

**PROPUESTA DE RECONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE
ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO**

LIZETH PATIÑO VALENCIA



UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2013

**PROPUESTA DE RECONFIGURACIÓN DE UNA CADENA DE
ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO**

LIZETH PATIÑO VALENCIA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
Ingeniera Industrial**

DIRECTOR DEL PROYECTO

Julio César Londoño



UNIVERSIDAD DEL VALLE

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2013

TABLA DE CONTENIDO

<u>LISTADO DE TABLAS.....</u>	<u>5</u>
<u>LISTADO DE FIGURAS</u>	<u>7</u>
<u>LISTA DE ANEXOS</u>	<u>8</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>9</u>
<u>JUSTIFICACIÓN</u>	<u>11</u>
<u>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</u>	<u>12</u>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
<u>2. OBJETIVOS</u>	<u>15</u>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
<u>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	<u>16</u>
<u>4. PROCESO METODOLÓGICO</u>	<u>21</u>
4.1 CARACTERIZACIÓN CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LA COMPAÑÍA OBJETO DE ESTUDIO.	21
4.2 DETERMINAR POSIBLES ALTERNATIVAS DE RECONFIGURACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO.....	33
• DECISIONES RELACIONADAS CON APERTURA Y/O TRASLADO DE PLANTAS	34
• DECISIONES RELACIONADAS CON LA APERTURA Y/O CIERRE DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN.....	39
4.3 EVALUAR MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS EN EL OBJETIVO ANTERIOR.....	40
<u>5. RESULTADOS</u>	<u>65</u>
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>78</u>

<u>7.</u>	<u>ANEXOS.....</u>	<u>80</u>
<u>8.</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>85</u>

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Costo de trasladar un kilogramo de materia prima desde el proveedor hacia la planta 1.....	23
Tabla 2. Capacidad máxima de pacas al año, procesadas en cada planta	24
Tabla 3. Valor del envío por paca desde cada una de las plantas hacia los Centros de Distribución.....	26
Tabla 4. Costo de operación anual en los Centros de Distribución.....	27
Tabla 5. Capacidad máxima de almacenaje en los Centros de Distribución. ...	28
Tabla 6. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como especiales.	31
Tabla 7. Valor del envío por paca desde cada una de las plantas hacia los clientes especiales.....	32
Tabla 8. Costo de trasladar un kilogramo de materia prima desde el proveedor a la nueva opción de planta.	36
El producto final de esta locación, presenta de igual forma características de rendimiento, donde por cada cuatro kilogramos de materia prima que ingresa al proceso productivo, sale de este un kilogramo de producto procesado, que puede ser enviado bien sea a los clientes abastecidos directamente por la planta o al.	
Tabla 9. Capacidad máxima de pacas al año, procesadas en la nueva planta ubicada en la capital del país.	36
Tabla 10. Valor del envío por paca desde la nueva planta ubicada en la capital del país hacia los clientes especiales.	37
Tabla 11. Valor del envío por paca desde la nueva planta ubicada en la capital del país hacia los clientes especiales.	38
Tabla 12. Costo asociado al cierre de los Centros de Distribución.	40
Tabla 13. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción 1.	66
Tabla 14. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la Opción 1.	67

Tabla 15. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción 2.	68
Tabla 16. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la Opción 2.	70
Tabla 17. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción de apertura y/o cierre de Centros de Distribución.	71
Tabla 18. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la en la Opción de apertura y/o cierre de Centros de Distribución	72
Tabla 19. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en el escenario combinado.	73
Tabla 20. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en el escenario combinado.	75
Tabla 21. Zonas de consumo que atiende cada Centro de Distribución en el escenario combinado.	766
Tabla 22. Función Objetivo de las diferentes alternativas evaluadas.	777

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la cadena de suministro actual	22
Figura 2. Caracterización de las Zonas de Consumo	28
Figura 3. Abastecimiento para los clientes clasificados como especiales.	29
Figura 4. Abastecimiento para los clientes clasificados como Autoservicio y Franquiciados.	30
Figura 5. Representación de la cadena de suministro con decisiones a nivel de plantas	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como franquiciados.....	80
Anexo 2. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como autoservicio.....	81
Anexo 3. Valor del envío por paca desde los centros de distribución hacia los clientes.....	82

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción, planificación y distribución de las industrias manufactureras van encaminados a hacer las compañías más eficientes y productivas, de forma que logren atender las constantes necesidades de los clientes y puedan sobrevivir en el sector o negocio en el que se desempeñan. Por tal razón, las empresas deben conocer y llevar un orden establecido de sus operaciones, iniciando desde el ingreso de los requerimientos al sistema hasta la entrega del producto final al cliente; el estudio y diseño de las redes de abastecimiento permiten el conocimiento de dicha información con el fin de mejorar los procesos y cumplir con la deseada satisfacción del cliente.

