toneladas de caña que deben ser transportadas desde el campo hasta los molinos, estos frentes estarán ubicados a las distancias más lejanas del Ingenio, se asignarán a los cañicultores y finqueros que nos venden la caña.

A estos frentes siempre deben ser enviados camiones por las restricciones de distancias y las regulaciones de Agencia Nacional de Tránsito ya que los cañicultores se encuentran fuera de los predios del Ingenio, y para llegar a muchos de ellos se deben utilizar vías estatales, ver tabla 27.

Toneladas día a transportar corte manual		
Diario	Frente 1	Frente 2
Jul 1	2.000	2.000
Jul 2	2.944	2.944
Agos 1	2.760	2.760
Agos 2	2.820	2.820
Sept 1	2.771	2.771
Sept 2	2.771	2.771
Oct 1	2.638	2.638
Oct 2	2.956	2.956
Nov 1	2.771	2.771
Nov 2	2.608	2.608
Dic 1	2.742	2.742
Dic 2	2.453	2.453

Tabla 27. Distribución de la demanda según su capacidad por frente y tipo de corte
Fuente. Información propia del Ingenio

Comportamiento del movimiento de las toneladas de caña día manual por frente a transportar en camiones ver gráfico 13.

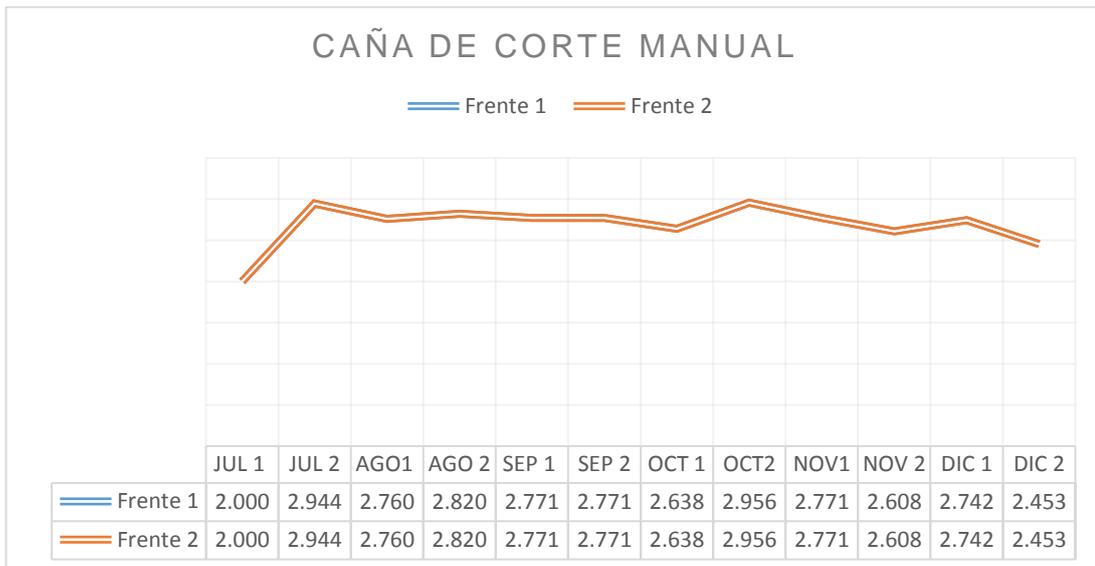


Gráfico 13. Comportamiento de la demanda de caña por frente
Fuente. Información propia del Ingenio

3.15. Planificación del transporte

Es importante mencionar que el trabajo conjunto entre el departamento de fábrica y el de cosecha es de prioridad para la planificación del área de transporte, tanto la parte abastecida como la abastecedora, aportan con información valiosa para el plan de transporte, debemos conocer cuanto vamos a transportar, y de donde transportar al menor costo posible.

Una vez conocida y revisada las necesidades y planificaciones que debería recibir el área de transporte de las áreas involucradas, se ha desarrollado un análisis para el desarrollo de las necesidades de flota.

Esto nos sirve para el análisis de contratación de camiones que vamos a utilizar para la zafra que se esté por desarrollar, es válido, mencionar que el ingenio cuenta con una cuota propia de unidades de carga.

Conocida la demanda diaria con su clasificación, y forma de corte se puede analizar varios factores, capacidad de flota propia y contratada, demanda diaria a transportar ver tabla 28.

Planificación diaria que transportar.	
Mecánico	Manual
6.000	4.000
8.832	5.888
8.280	5.520
8.459	5.640
8.314	5.543
8.314	5.543
7.914	5.276
8.869	5.912
8.314	5.543
7.823	5.215
8.225	5.483
7.358	4.905

Tabla 28. Demanda de transporte diario
Fuente. Información propia del Ingenio

Comportamiento del movimiento de toneladas de caña a ser transportada cuyo tipo de corte es mecánico, y manual ver gráfico 14.

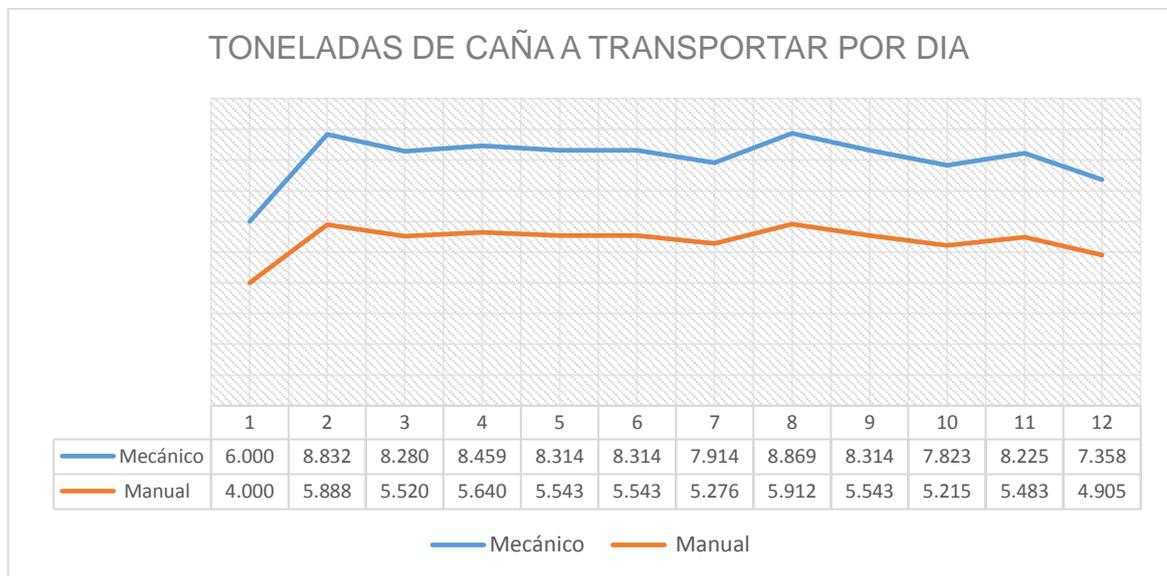


Gráfico 14. Comportamiento diario de la demanda a transportar
Fuente. Información propia del Ingenio

3.15.1 Análisis de dimensionamiento de la flota vehicular

Conocida la demanda estimada se realiza un análisis de dimensionamiento de flota, tomando como base sus capacidades de carga correspondientes, esta estimación ayudara a determinar, y establecer si con los recursos de carga disponible se podrá abastecer la demanda que me genere el corte, y trasladar la materia a la planta, además de esto nos ayudara a conocer la cantidad de camiones que se debería contratar para que nos ayude con el traslado.

Luego del análisis se puede concluir lo establecido en la tabla 29. El ingenio cuenta con 87 carretones propios, y la flota contratada es la de tipo camiones.

DISPONIBILIDAD DE RECURSOS CAMIONES / CARRETONES			
Camiones	105	Carretones	87
Capacidad	14,5	Capacidad	15
Viajes	5	Viajes	5

Tabla 29. Disponibilidad de recursos para la operación
Fuente. Información propia del Ingenio

Realizado el análisis de capacidades, se puede simular el porcentaje de utilización de los carretones, y determinar un numero óptimo de camiones que se deberían contratar, para el traslado, esto ayudara a tener un numero apropiado de camiones que presten servicios.

Una información estadística del ingenio es que el promedio de contratación de camiones particulares hasta el año 2017 fue de 130 unidades, se propone con este análisis un número reducido a 105 camiones.

Este análisis está enfocado a la selección de camiones de mayor capacidad, de camiones modernos, que presten las garantías para la operación.

Los resultados de utilización de la flota en general se muestran en la tabla 30.

TMC / DIA	OCUP. FLOTA
10.000	64%
14.720	94%
13.800	88%
14.099	90%
13.857	88%
13.857	88%
13.190	84%
14.781	94%
13.857	88%
13.038	83%
13.708	88%
12.263	78%

Tabla 30. Porcentaje de capacidad operativa
Fuente. Información propia del Ingenio

En la gráfica 15 se puede apreciar el porcentaje de utilización de los camiones o carretones, se puede indicar que con la capacidad de flota obtenidos en este análisis se puede cumplir con el traslado de la materia prima.

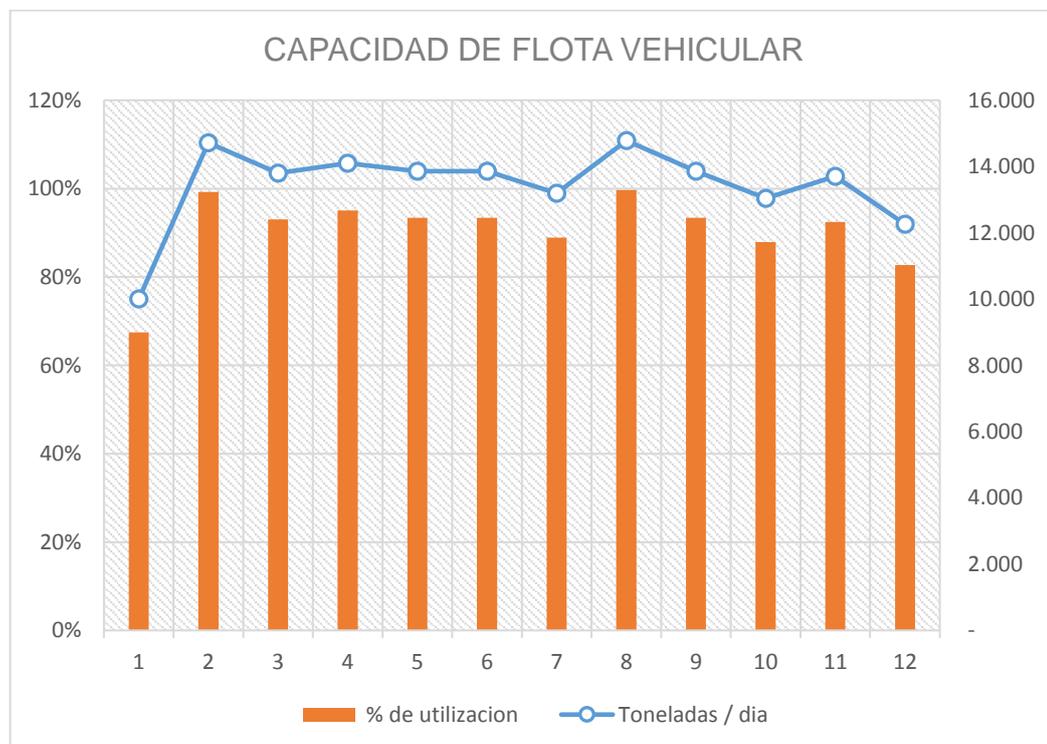


Gráfico 15. Capacidad de flota de vehicular
Fuente. Información propia del Ingenio

Con los resultados de la planificación de cosecha, se puede conocer que cantidad de caña se va a transportar y de qué forma va a hacer cortada, este es un dato importante para la asignación de recursos a cada frente.

Esta investigación busca encontrar un número óptimo de camiones o carretones que van a ser enviados a los diferentes frentes de trabajo con esta información se realiza una simulación que nos debería dar resultados favorables.

3.16. Análisis de la demanda para la simulación

Es importante mencionar que una vez conocidas las demandas diarias que exige la fábrica, se determinó considerar los picos más alto de la misma, estos valores serán considerados para simular escenarios.

Se han determinado 3 escenarios, en los cuales se ha considerado las demandas máximas en los 3 diferentes tipos de frentes de corte y llenado.

- Escenario 1: se lo asigna para el transporte de caña mecanizada, en el que intervienen 5 máquinas para el llenado del transporte.
- Escenario 2: Para el frente en el cual tenemos 4 máquinas cosechadoras, para un tipo de corte y llenado mecánico de camiones.
- Escenario 3: Para el llenado de camiones utilizando 3 máquinas llenadoras.

Este análisis se está considerando tanto como para caña corte mecanizado y manual.

Basados en estos criterios se clasifico las diferentes demandas en los diferentes frentes, se presentan las tablas 31 y 32 con los escenarios previamente explicados.

	Frente 3 y 4	Frente 5 y 6
Demanda alta	2.483 ton	2.040 ton
Demanda media	2.256 ton	1.853 ton
Demanda baja	1.680 ton	1.380 ton

Tabla 31. Escenarios para simulación corte mecánico
Fuente. Información propia del Ingenio

	Frente 1 y 2
Demanda alta	2.956 ton
Demanda media	2.686 ton
Demanda baja	2.000 ton

Tabla 32. Escenarios para simulación corte manual
Fuente. Información propia del Ingenio

3.17. Simulación

Para este análisis se utilizará el programa, Flexsim es un software de simulación que permite contestar preguntas o tomar decisiones, de planificaciones ayudando a optimizar procesos que podrían ser costosos o demasiado arriesgados.

En esta investigación se consideró el uso de este simulador, tomando como parámetros, los diferentes tiempos que intervienen en este proceso, además de las demandas máximas que se han presentado, para esta simulación utilizaremos tres escenarios.

3.17.1 Resultados de la simulación del escenario 1

Existen varios resultados de las simulaciones, en esta primera corrida se colocó una demanda de 2483 toneladas, ver tabla 33, la mismas que deben ser procesadas, en operación real, por 5 máquinas cosechadoras, esto es para los frentes 3 y 4 Ver Anexos 5 y 6.

Entrada	Salida
2483	2483

Tabla 33. Escenarios para simulación corte mecánico
Fuente. Información propia del Ingenio

Uno de los resultados que observamos son los tiempos que pasan las maquinas en proceso, los tiempos libres, los diferentes sets up, ver tabla 34, en este punto podemos observar el tiempo efectivo que pasan las maquinas procesando, en esta información podemos observar la unidad tiempo en minutos. Ver Anexos 7 y 8.

Equipo	Procesando	Desocupado	Parado	Set up	Trabajando	Dia	Libre
Máquina 1	486	39,2	25,4	243	793,6	1440	646,4
Máquina 2	290	42,5	25,2	250	607,7	1440	832,3
Máquina 3	486	35,5	25,3	246	792,8	1440	647,2
Máquina 4	294	44,4	25,4	260	623,8	1440	816,2
Máquina 5	486	39,5	25,4	230	780,9	1440	659,1

Tabla 34. Tiempos de trabajo de las maquinas
Fuente. Resultados de la simulación

En la gráfica 16 se puede observar los tiempos efectivos de la maquinas cortadoras y cargadoras de la caña, en este punto podemos claramente indicar que la cuota diaria de la maquina es la correcta, y podemos cumplir con la demanda del frente, es importante mencionar que esta demanda es diaria.

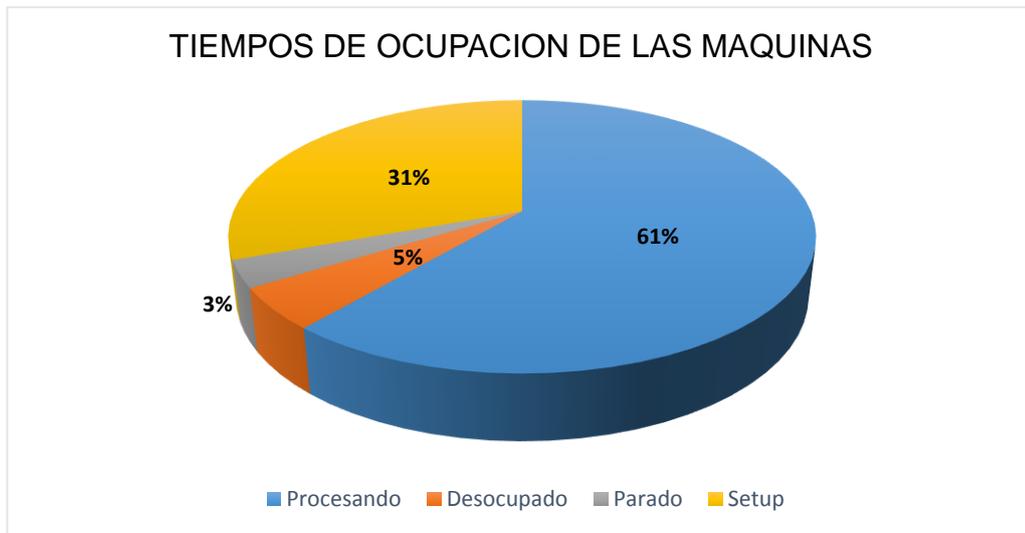


Gráfico 16. Ciclos de trabajo de las maquinas
Fuente. Resultados de la simulación

Otros de los resultados de la simulacion en esta etapa, son los tiempos promedio de llenado por tonelada dia, es decir el promedio de tiempo que demora en cargar 1 tonelada al cajon del camion, ver tabla 35.

Tiempos de llenado por tonelada			
Equipo	Min	Max	Promedio
Máquina 1	0,8	1,2	1,0
Máquina 2	0,7	1,1	0,9
Máquina 3	0,9	1,0	1,0
Máquina 4	0,9	1,3	1,1
Máquina 5	1,0	1,2	1,1

Tabla 35. Tiempos promedios de carga por tonelada
Fuente. Resultados de la simulación

En la Grafica 17 se puede observar los tiempos que se demora en cargar una maquina cosechadora 1 tonelada de caña hasta el cajón de un camión o carretón.

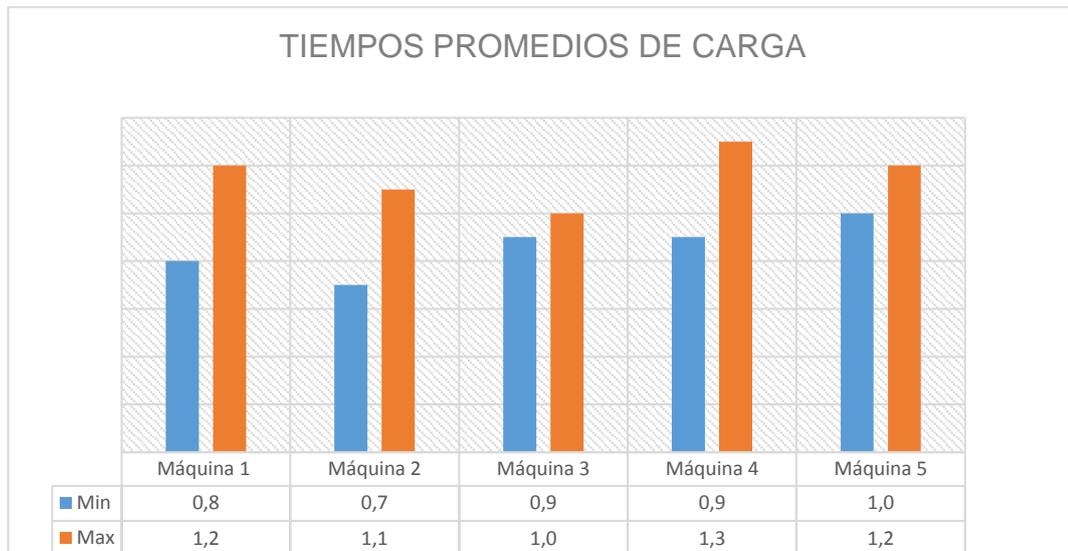


Gráfico 17. Tiempos promedios de carga por toneladas
Fuente. Resultados de la simulación

En esta etapa de la simulación podemos tener otro resultado como es la capacidad de toneladas día, que una maquina puede cortar y cargar a los camiones.

El promedio real actual de toneladas / día de las cosechadoras es de 450 – 470 toneladas ver tabla 36.

Maquinaria	Cap. de corte día de Cosechadoras Tmc / día
Máquina 1	492
Máquina 2	505
Máquina 3	500
Máquina 4	496
Máquina 5	490

Tabla 36. Rendimiento de maquinaria
Fuente. Resultados de la simulación

En la gráfica 18 se puede observar el rendimiento de las maquinas en la simulación, es muy apegado al rendimiento real.

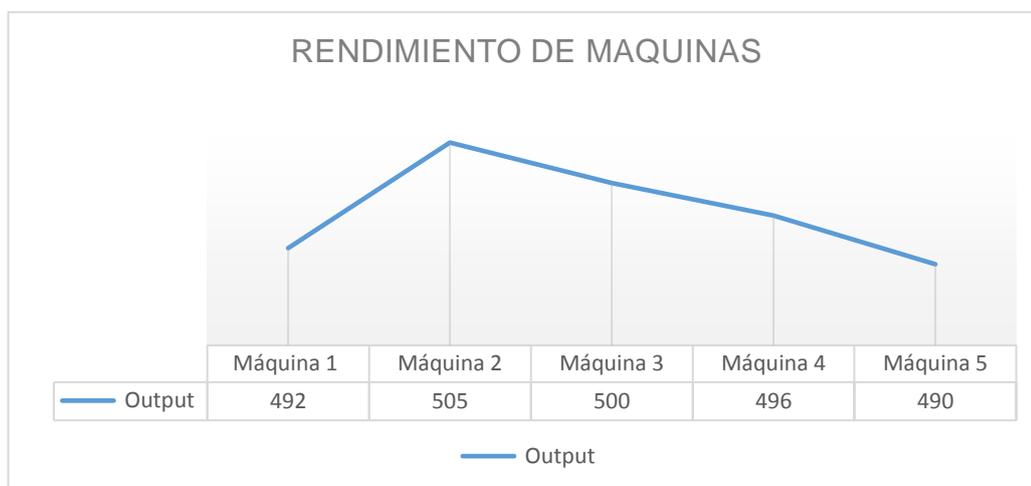


Gráfico 18. Rendimiento de maquinaria
Fuente. Resultados de la simulación

En la simulación podemos encontrar resultados del tiempo del ciclo de transporte, tiempos de carga y descarga, y tiempos disponibles, tabla 37, los cuales el objetivo es optimizarlos, ver Anexo 9.