El trabajo descrito a continuación hace uso de elementos de investigación de operaciones y cadenas de abastecimiento para mostrar en su recorrido los aspectos de la compañía objeto de estudio, la cual pertenece al sector de maní y pasabocas, esta compañía dedica sus esfuerzos a la producción de pasabocas y presenta aspectos a mejorar en lo relacionado a la administración y conocimiento de la cadena de abastecimiento, desde los proveedores, hasta el envío a los cliente.

Para ello se tienen en cuenta no sólo aspectos tales como el número y ubicación geográfica de las instalaciones, donde se incluyen plantas y zonas de almacenaje, las restricciones del sistema y las limitaciones en recursos de la compañía, sino también, el aspecto de productos de consumo masivo, con características de baja densidad y alto volumen, factor de vital importancia para esta cadena de abastecimiento, realizándose la investigación con el fin de contribuir a la

minimización de los costos logísticos totales, relacionados con el transporte de materias primas y productos terminados, operación de plantas y centros de distribución.

JUSTIFICACIÓN

Las cadenas de suministro reúnen todas las actividades que logran satisfacer las necesidades y exigencias de los clientes, estas por objetivo tienen la búsqueda integral de la mejor configuración posible de la cadena, de forma que sean tenidos en cuenta todos los elementos internos y externos que la componen y su relación con los objetivos y metas del sistema. Sin embargo, en la práctica, es difícil que las organizaciones hagan un análisis integrado de los participantes de la cadena, donde se trate de aprovechar las sinergias existentes entre cada ente, pues los analistas y administradores de la cadena se basan en los datos y la información que tengan disponible, generalmente extractados del sistema de información propio de la organización, y, con base en su experiencia y en la intuición, son tomadas las decisiones de las compañías.

Lo anteriormente expresado, es lo que en la actualidad motiva a las compañías a interesarse en el estudio y conocimiento de sus redes de abastecimiento y distribución, ya que permiten maximizar los beneficios de las relaciones entre cada eslabón. Para la compañía caso de estudio, su principal preocupación de la cadena de suministro son los costos logísticos de operación, debido a que enmarcan alrededor del 10% de los costos totales de la compañía, lo que es razón suficiente para entrar en la búsqueda de un método o herramienta que le permita la mejora de este indicador, para esto se hace uso de algunos elementos de investigación de operaciones y cadenas de suministro desde un enfoque ingenieril, abordando el problema con herramientas de esta área.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad los temas de logística y cadenas de abastecimiento han adquirido mayor importancia para las empresas, las regiones e inclusive para países enteros, debido a que una cadena de abastecimiento se puede entender como el conjunto de todas actividades y operaciones que logran satisfacer las necesidades de los clientes, tanto en sistemas de servicio como en sistemas comerciales y productivos.

La compañía objeto de estudio, tiene una cadena perteneciente al sector de maní y pasabocas enfocada a la fabricación de pasabocas, con más de 30 años de experiencia en la industria, que le ha permitido actualmente ocupar alrededor del 13% del mercado nacional.

Esta cadena de suministro cuenta con dos plantas de producción, treinta y tres centros de distribución y dos tipos de clientes diferentes; el primer cliente clasificado como Autoservicio, a quien se le envía el producto a su punto de venta, y segundo identificado como cliente Franquiciado, quien recoge la mercancía en el centro de almacenaje más cercano a su zona de influencia. Además esta compañía, tiene una variedad de productos con características de baja densidad y alta ocupación de volumen, considerados como productos de consumo masivo que en el sistema productivo se clasifican en diez familias diferentes.

El sistema de abastecimiento de esta compañía es de gran importancia para los resultados finales, debido a que la materia prima principal, la cual es abastecida desde dos ubicaciones geográficas diferentes en el país, Nariño y Cundinamarca, presenta características relevantes en términos de rendimiento. Por cada cuatro kilogramos de materia prima que ingresa al proceso productivo, sale de este, alrededor de un kilogramo de producto procesado, donde el factor rendimiento depende de la manipulación, almacenaje y posterior traslado de dicho insumo desde el proveedor hacia la planta.