Ciclos de tiempo de unidades de transporte								
Unidades	Libre	Viaje cargado	Viaje vacío	T. carga	T. descarga	CT	Día	Disponible
Camión 1	410	34	27	240	243	954	1.440	486
Camión 2	401	38	32	238	239	948	1.440	492
Camión 3	409	34	27	236	237	943	1.440	497
Camión 4	404	36	29	241	240	951	1.440	489
Camión 5	404	36	29	243	241	954	1.440	486
Camión 6	400	38	32	244	243	957	1.440	483
Camión 7	399	39	33	245	240	955	1.440	485
Camión 8	428	34	27	238	244	970	1.440	470
Camión 9	399	39	33	237	239	946	1.440	494
Camión 10	409	34	27	243	243	955	1.440	485

Tabla 37. Tiempos de las unidades de carga
Fuente. Resultados de la simulación

La gráfica 19 de los tiempos de carga donde se puede observar los diferentes tiempos, que intervienen en este proceso, traslado, descarga y retornos de un camión.

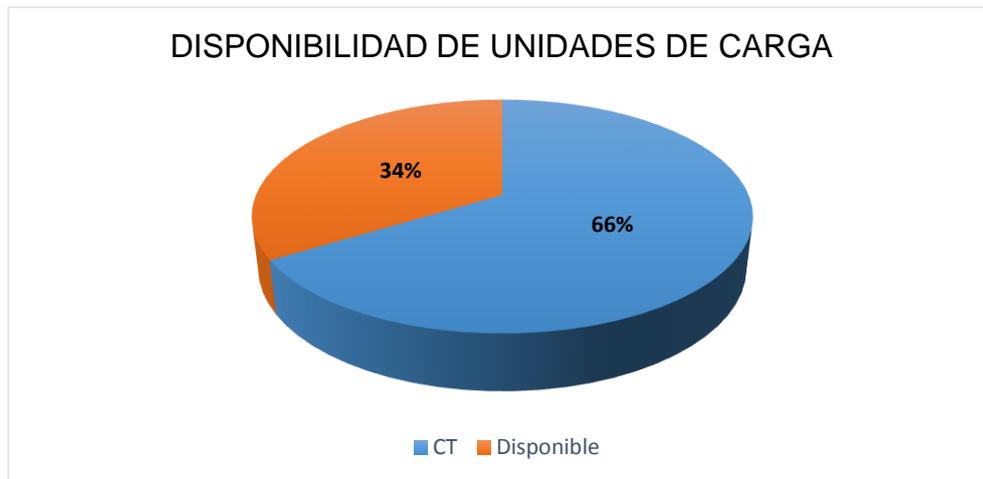


Gráfico 19. Tiempos de un ciclo de las unidades de carga
Fuente. Resultados de la simulación

Un resultado importante de la simulación es que se obtiene los tiempos de carga por tonelada, los viajes aproximados que deben hacer las unidades de carga, ver tabla 38.

Unidades	Toneladas	Viajes
	Promedio	Promedio
Camión 1	244	17
Camión 2	245	18
Camión 3	243	17
Camión 4	247	18
Camión 5	243	17
Camión 6	247	18
Camión 7	244	17
Camión 8	246	18
Camión 9	244	17
Camión 10	243	17

Tabla 38. Tiempos promedios de toneladas y viajes al día
Fuente. Resultados de la simulación

Las toneladas días promedio que transportara cada unidad de cargar, aproximadamente 247 toneladas por camión, en esta simulación se trabajó con 10 vehículos, ver gráfica 20.

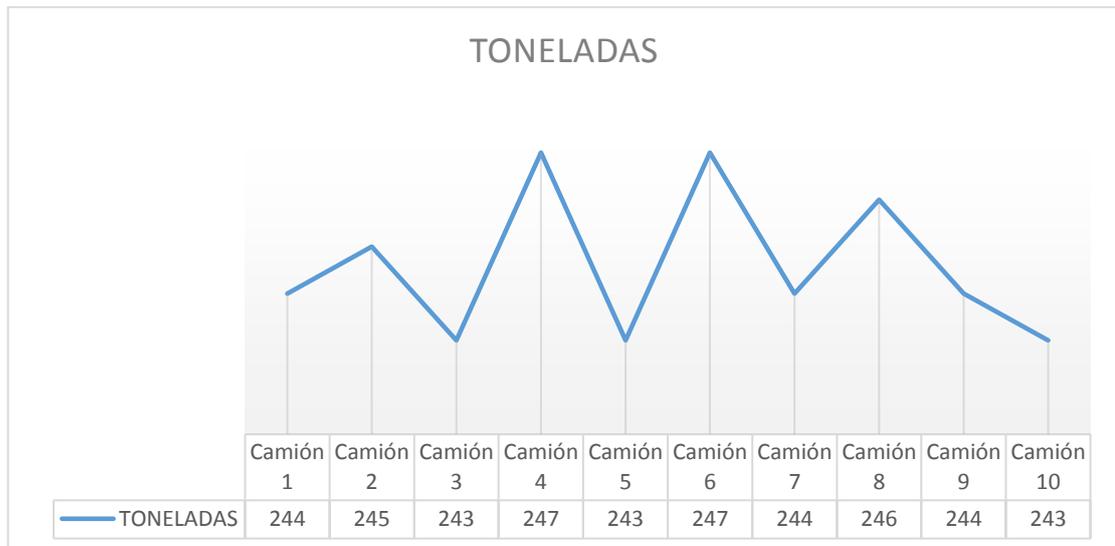


Gráfico 20. Toneladas día transportada por camión escenario 1
Fuente. Resultados de la simulación

Basados en las toneladas día podemos decir que cada vehículo dará aproximadamente entre 17 y 18 viajes según se observa en la gráfica 21.

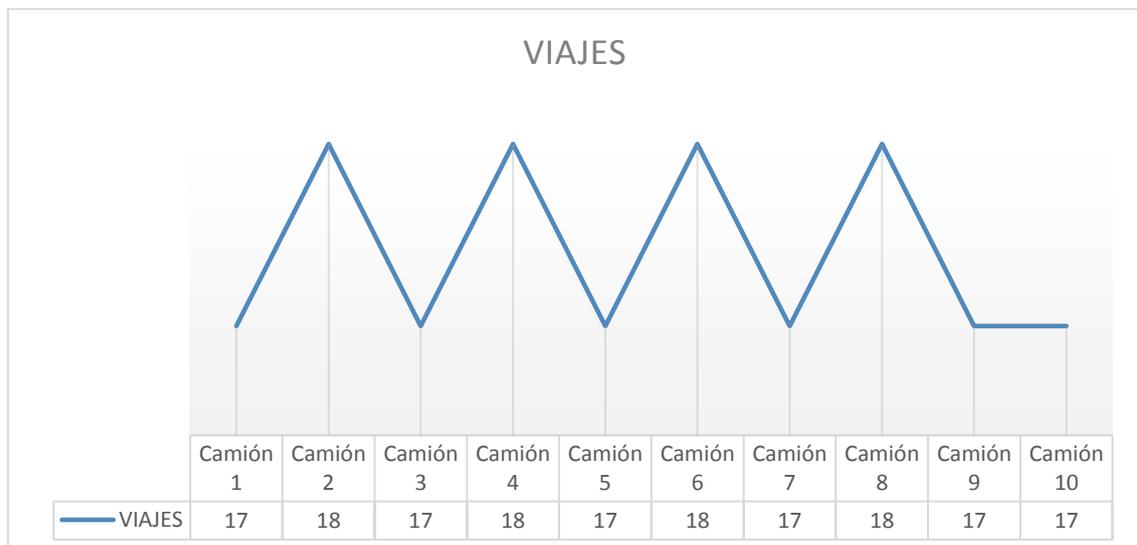


Gráfico 21. Viajes por camión escenario 1
Fuente. Resultados de la simulación

3.17.2 Resultados de la simulación del escenario 2

En la segunda simulación utilizando los mismos tiempos de carga y descarga, y con una demanda de 2040 toneladas, observaremos los resultados de toneladas día que debe transportar un camión o carretón ver tabla 39.

Unidades	Toneladas	Viajes
	Promedio	Promedio
Camión 1	214	13
Camión 2	212	13
Camión 3	216	14
Camión 4	202	13
Camión 5	220	14
Camión 6	204	13
Camión 7	207	13
Camión 8	209	13
Camión 9	207	13
Camión 10	211	13

Tabla 39. Tiempos promedios de toneladas y viajes al día escenario 2
Fuente. Resultados de la simulación

Las toneladas días promedio que transportara cada unidad de cargar, aproximadamente 220 toneladas por camión, en esta simulación se trabajó con 10 vehículos, ver gráfica 22.

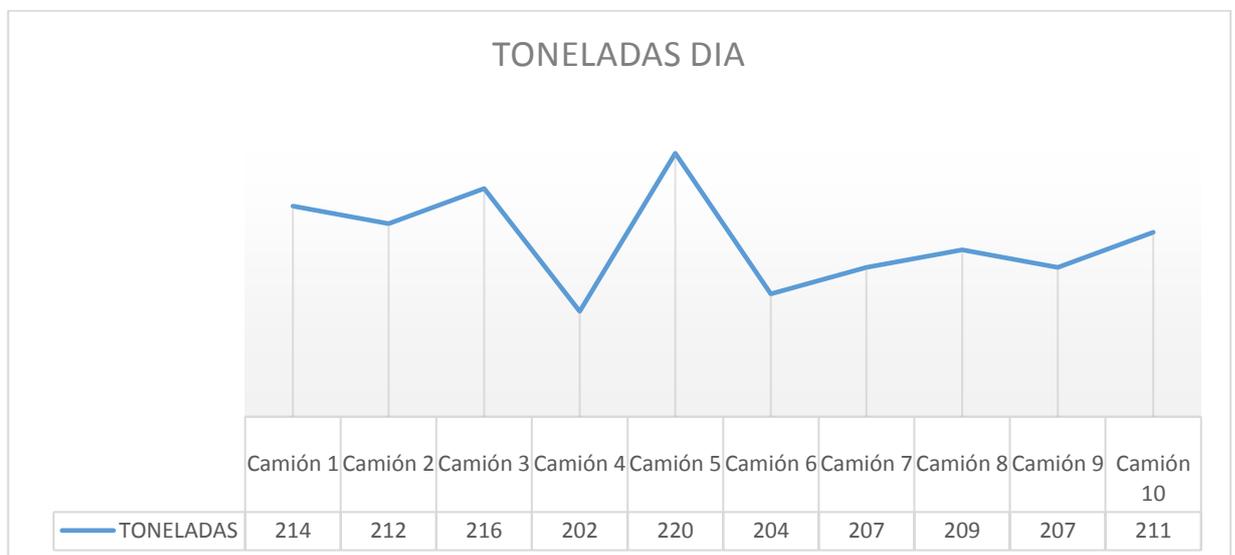


Gráfico 22. Toneladas día transportada por camión escenario 2
Fuente. Resultados de la simulación

Basados en las toneladas día podemos decir que cada vehículo dará aproximadamente entre 13 y 14 viajes al día, los resultados se pueden observar en la gráfica 23.

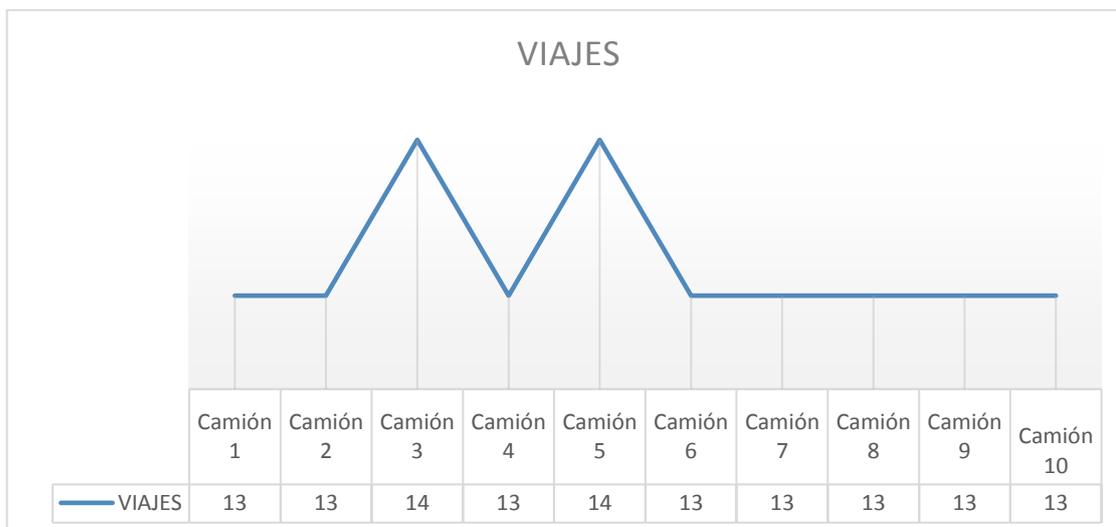


Gráfico 23. Viajes por camión escenario 2
Fuente. Resultados de la simulación

3.17.2 Resultados de la simulación del escenario 3

En la segunda simulación utilizando los mismos tiempos de carga y descarga con una demanda de 2956 toneladas, observaremos los resultados de toneladas día que debe transportar los camiones, ver tabla 40.

Unidades	Toneladas Promedio	Viajes Promedio
Camión 1	280	20
Camión 2	290	21
Camión 3	298	21
Camión 4	300	21
Camión 5	318	23
Camión 6	300	21
Camión 7	300	21
Camión 8	300	21
Camión 9	290	21
Camión 10	280	20

Tabla 40. Tiempos promedios de toneladas y viajes al día escenario 3
Fuente. Resultados de la simulación

Toneladas días promedio que transportara cada unidad de cargar, aproximadamente 318 toneladas por camión, en esta simulación se trabajó con 10 vehículos, ver en la gráfica 24.

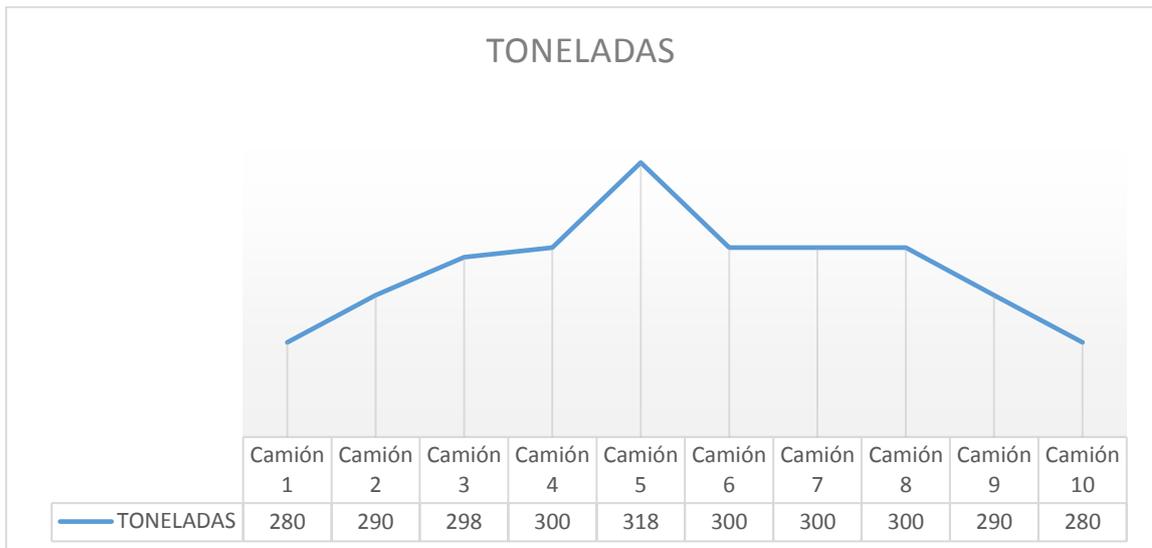


Gráfico 24. Toneladas día transportada por camión escenario 3
Fuente. Resultados de la simulación

Basados en las toneladas día podemos decir que cada vehículo dará aproximadamente entre 21 y 23 viajes al día, ver gráfica 25

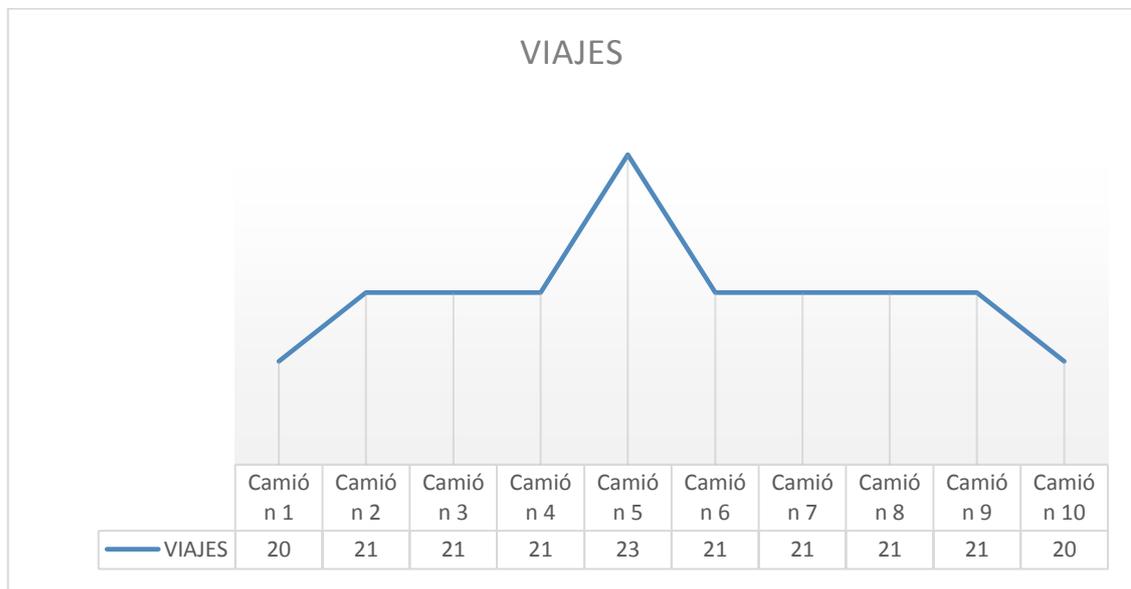


Gráfico 25. Viajes por camión escenario 3
Fuente. Resultados de la simulación

Tomando como referencia las simulaciones del escenario 1 concluimos que los resultados obtenidos no se alejan de las estructuras operacionales que se ejecutan en la operación real, el rendimiento de una máquina cosechadora por día es de

500 toneladas, la simulación nos da como resultado, que el rendimiento de esta es de 497 toneladas, así los tiempos de carga, descarga, tránsito de camiones están apegados a la información real.

Podemos concluir que el análisis del dimensionamiento de flota que se realizó previo a las simulaciones está correcto, este análisis nos estimó que debíamos contratar 105 camiones y más 87 carretones propios nuestra flota disponible es de 192 unidades de carga.

Luego de las simulaciones podemos ver que los frentes 3 y 4 necesitan un promedio de 35 camiones al día cada frente para realizar el transporte de su carga, los frentes 4 y 5 necesitan 27 camiones cada uno, y los frentes 1 y 2 necesitan 42 camiones cada uno para poder entregar sus ofertas correspondientes, estos resultados los obtenemos de las simulaciones considerando que parametrizo que los camiones solo realicen 5 viajes al día, en operación se logra realizar hasta 6 viajes.

Luego de estos resultados podemos indicar que el análisis de dimensionamiento y la simulación nos han dado resultados satisfactorios de gran aporte para lograr optimizar el transporte de caña.

La etapa final en este análisis es la utilización del programa GAMS, implementado un modelo de transporte capacitado CVRP, se conformó una estructura vehicular la misma que consta de 4 flotas, las cuales la conforman 48 unidades de transporte, con una capacidad de carga de 14.5 toneladas viajes, y con una frecuencia de 5 viajes al día, esta información es por unidad de transporte.

A continuación, se detallan las variables que intervienen en el modelo

Se representa *arcos* como el conjunto factible de que pueden crearse a partir de los *i* frentes que van de **1 a 7**

Representamos a S , y T , como el nodo de inicio y llegada.

Representamos a v, vn como los frentes de visita (2, 3, 4, 5, 6)

$X(i, j)$ = Binaria que indica si se apertura o no una ruta del conjunto de arcos

Z = Variable positiva, funcion objetivo que minimiza los costos de la operación

$L(v)$ = Variable positiva, guarda la cantidad del producto transportado

3.18. Función Objetivo

El objetivo principal del modelo es minimizar los costos totales de operación de trasporte de caña de azúcar ver anexo 10.

Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i \in \text{arcos}} \cdot \sum_{j \in \text{arcos}} C_{ij} \cdot X_{ij}$$

Donde:

$C_{i,j}$ representa todos los costos asociados al habilitarse la ruta

$X_{i,j}$ binaria que nos indica si se apertura la ruta

3.18.1 Restricciones

Dentro de las principales restricciones se ha considerado, ver anexo 10.

- Frecuencia de visita: bajo el concepto de VRP el cliente se lo visita 1 sola vez.

$$\sum_{j \in (i, \text{arcos})} X_{v,j} = 1 \quad \forall v$$

Donde :

$X(v, j)$: conjunto de rutas que salen desde el origen

- Visita única a los clientes: Con esta restricción se asegura que la ruta visita a un cliente y esa misma ruta sale a otro cliente.

$$\sum_{i \in \text{arcos}} X_{i,v} = \sum_{j \in \text{arcos}} X_{v,j} \quad \forall v$$

Donde:

$X(i, v)$ son todas rutas que salen desde un punto i y llegan al punto v

$X(v, j)$ conjunto de rutas donde salen desde el punto v y llegan al punto j

V son todos los frentes

- Límite del grupo de flotas: La restricción presente limita al problema en base a la cantidad de flotas que se posee para la operación.

$$\sum_V X_{t,v} = 4 \quad \forall t$$

Donde:

$x(t, v)$ cantidad de rutas que salen desde el origen

- Capacidad 1: La capacidad de transporte debe ser mayor o igual a la demanda.

$$\sum_V L(v) \geq \sum_V Oferta(v)$$

Donde:

$L(v)$ = Variable positiva Guarda la cantidad de producto transportado

$Oferta(v)$ = es la capacidad de aporte de cada nodo

- Capacidad 2: la cantidad transportada sea menor a la capacidad de las flotas.

$$L(v) < Q$$

Donde:

$L(v)$ = Variable positiva Guarda la cantidad de producto transportado

Q = Capacidad de flotas

- Compatibilidad y Sincronización entre viajes: estas 2 restricciones aseguran al modelo que la carga de cada nodo siempre y cuando exista el

viaje (arco), no supere la capacidad de esta, en dicha variable se va acumulando la carga recogida en los diferentes frentes.

$$L(v) + oferta(vn) - L(vn) \leq (1 - X(v, vn).M)$$

$$L(v) - oferta(v) \leq (1 - X(s, v).M)$$

Donde:

$L(v)$ = Variable positiva, guarda la cantidad de producto transportado

$Oferta(vn)$ = Capacidad de aporte de un nodo (2 – 6)

$Lv(vn)$ = Cantidad de aporte de un nodo vn

$X(v, vn)$ = ruta del nodo v al vn

M = representa a un numero muy grande

$X(s, v)$ = ruta del nodo s al v

3.18.2 Resultados obtenidos de la optimización en Gams validados con un escenario real

Se escogió una muestra de un costo quincenal del año 2017, ver tabla 41, considerando una demanda alta de transporte, basado en estos costos reales se realizó un análisis y validación de la estrategia propuesta ver anexo 11.