Esta compañía nace como una iniciativa familiar y se vuelve lucrativa en pocos años de operación, debido a la aceptación de sus productos en el mercado, trayendo como consecuencia crecimientos de forma no planeada. Las decisiones de localización se tomaron desde los sentimientos y juicio de las personas, y no desde un estudio técnico; esta situación generó que en la actualidad la compañía desconozca si trabaja en condiciones adecuadas a nivel táctico y estratégico, además de un sinnúmero de incógnitas enfocadas a conocer si el número y ubicación de plantas y centros de distribución en el país son los apropiados, pues algunos indicadores de flete por volumen transportado son elevados, como consecuencia de la característica de baja densidad y alto volumen presente en los productos.

Por otro lado la globalización, el ingreso al mercado de compañías con una sólida posición financiera, el incremento de la demanda y el elevado porcentaje que representan los costos logísticos en la utilidad, ha impulsado a que en el interior de la compañía se discutan decisiones de abrir nuevas plantas y cerrar algunos centros de distribución.

1.1.2 Formulación del problema

El problema de la compañía objeto de estudio anteriormente descrito, puede ser expresado como:

¿Cómo debería ser la nueva configuración de la cadena de abastecimiento de una compañía productora de alimentos de consumo masivo teniendo en cuenta un menor costo de operación y decisiones de apertura y cierre de localidades?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Proponer una configuración de la cadena de suministro en una compañía productora de alimentos de consumo masivo, teniendo en cuenta decisiones de apertura y cierre de localidades que permitan la reducción de los costos logísticos.

2.2 Objetivos específicos

Para lograr que el objetivo general propuesto sea alcanzado, es necesario cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la Cadena de Abastecimiento de la compañía objeto de estudio.
- Determinar posibles alternativas de reconfiguración de la Cadena de Abastecimiento.
- Evaluar mediante técnicas de modelación matemática las alternativas propuestas en el objetivo anterior.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La gestión de la cadena de suministro según Cordeau (2006), tiene por objetivo la búsqueda de la mejor configuración posible, no sólo para las instalaciones, sino también de las actividades y/o procesos como la adquisición, la producción, el inventario y distribución de materiales y productos terminados, desde la compra al proveedor, hasta el envío a los clientes; Krajewski (2008), amplía este concepto a una estrategia que permita organizar, controlar y motivar los recursos que intervienen en el flujo de la cadena, de manera que se logre descubrir y aprovechar posibles sinergias entre los elementos que la componen.

El diseño de la cadena de suministro, es una de las estrategias que diversos autores han elegido para encontrar potenciales mejoras, debido a que permite la identificación y captura de todas aquellas decisiones involucradas en la planificación; la alta complejidad que estas presentan ha dado lugar a que el tema sea estudiado en tres niveles: estratégico, táctico y operativo comprendiendo decisiones típicas como la capacidad, el inventario, la adquisición, la producción, el enrutamiento y el modo de transporte a emplear.

Cuando el estudio está dedicado decisiones relacionadas con la capacidad, se discuten generalmente decisiones en un nivel específico de la cadena, donde dicha capacidad puede ser expansión, contracción o decisiones combinadas, en plantas de fabricación y almacenes. Timothy (2002), entiende el nivel de complejidad y el impacto de las decisiones estrategias asociadas a la capacidad, y abarca el tema desde la contracción de capacidades de operación de las plantas de un empresa que vende un sólo producto en varios países, este autor evalúa el escenario con un modelo de programación entera mixta, con el objetivo de

maximizar el valor presente neto de la compañía, considerando el tamaño de la operación y los costos asociados a este.

Timothy, evalúa las estrategias de ubicación y/o mantenimiento de las plantas ya existentes debido a que el exceso de capacidad en éstas lleva a altos costos asociados a recursos no utilizados y a factores no cuantificables como la calidad de la mano de obra en operaciones con capacidades excesivas.

Aghezzat (2005), por el contrario, se interesa particularmente en la ampliación de capacidades asociadas a plantas y almacenes, pues son estas decisiones las que tienen la inversión de capital más importante de toda compañía. Este autor trabajó en la planificación de una estrategia de capacidad y ubicación de almacenes que abastecían mercados con demandas inciertas, como un problema de programación lineal entera mixta, cuyo objetivo era encontrar la ampliación óptima del almacén y las plantas de forma que se logrará minimizar los costos de inversión, distribución y operación, al mismo tiempo que se satisfacía la demanda.