ZAFRA 2017		
Toneladas	Costo Quincenal	Costo Diario
	\$	\$
202.022	495.109	33.007

Tabla 41. Costos operativos zafra 2017
Fuente. Propia del Ingenio

El costo diario de la operación de la zafra anterior es de \$33.007 de transporte distribuidas como se indica en la tabla 42.

ZAFRA 2017				
Tipo	Km	Toneladas	Costo	\$ / Ton. Km
Camión	19	9.220	\$ 26.155	\$ 0,15
Carretón	13	4.248	\$ 6.852	\$ 0,12

Tabla 42. Costos operativos diarios zafra 2017
Fuente. Propia del Ingenio

Los resultados que se presentaran a continuación son los obtenidos en Gams claramente nos da grandes ventajas en ahorros en este proceso que se debería seguir para alcanzar los ahorros propuestos, estos costos son validados con los costos quincenales y por día de la zafra 2017 ver tablas 41 y 42, los resultados se presentan en las tablas 43 y 43 respectivamente.

La ruta propuesta por el optimizador nos indica lo siguiente ver anexo 11:

Ruta 1: Consiste en que una flota cuya capacidad de carga es de 3480 toneladas salga de la planta visite el nodo o frente 1 el mismo que dispone de 2956 toneladas, recoja solo 1068 toneladas, y se dirija al frente 2 recoja las 2412 toneladas que posee este frente, recoge todo y retorna a la planta ver gráfico 26.

En este caso sugiere que en el nodo 1 quede con un saldo de 1888 toneladas, en operación real este saldo se lo podrá recoger con la primera flota que esté disponible.

Ruta 2: Consiste en que la segunda flota salga de la planta se dirija al nodo 3 recoja todo lo disponible, este frente cuenta con 2483 toneladas, en este caso se recoge todo, luego de esto retorne a la planta ver gráfico 26.

Ruta 3: Consiste en que la tercera flota salga de la planta se dirija al nodo 3 recoja todo lo disponible, este frente cuenta con 2483 toneladas, en este caso se recoge todo, luego de esto retorne a la planta ver gráfico 26.

Ruta 4: Consiste en que la última flota empiece el corrido en la planta visite el nodo o frente 6 recoja 1440 toneladas quedando un saldo de 413 toneladas, luego de esto se dirija al frente 5 y recoja a todo lo que dispone este punto y retorne a la planta o deposito ver gráfico 26.

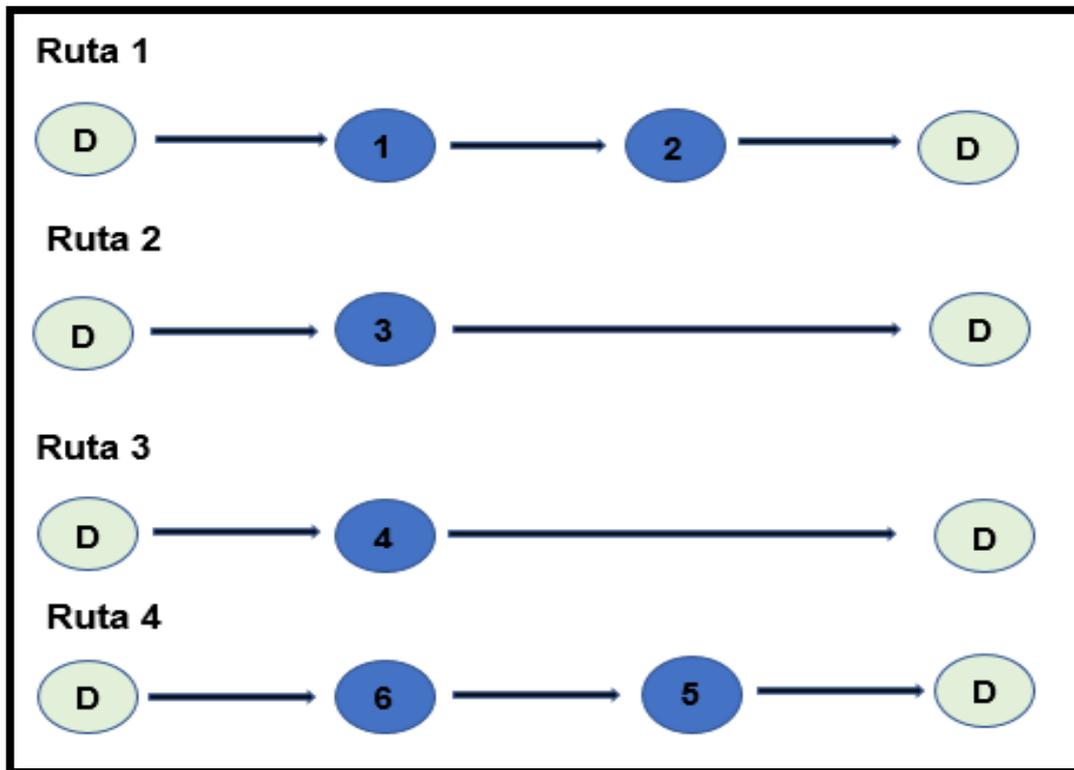


Gráfico 26. Rutas optimizadas
Fuente. Resultados de la simulación

La optimización nos sugiere recoger 11.699 toneladas de las 14.000 toneladas que es sumatoria de la demanda de todos los frentes, esta operación tiene un costo de \$ 23.983.

Queda un saldo de 1.888 Ton en el frente 1 y 413 Ton. en el frente 6, que suman 2.301Ton. este saldo en operación real debe ser recogido y en esta propuesta tendría un costo de \$ 7.432.

Dando como resultado final un costo de operación diario de \$ 31.415,

Se puede observar en la tabla 43 los costos quincenales y diarios en el análisis propuesto.

ZAFRA PROYECTADA PARA EL 2018		
Toneladas	Costo quincenal	Costo diario
	\$	\$
210.000	471.225	31.415

Tabla 43. Costos quincenales de la estrategia propuesta
Fuente. Resultados de optimización

Los costos diarios de operación en el análisis se presentan en la tabla 44, claramente podemos notar mejoras de tipo económicas en la operación diaria los costos diarios en la zafra 2017 se los puede observar en la tabla 42.

ZAFRA PROYECTADA PARA EL 2018				
Tipo	Km	Toneladas	Costo	\$ / Ton. Km
Camión	19	9.261	\$ 24.294	\$ 0,14
Carretón	13	4.739	\$ 7.121	\$ 0,12

Tabla 44. Costos diarios de la estrategia propuesta
Fuente. Resultados de optimización

La optimización del proceso nos permite tener un ahorro diario de \$1.592 que equivale a un 5 % del costo real, que llevado a un mes de operación nos permite obtener un ahorro de \$ 23.884 mensuales ver tabla 45.

Costos	2017	Propuesto	Ahorro	%
Día	\$33.007	\$31.415	\$1.592	5%
Mes	\$495.109	\$471.225	\$23.884	

Tabla 45. Validación de ahorros del modelo propuesto
Fuente. Resultados de optimización

Para dar cumplimiento a las diferentes etapas del proceso se sugiere establecer indicadores y controles de gestión, la información requerida para la generación de indicadores será la que se ingresa a diario en báscula.

Entre los indicadores y controles sugeridos tenemos:

- Indicador de Peso de las unidades de carga
- Cumplimiento de rutas asignadas a las unidades de carga hacia los diferentes frentes

- Indicadores de cuotas diaria por frente
- Plan semanal de mantenimiento para las unidades de carga
- Controles de excesos de velocidad, y salidas fuera de las horas de trabajo

El indicador de peso debe ser un informe que se lo revise de forma diaria con este podremos tomar correctivos, en el caso de que las unidades de carga vengan con poca o demasiada carga, para camiones su peso optimo es de 14,5 ton y para carretas 15 ton.

Indicador de Pesos

Frente 1		Lun		Mar		Miér	
		TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2
< 14,5 ton	●	67%	67%	67%	50%	33%	50%
> <	●	33%	33%	33%	33%	67%	33%
> 15 ton	●	0%	0%	0%	17%	0%	17%

Frente 2		Lun		Mar		Miér	
		TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 2
< 14,5 ton	●	0%	0%	0%	0%	0%	0%
> <	●	20%	20%	17%	83%	83%	33%
> 15 ton	●	80%	80%	83%	17%	17%	67%

Frente 1		Frente 2	
56%	●	0%	●
39%	●	43%	●
6%	●	57%	●

Tabla 46. Indicador de peso
Fuente. Fuente propia del Ingenio

Con esta planificación y gracias a la clasificación que distancia de los lotes, se estableció un indicador de cumplimiento de rutas, es decir las flotas solo podrán ir al frente asignado no podrá dirigirse a otro frente, esto ayudará al cumplir la cuota de transporte de carga por flota.

Ubicacion	Planificado Inicial				Operación Real				Validador			
	Seman	Corte	Transport	Grupo	Seman	Corte	Transport	Grupo	Semana	Corte	Transporte	Grupo
0020801	2	Mecánico	Flota1	4	1	Mecánico	Flota1	4	●	●	●	●
0020807	2	Mecánico	Flota1	4	1	Mecánico	Flota1	4	●	●	●	●
0020808	2	Mecánico	Flota2	4	1	Mecánico	Flota2	4	●	●	●	●
0020901	2	Mecánico	Flota3	4	1	Mecánico	Flota3	4	●	●	●	●
0020906	2	Mecánico	Flota4	4	1	Mecánico	Flota4	4	●	●	●	●
0022702	2	Mecánico	Flota4	4	1	Mecánico	Flota4	4	●	●	●	●
0022704	2	Mecánico	Flota4	4	1	Mecánico	Flota4	4	●	●	●	●
0065401	2	Mecánico	Flota1	5	1	Mecánico	Flota 3	5	●	●	●	●
0065402	2	Mecánico	Flota1	5	1	Mecánico	Flota 3	5	●	●	●	●
1060001	2	Mecánico	Flota1	5	1	Mecánico	Flota 3	5	●	●	●	●
1210204	2	Mecánico	Flota2	6	1	Mecánico	Flota4	6	●	●	●	●

Tabla 47. Indicador de cumplimiento de rutas
Fuente. Fuente propia del Ingenio

El indicador de cuotas diaria debe ser un indicador que informe el cumplimiento de abastecimiento de las 4 flotas estructuradas, cada flota debe cumplir con su cuota diaria asignada.

Indicador de aporte por frente datos de molienda

Frent	Plan								%	Plan		L M M J V S D G							
	Lun	Mar	Mier	Ju	Vi	Sa	Do	TOTAL		Cuota día	Cuota SEM	L	M	M	J	V	S	D	G
F1	2.130	1.345	1.340	1.529	2.014	1.438	2.934	12.731	16%	1.890	11.337	●	●	●	●	●	●	●	●
F2	1.576	2.171	2.513	1.755	1.861	3.359	1.467	14.703	18%	1.921	11.524	●	●	●	●	●	●	●	●
F3	2.215	2.304	2.150	2.026	1.919	2.116	2.122	14.852	18%	2.675	18.723	●	●	●	●	●	●	●	●
F4	2.191	1.916	3.216	3.004	2.033	2.290	2.930	17.581	21%	2.714	19.000	●	●	●	●	●	●	●	●
F5	1.571	1.489	2.223	1.542	1.564	1.793	2.452	12.634	15%	2.234	15.635	●	●	●	●	●	●	●	●
F6	1.362	1.235	1.192	1.332	1.508	1.630	1.343	9.601	12%	1.857	13.000	●	●	●	●	●	●	●	●
TOTAL	11.046	10.459	12.635	11.188	10.900	12.627	13.246	82.102		12.749	89.219								

Tabla 48. Indicador de cuotas diarias
Fuente. Fuente propia del Ingenio

El plan semanal de mantenimiento me permitirá establecer una política de salida de las unidades de carga, es decir saldrán de forma ordenada todas las unidades en el transcurso de la semana, con esto logro mantener el flujo constante de la operación.

Programa de Mantenimiento											
Día	Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lunes	Mañana	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
	Tarde	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219
Martes	Mañana	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229
	Tarde	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
Miércoles	Mañana	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249
	Tarde	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259
Jueves	Mañana	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269
	Tarde	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279
Viernes	Mañana	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289
	Tarde	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299

Tabla 49. Control de planificación de mantenimientos

Fuente. Fuente propia del Ingenio

Como prevención y estrategia de seguridad se sugiere establecer controles de excesos de velocidad, y controles de cumplimiento de las horas de trabajo de todas las unidades, este control se lo realiza con la ayuda del rastreo satelital.

CAPÍTULO 4

Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Una vez analizados los diferentes resultados del proyecto se puede indicar que se lograron determinar y minimizar los costos totales de la operación de transporte de caña de azúcar, esta información fue validada con base estadística propia de la empresa, se puede indicar que se cumplió con el objetivo de ahorro de la operación.

Podemos concluir luego del desarrollo del trabajo que es de importancia el análisis de las variables que intervienen en el proceso, ya que son diversas, de las cuales bajo un estudio realizado detenidamente, se clasificaron y se establecieron las que mayormente impactan la gestión, claramente podemos mencionar varias de ellas, como es la no uniformidad de los lotes donde es cultivada la caña, la capacidad de las maquinas que cargan los camiones, las distancias donde es recogida la materia, la capacidad de las unidades de carga, el rendimiento del lote, los diferentes tiempos ya sean de carga o descarga, entre otras que influyen en menor porcentaje el proceso, podemos decir con claridad que estas variable son las de mayor porcentaje y que impacta en gran escala la operación.

Luego de la identificación de variables, se las parametrizo para tener información más clara y necesaria en la aplicación de los diferentes modelos utilizados en esta investigación, producto de esto se sugiere generar indicadores de control que ayudaran a tomar decisiones en la operación.

Determinadas las variables se generaron patrones y criterios necesarios en el desarrollo del análisis de dimensionamiento de la flota vehicular, el cual

determina un número óptimo de unidades de carga que se necesita para el proceso, este análisis es muy relevante en la operación real debido a que me cuantifica la necesidad de camiones a contratar para que presten servicio de transporte durante la zafra, esto ayudara a que exista un flujo continuo de las unidades de carga, y evitara tener cola de camiones, luego del análisis de dimensionamiento se realizó una simulación en el optimizador mencionado en capítulos anteriores, se aplicaron las diferentes variables, entre ellas los tiempos de espera en patio y en campo, tiempos en tránsito cargados y vacíos, y los tiempos de carga, además de la cantidad de maquinaria y unidades disponibles, distribuidos según los frentes que se han estructurado en la planificación real, se puede concluir que el número de unidades de carga contratada y propia si satisface la demanda del proceso.

Luego de la simulación se estableció la utilización de un modelo de transporte de ruteo capacitado CVRP, para que nos ayude a definir las posibles rutas optimas de transporte, obteniendo información válida para la asignación de ruta de las unidades de carga, se estructuraron flotas vehiculares, para la ejecución del ejercicio, se puede indicar luego de observar los diferentes resultados que los análisis están muy acorde al desarrollo de las actividades diarias.

4.1.2 Recomendaciones

Este trabajo resalta la utilización de la modelación y la optimización en sistemas de producción complejos, como es el caso del abastecimiento de caña en un ingenio.

También se validó los escenarios optimizados versus información estadística de la empresa y claramente se han concluido oportunidades de mejora en el proceso, por lo cual se sugiere aplicar el modelo en operación.

Los análisis propuestos pueden ayudar para establecer políticas en las gestiones como ayuda a la eficiencia de los procesos en esta cadena.

Además de la programación y cálculos de capacidad, el modelo puede ser usado para analizar el impacto de nuevas estrategias operativas, un nuevo sistema de transporte de abastecimiento según sea el caso, nuevos equipos o sistemas optimizados de carga.

Para esta investigación, tomando como base los resultados obtenidos en los procesos de análisis de flota, simulación y optimización de rutas, y las diferentes experiencias vividas en el levantamiento de la información de la investigación, se proponen las siguientes posibles prácticas para la gestión logística de un sistema de abastecimiento de caña:

Análisis del dimensionamiento de la flota vehicular, clasificando flota propia y de terceros.

Generación de una base de datos con las distancias de lote a lote, la misma que ayuda a conocer los costos que genera esta operación

Análisis de la oferta de caña generado por el área de cosecha, para ser transportada, validada con la demanda generada por la fábrica.

Control de la cola de camiones o carretones en los diferentes frentes, con la finalidad de ser reasignados a otros frentes.

Seguimiento de la operatividad de la maquinaria, y transporte de carga para lograr manejo del stock de seguridad en los cambios de turno, almuerzos entre otros factores que influyen a la caída del flujo continuo.

Control de indicadores de disponibilidad operativa de equipos de corte y alce mediante mejores prácticas de mantenimiento y capacitación de los operadores de las maquinarias.

Comunicación fluida y constante de los radios operadores de transporte con los supervisores encargados de los frentes de corte, con este seguimiento se podrá

tener una reacción rápida en el caso de falta de camiones o excesos en los frentes.

Generación de indicadores de información para el análisis y toma de decisiones rápidas.

Se sugiere que sean analizadas las siguientes líneas de trabajo con el fin de fortalecer la investigación propuesta.

Análisis de tiempos y movimientos en la cola de los camiones y carretones para ser descargados en los molinos.

Establecer estrategias de vaciado generando un modelo para la toma de decisiones en patio sobre el punto óptimo de descargar.

Optimizar y proponer un stock de seguridad de materia prima en los patios de fábrica.

Modelar y estudiar los efectos de una molienda variable hora a hora, con relación al abastecimiento de la caña.

BIBLIOGRAFÍA

- Amú Caicedo, L. G. (2011). Modelo de Simulación y optimización para la Gestión Logística del sistema de abastecimiento de caña en un Ingenio Sucro-Alcoholero Colombiano, 158.
- Amú, L. G. (2010). Logística de Cosecha : Evaluación de Tiempos y Movimientos . Indicadores y Control. Revista Técnicaña, (26), 25–30.
- Arboleda-Zúñiga, J., López, A. X., & Lozano, Y. L. (2016). El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas. Ingenium, 10(27), 29–36.
- ASOCAÑA. (2016). Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016. Informe Anual, 94. Retrieved from <http://www.asocana.org/documentos/2942016-24037160-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5,D2D2D2.pdf>
- Bocanegra, C. (2013). Modelo de simulación del abastecimiento de biomasa de caña de azúcar como sistema de soporte a las decisiones de cosecha, 83.
- CINCAE Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Ecuador (2016) Informe Anual 2016.El Triunfo, Ecuador. 70 p.Publicación CINCAE ISSN 13903365
- CENICAÑA Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (2016). Mitigar el Cambio Climático un Compromiso de la Agroindustria. Carta Informativa 1, 9.
- Décima, A., Padilla, N. M., Will, A., Rodríguez, S., & Diez, O. (2011). Optimización del transporte de caña de azúcar utilizando sistemas

multiagentes y algoritmos genéticos grouping.

Retrieved from <http://www.citat.org.ar/>

Díaz Curbelo, A., Delgado, M., & Fernando. (2014). El modelo SCOR y el balanced scorecard, una poderosa combinación intangible para la gestión empresarial. *Revista Científica "Visión de Futuro,"* 18(1), 36–57. Retrieved from <http://redalyc.org/articulo.oa?id=357933894002>

García, J. (2016). Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones, 1–86. Retrieved from <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/Teoriadecolasdoc.pdf>

Gómez, J., Martínez, H., & Israel, J. (2014). Evaluación de pérdida de caña de azúcar en la cosecha mecanizada y transporte: El caso del Ingenio de Barahona, República Dominicana.

Hahn, M. H., & Ribeiro, R. V. (1999). Heuristic Guided Simulator for the Operational Planning of the Transport of Sugar Cane. *The Journal of the Operational Research Society,* 50(5), 451. <https://doi.org/10.2307/3009994>

Jiménez, E., Pérez, M., & Sanz, F. (2005). Modelado y simulación de sistemas logísticos y de producción mediante Redes de Petri. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial,* 2(4), 39–53. Retrieved from <http://recyt.fecyt.es/index.php/RIAI/article/view/10449/7274>

Limone Muñoz, A. (2011). Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Restricciones de Capacidad y Reordenamiento de Carga en los Sitios de Demanda.

Matos Ramírez, N., Iglesias Coronel, C., & García Cisneros, E. (2014).

- Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha – transporte – recepción de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera “Argentina”.
Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23 (2)(2), 27–33.
- P-y, L. E. G. A. L., Papaïconomou, H., Lyne, P. W. L., & Meyer, E. (2005).
2005_Gal_Impact of Alternative Relative.Pdf, 416–427.
- Palacios-Vélez, O. L., Mejía-Sáenz, E., Piñón-Sosa, L., & Sánchez-Hernández, H. (2011). La frescura de la caña de azúcar: Un caso de estudio en tres ingenios de México. *Agrociencia*, 45(7), 831–847.
- Palumbo, D., Chiachera, E., & Carnero, M. (2010). Dos Enfoques Para La Solución Del Problema De Ruteo De Vehiculos (Cvrp): Aplicación a Un Caso Real De Recolección De Residuos, XXIX, 15–18.
- Rengifo, Y. S. (2008). Modelamiento Matemático Aplicado Al Modelamiento Espacial. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota, Colombia.
Retrieved from <http://www.sociedadelainformacion.com/14/modelamiento.pdf>
- Salvador, U. D. E. E. L., Arteaga, L., Elizabeth, S., Escobar, M., Raquel, G., Muñoz, T., & Omar, R. (2005). “ Optimización del manejo y transporte de caña de azúcar en Ingenio la Magdalena , S.A . .”
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1–3), 487–512. [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00351-1](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00351-1)
- Varón, G. A. (1993). Cosecha, alce y transporte. *Sidalc.Net*, 357–363. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IxisScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=011789>

ANEXOS

Anexo 1 Toneladas transportadas en el año 2015

Caña Transportada 2015	
	Toneladas
Camiones	1.361.984
Carretas	694.447
Total	2.056.431

Toneladas de caña transportada en el 2015
Fuente. Información propia del Ingenio.

Anexo 2 Toneladas transportadas en el año 2016

Caña Transportada 2016	
	Toneladas
Camiones	1.453.843
Carretas	925.798
Total	2.379.641

Toneladas de caña transportada en el 2016
Fuente. Información propia del Ingenio.