Enfoques más complejos como el abordado por Melo (2006), comprenden decisiones de configuración relativas a la ubicación de instalaciones, expansión y/o reducción de éstas, Melo centra su trabajo en el diseño estratégico de las redes de suministro proponiendo un modelo matemático que capta varios aspectos prácticos de los problemas de diseño de la red, tales como el horizonte de tiempo de planificación, la disponibilidad de capital, las limitaciones de almacenamiento, pero hace énfasis especial en el establecimiento de nuevas instalaciones, así como la ampliación, reducción y reubicación de estas, debido a que suelen ser proyectos de largo plazo que implican actividades que consumen mucho tiempo, carga financiera y gastos de capital, este autor, combina las decisiones de capacidad con el fin de maximizar los resultados económicos y extender el alcance de la planificación.

Sin embargo, las decisiones asociadas a la capacidad, no son el único aspecto en el que los autores han trabajado, la gestión del inventario, también ha sido considerada por estos, debido implica dos tareas fundamentales, la primer tarea son decisiones de largo plazo relacionadas al número de puntos de almacenamiento y la segunda el nivel de inventario a mantener en cada uno de estos puntos.

En la literatura dedicada a la planificación de inventarios, este tipo de aspectos se centran principalmente en una parte de la cadena que generalmente se encuentra en el medio, pero pocos modelos han sido propuestos donde se estudien los inventarios de forma particular y asilada a otras decisiones. Al igual que los inventarios, la compra de materiales e insumos, es un proceso vital para toda red de abastecimiento, no obstante estas decisiones de tipo táctico, han sido estudiadas por los autores como un complemento del diseño de la red, Melo (2006), incluye estos factores en su investigación antes mencionada.

Temas como el transporte son estudiados por Carlsson (2005), quien abarca el diseño de la cadena de suministro, desde aspectos más detallados. Este autor enfoca su investigación a un proyecto creado para evaluar el tipo de transporte a emplear en su red, haciendo uso de herramientas de modelación matemática con el objetivo de elegir la mejor combinación entre buques, trenes y camiones que contribuyan a hacer eficiente su sistema de distribución y al mismo tiempo reducir al mínimo los costos anuales asociados al transporte, teniendo en cuenta la capacidad de envío de cada uno de los métodos y los costos asociados a este.

Asuntos económicos como la globalización, ha generado nuevas oportunidades para que las empresas hagan crecer sus negocios mediante la comercialización de sus productos y servicios en todo el mundo, como consecuencia a este desarrollo, nuevas estrategias y preocupaciones para el diseño de las redes de abastecimiento han nacido. Debido que la oferta internacional ha adquirido mayor

importancia, el gran problema se encuentra enmarcado en la coordinación de las actividades y la flexibilidad para responder a las cambiantes condiciones del mercado, los aspectos financieros son los temas que tienen impacto e incluyen impuestos, tasas, tarifas de cambio, precios de transferencia, incentivos financieros y fiscales y gastos de inversión.

Meixell (2005), se interesa por este tema ya que plantea retos estratégicos para modelar, haciendo frente a la cadena de suministro de forma compuesta, donde se incluye la fabricación interna, los proveedores y las ubicaciones geográficas haciendo uso de modelación matemática para estudiar el tema.

El diseño de cadenas de abastecimiento nacionales también ha sido investigado, Ballou (2004), muestra que pueden existir diferentes configuraciones para una misma red, ya que éstas dependen de los productos y las características que fluyen a través de la misma, presentándose dos aspectos relevantes, los espaciales y los temporales, es decir las decisiones que están relacionadas con las ubicaciones geográficas y las decisiones relacionadas al tiempo de servicio.

Este autor presenta el tema desde diferentes enfoques que pueden ir desde la ubicación de plantas, hasta la elección del tipo de vehículos, siempre con un objetivo claro que se encuentra entre el mejoramiento de los costos de capital, los costos de procesamiento, los de transporte e inclusive los objetivos de servicio al cliente, haciendo uso de información que incluye las características productivas, los productos ofrecidos al cliente y la ubicación de estos, la demanda, los costos de transporte, los niveles de inventario, la ubicación de las plantas y la capacidad de almacenaje.

Con lo anteriormente descrito se concluye que el diseño de la cadena de abastecimiento ha sido un tema de interés desde diversos enfoques, que

finalmente contribuyen al mejoramiento del sistema; el siguiente trabajo de investigación no es la diferencia, en él se enfatizará la configuración de la red de tal forma que se haga más eficiente el funcionamiento de la cadena.