Anexo 3 Costo de operación año 2015

Caña Transportada 2015		
	Toneladas	Costo
Camiones	1.361.984	\$3.877.384
Carretas	694.447	\$936.644
Total	2.056.431	\$4.814.028

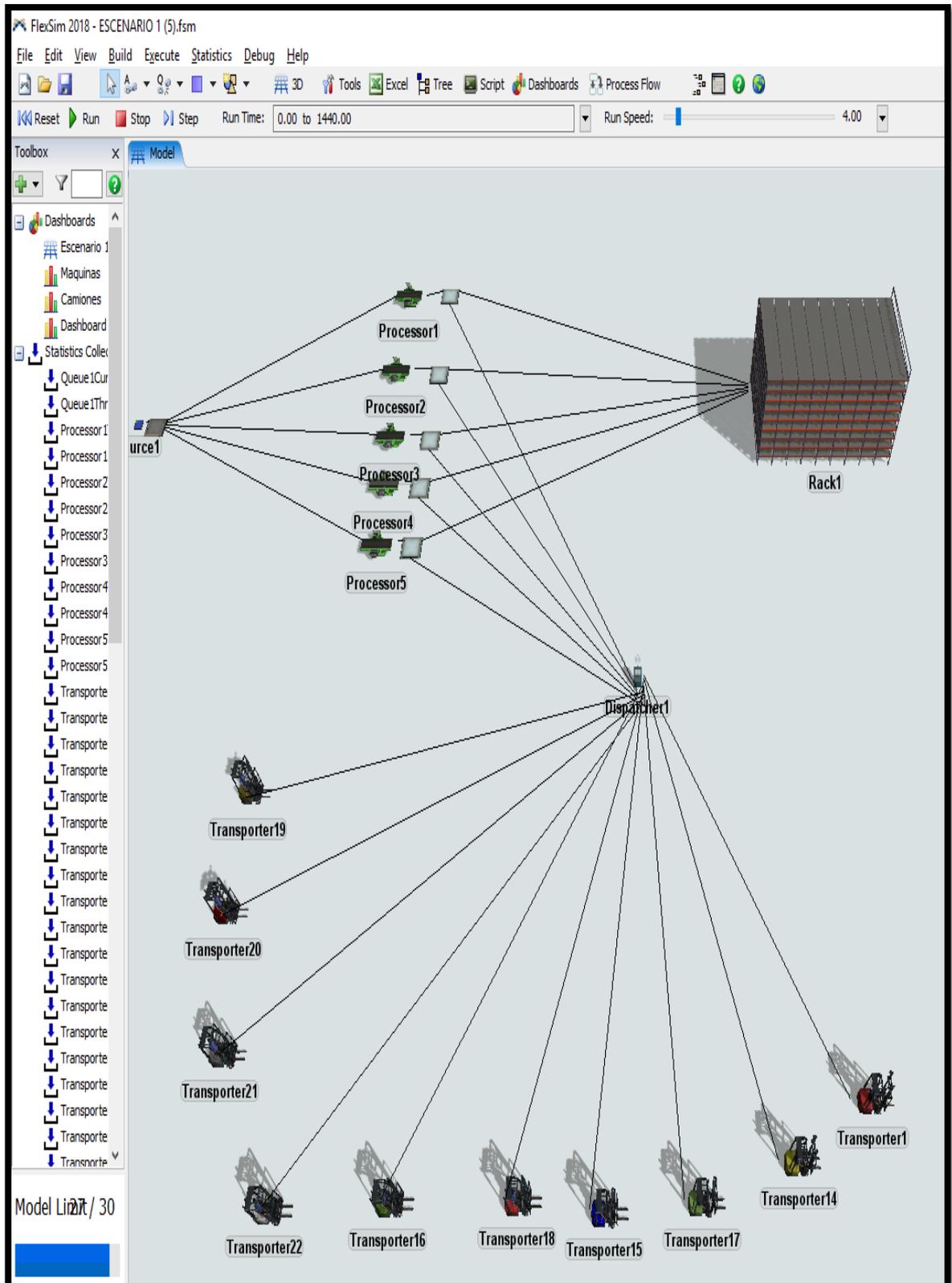
Costos de Transporte año 2015
Fuente. Información propia del Ingenio

Anexo 4 Costo de operación año 2016

Caña Transportada 2016		
	Toneladas	Costo
Camiones	1.453.843	\$4.026.666
Carretas	925.798	\$1.223.408
Total	2.379.641	\$5.250.074

Costos de Transporte año 2016
Fuente. Información propia del Ingenio

Anexo 5 Estructura del escenario 1 de simulación en el simulador Flexsim 2018

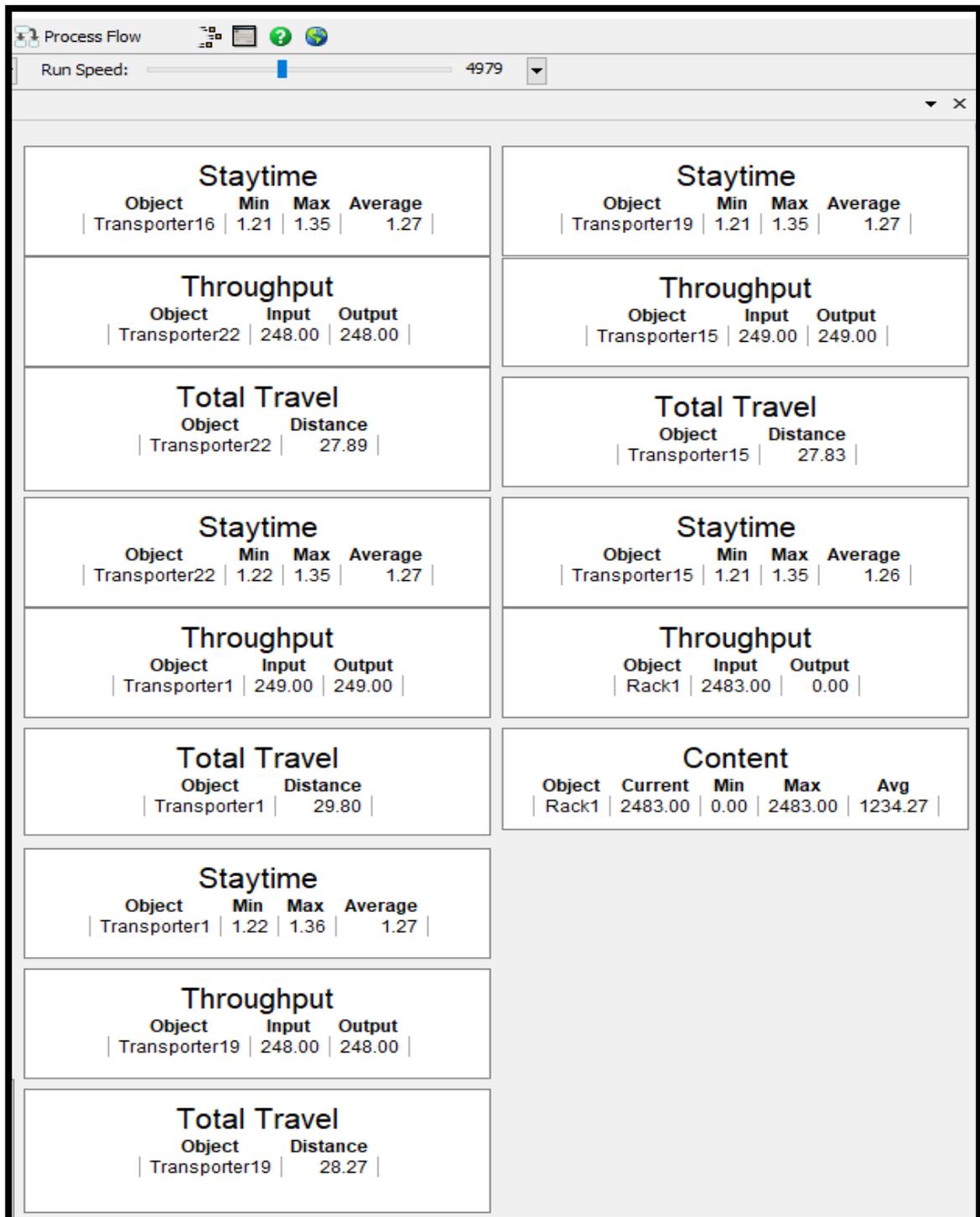


Anexo 6 Resultados de la simulación escenario 1 rendimiento de equipos en general que intervienen en la operación.

The screenshot displays a simulation interface with a top toolbar showing 'Run Speed' at 4979 and a time range from 749.07 to 1440.00. Below the toolbar are tabs for 'Escenario 1', 'Maquinas', and 'Camiones'. The main area is a grid of 24 panels, each showing performance metrics for a specific object. The metrics include Throughput (Input/Output), Staytime (Min/Max/Average), and Total Travel (Distance).

Object	Input	Output	Min	Max	Average	Distance
Queue1	2483.00	2483.00	-	-	-	-
Processor5	496.00	496.00	-	-	-	-
Transporter16	-	-	1.21	1.35	1.27	-
Processor1	497.00	497.00	-	-	-	-
Transporter19	248.00	248.00	-	-	-	28.27
Transporter21	248.00	248.00	-	-	-	27.63
Processor1	-	-	1.50	1.50	1.50	-
Transporter19	-	-	1.21	1.35	1.27	-
Transporter21	-	-	1.21	1.35	1.27	-
Processor2	497.00	497.00	-	-	-	-
Transporter18	248.00	248.00	-	-	-	29.85
Transporter14	249.00	249.00	-	-	-	28.34
Processor3	497.00	497.00	-	-	-	-
Transporter18	-	-	1.22	1.36	1.27	-
Transporter14	-	-	1.21	1.22	1.21	-
Processor4	496.00	496.00	-	-	-	-
Transporter16	248.00	248.00	-	-	-	27.60
Transporter16	248.00	248.00	-	-	-	27.60
Processor4	-	-	1.50	1.50	1.50	-
Transporter16	-	-	-	-	-	27.60

Anexo 7 Resultados de la simulación escenario 1 rendimiento de equipos en general que intervienen en la operación.



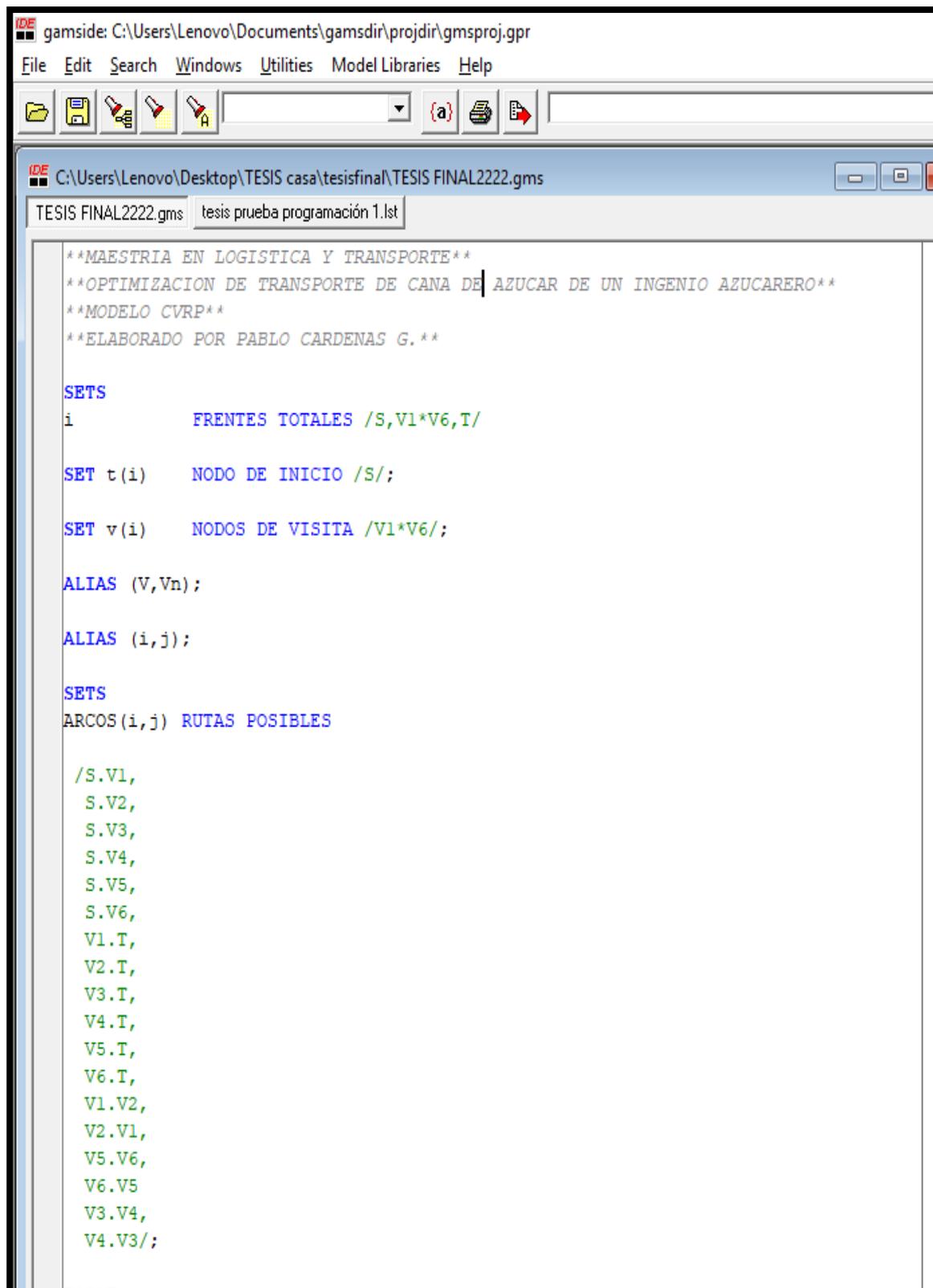
Anexo 8 Indicadores de Gestión del escenario 1 rendimiento de las cosechadoras



Anexo 9 Indicadores de Gestión del escenario 1 rendimiento de los camiones



Anexo 10 Programación en el programa Gams



```
gamside: C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\Lenovo\Desktop\TESIS casa\tesisfinal\TESIS FINAL2222.gms
TESIS FINAL2222.gms tesis prueba programación 1.lst

**MAESTRIA EN LOGISTICA Y TRANSPORTE**
**OPTIMIZACION DE TRANSPORTE DE CANA DE AZUCAR DE UN INGENIO AZUCARERO**
**MODELO CVRP**
**ELABORADO POR PABLO CARDENAS G.**

SETS
i          FRENTES TOTALES /S,V1*V6,T/

SET t(i)   NODO DE INICIO /S/;

SET v(i)   NODOS DE VISITA /V1*V6/;

ALIAS (V,Vn);

ALIAS (i,j);

SETS
ARCOS(i,j) RUTAS POSIBLES

/S.V1,
S.V2,
S.V3,
S.V4,
S.V5,
S.V6,
V1.T,
V2.T,
V3.T,
V4.T,
V5.T,
V6.T,
V1.V2,
V2.V1,
V5.V6,
V6.V5,
V3.V4,
V4.V3/;
```

Anexo 10 Programación en el programa Gams

```

gamside: C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\Lenovo\Desktop\TESIS casa\tesisfinal\TESIS FINAL2222.gms
TESIS FINAL2222.gms TESIS FINAL2222.lst

TABLE
COSTOS (i,j) COSTOS POR RUTA

      S      V1      V2      V3      V4      V5      V6      T
S      0      9547      7380      3873      3248      6589      5670      0
V1     9547      0      1015      0      0      0      0      0
V2     7380      820      0      0      0      0      0      0
V3     3873      0      0      0      595      0      0      0
V4     3248      0      0      541      0      0      0      0
V5     6589      0      0      0      0      0      693      0
V6     5670      0      0      0      0      630      0      0
T      0      9547      7380      3873      3248      6589      5670      0 ;

PARAMETER Q CAPACIDAD DE LA FLOTA DE TRANSPORTE DE CARGA /3480/

PARAMETER

OFERTA (v) OFERTA DE CADA FRENTE DE CORTE
/
v1 2956
v2 2412
v3 2483
v4 2256
v5 2040
v6 1853
/
**14000**
VARIABLE
Z      FUNCION OBJETIVO
L (v)  VARIABLE DE OFERTA
X (i,j) BINARIA SI LA RUTA PASA DEL NODO i AL NODO j

POSITIVE VARIABLE
1

BINARY VARIABLE x;
    
```

Anexo 10 Programación en el programa Gams

```

IDE gamside: C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\Lenovo\Desktop\TESIS casa\tesisfinal\TESIS FINAL2222.gms
TESIS FINAL2222.gms TESIS FINAL2222.lst

EQUATIONS

COSTO                COSTO TOTAL DE LA FUNCION OBJETIVO
RESTRICCION1 (v)     DE CADA FRENTE i SOLO SALE UN ARCO HACIA UN FRENTE j
RESTRICCION2 (v)     LA MISMA CANTIDAD DE ARCOSQUE INGRESAN A UN NODO j ES IGUAL A LAS QUE SALEN DE ESE NODO j
RESTRICCION3 (t)     CAPACIDAD DE FLOTA
CAPACIDAD1 (v)       RESTRICCION DE LA CAPACIADA DE LAS FLOTAS
CAPACIDAD2           CAPACIDAD DE LA FLOTA DEBE SER MAYOR O IGUAL A LA DEMANDA
COMPATIBILIDAD (v,vn) COMPATIBILIDAD ENTRE VIAJES v y vn
SINCRONIZACION2 (v) SINCRONIZACION DE TIEMPO A LA SALIDA DEL FRENTE ;

COSTO..              Z=E=SUM[(i,j)$arcos(i,j),costos(i,j)*x(i,j)];

RESTRICCION1 (v)..   SUM[j$arcos(v,j),x(v,j)] =E= 1;

RESTRICCION2 (v)..   SUM[i$arcos(i,v),x(i,v)] =E= SUM[j$arcos(v,j),x(v,j)];

RESTRICCION3 (t)..   SUM[v$arcos(t,v),x(t,v)] =E= 4;

CAPACIDAD1 (v)..    L(v)=L=Q;

CAPACIDAD2..        SUM(v,l(v))=G=SUM(v, oferta(v));

COMPATIBILIDAD (v,vn) $(arcos(v,vn))..    l(v)+oferta(vn)-l(vn)=L=(1-x(v,vn))*1000000000;

SINCRONIZACION2 (v) $(arcos('s',v))..    l(v)-oferta(v)=L=(1-x('s',v))*1000000000;

MODEL TE/ALL/
SOLVE TE USING MIP MINIMIZING Z;
DISPLAY z.1 ,x.1 , l.1;
    
```

Anexo 11 Resultados obtenidos en el optimizador

```

GAMS 24.8.5 r61358 Released May 10, 2017 WEX-WEI x86 64bit/MS Windows 09/01/18 16:04:45 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution
---- 108 VARIABLE Z.L          = 23983.000 FUNCION OBJETIVO
---- 108 VARIABLE X.L  BINARIA SI LA RUTA PASA DEL NODO i AL NODO j
      V1      V2      V3      V4      V5      V6
S      1.000          1.000  1.000          1.000
V1          1.000
V6          1.000
+      T
V2      1.000
V3      1.000
V4      1.000
V5      1.000
---- 108 VARIABLE L.L  VARIABLE DE OFERTA
V1 1068.000, V2 3480.000, V3 2483.000, V4 2256.000, V5 3480.000
V6 1440.000
EXECUTION TIME      =      0.000 SECONDS      3 MB 24.8.5 r61358 WEX-WEI
USER: GAMS Development Corporation, Washington, DC G871201/0000CA-ANY
      Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com, www.gams.com DC0000
**** FILE SUMMARY
Input  C:\Users\Lenovo\Desktop\TESIS casa\tesisfinal\TESIS FINAL2222.gms
Output C:\Users\Lenovo\Documents\gamsdir\projdir\TESIS FINAL2222.lst
    
```

GLOSARIO

Aporque: es el surco donde está cultivada y brota la caña

Cadeneo: Halar carretones por medio de un tractor, para que este sea llenado con alzadoras o cosechadoras.

Cabezal: Vehículos automotor que hala los carretones de caña, del campo a la fábrica.

Camiones: Medio autónomo encargado de transportar la caña de azúcar desde los frentes hasta los trapiches.

Cantero: Sector en el campo donde se encuentra un frente de cosecha.

Carretones: Medio que se emplea para cargar la caña desde el campo hasta los trapiches, este tipo de medio necesita ser halado por cabezal.

Carretones Loni: Es un equipo con una estructura metálica que sirve para ser cargados, y transportar la caña hasta el ingenio cuya capacidad de carga esta entre 15 – 16 toneladas.

Carretones Vanguard: Es un equipo con una estructura metálica que sirve para ser cargados, y transportar la caña hasta el ingenio cuya capacidad de carga esta entre 14 – 15 toneladas.

Cosecha manual: Se hace con personas que emplean herramientas manuales, cortando la caña dejándola en el suelo, luego es recogida por alzadoras. Caña de azúcar cortada en forma manual o caña larga.

Caña picada: Caña de azúcar cortada de forma mecanizada con equipos diseñados para esta labor.

Cepa: Es la raíz de caña.

CINCAE: Es un centro de investigación dedicado a análisis profundos de los cambios desarrollados de la caña.

Cosechadoras: Maquinaria apropiada para realizar las labores o funciones de corte y carga de caña hasta los camiones o carretones, esta maquinaria está reemplazando al corte manual.

Cortadores: personal que realiza la labor del corte de caña.

Frente de corte: es el lugar donde se corta la caña el mismo que tiene asignado un grupo de personas y maquinarias que realizan las labores que intervienen en la cosecha y transporte.

Flota: es la agrupación de unidades de transporte

Ingenio: negocio que se dedica a la producción de azúcar apta para el consumo humano, a partir de la extracción de glucosa.

Llenadora cameco: es una maquinaria que se la utiliza para varias labores de campo en especial, para recoger los rollos de los surcos y los deposita en los cajones ya sea del camión o carretón.

Mesas de descarga: es el lugar donde se ubican los camiones o carretones para ser virados y descargar la materia que traen del campo.

Molinos: El ingenio en estudio cuenta con dos molinos, Molino A, y Molino B cada uno con diferentes capacidades de molienda.

Paradas de fábrica: existen varios tipos de paradas las preventivas y las correctivas, ambas impactan directamente en el flujo de las operaciones de

cosecha y transporte, estas paradas consisten en el corte de la molienda ocasiona acumulación de camiones.

Paradas preventivas: Son las paradas ya conocidas las mismas que se las planifica con anterioridad, ayudando a que las demás áreas planifiquen sus mantenimientos.

Patios: es una plazoleta donde los camiones y carretones hacen una parada de espera, para luego que la molienda fluya sigan avanzando y sean descargados.

Repaña con máquina: labor que consiste en la recolección de la caña en el campo con una máquina llenadora.

Repaña manual: labor que es realizada de forma manual con un personal, la misma que consiste en la recolección surco a surco de la caña.

Surco: o aporque es el canal que se lo realiza luego que el suelo es nivelado

Tiempo de espera: es el tiempo que esperan las unidades de transporte ya sea en la fábrica o en los frentes de corte.

Tipo de caña: es una característica que ayuda a conocer si la caña va a ser procesada en verde o quemada

Tipo de corte: Es la forma que se va a realizar la labor de corte, dependerá mucho donde este ubicada la caña.

Tractor: Maquinaria agrícola especial que se usa para halar o remolcar, carretones, vagones.

Trapiche: Lugar donde es depositada la materia prima para luego ser extraído el jugo de caña.