4. PROCESO METODOLÓGICO

Para lograr los objetivos propuestos, se establecieron tres fases, donde cada una de estas contribuye al alcance de cada objetivo específico propuesto. La primera fase, describe la red de abastecimiento objeto de estudio; en esta fase se contextualiza el sistema bajo el cual se desarrolla el estudio; la segunda fase, evalúa todas aquellas alternativas que podrían hacer parte de las mejoras propuestas en el sistema contextualizado en la fase anterior. En la última fase se evalúan las diferentes posibilidades, por medio de la construcción de modelos matemáticos que apoyen la toma de decisiones; de tal forma que las tres fases en conjunto permiten resolver el problema propuesto en esta investigación

4.1 Caracterización cadena de abastecimiento de la compañía objeto de estudio.

Anteriormente, en la sección 1.1.1, se menciona el concepto de cadena de abastecimiento como la red conformada por todas aquellas partes involucradas de forma directa e indirecta en la satisfacción del cliente, donde no sólo se incluye al fabricante y los proveedores, sino también a los almacenistas, transportistas e inclusive a los propios clientes. (Chopra & Meindl, 2008). El primer objetivo descrito por esta investigación engloba este concepto, a fin de conocer el sistema en el cual se enmarcó la investigación.

La compañía objeto de estudio, posee una cadena suministro perteneciente al sector de Maní y Pasabocas enfocada a la fabricación pasabocas, donde sus productos son considerados de consumo masivo. En la figura 1 se muestra la configuración actual de la cadena de suministro de esta compañía.

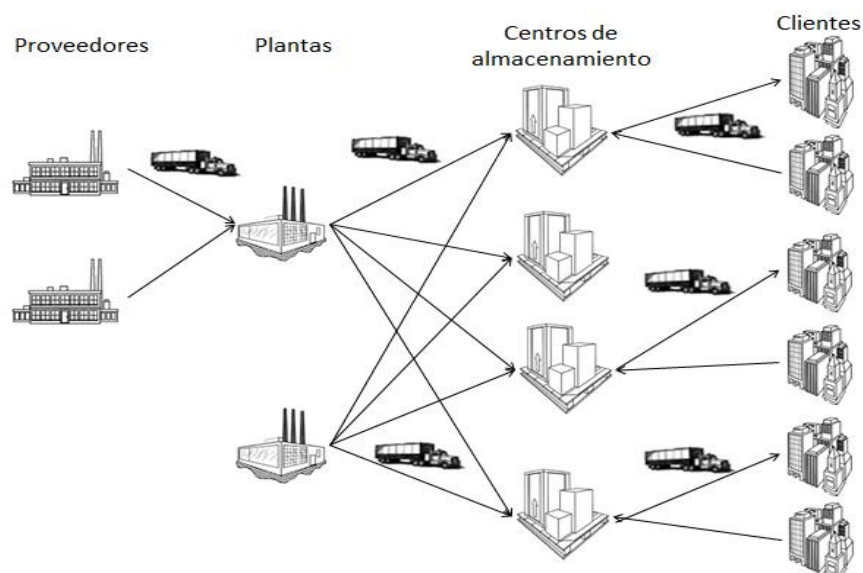


Figura 1. Representación de la cadena de suministro actual

Fuente: Elaborada por el autor con información suministrada por el Analista de Tráfico

La cadena de abastecimiento representada en la figura 1 está conformada por cuatro eslabones: proveedores, plantas, centros de almacenamiento y clientes.

A continuación se describen las características de cada uno de ellos, donde la información que se presenta fue construida en el proceso de esta investigación, pues dicha información no se encontraba disponible en la compañía.

- **Proveedores:**

La cadena de abastecimiento objeto de estudio, tiene dos proveedores principales en el País, que están ubicados en los departamentos de Nariño y Cundinamarca, quienes abastecen las plantas con la materia prima que es tomada en cuenta para esta investigación¹; estas materias primas presentan características relevantes en términos de rendimiento, ya que por cada cuatro kilogramos de materia prima que

¹ Los costos asociados al transporte de esta materia prima, son asumidos por la compañía y por tal razón la decisión de selección de proveedores afecta los costos logísticos totales.

ingresa al proceso productivo, sale de este, alrededor de un kilogramo de producto procesado.

La capacidad de almacenaje y envío de dicho insumo es considerado infinita, ya que los proveedores abastecen la materia prima al nivel de exigencia de la planta. Sin embargo, hay una característica de envío importante, pues sólo una de las plantas necesita en su proceso productivo de esta materia prima; los costos de compra y envío desde cada región, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Costo de trasladar un kilogramo de materia prima desde el proveedor hacia la planta 1.

REGIÓN	COSTO TOTAL [\$Kg.]
Nariño	646
Cundinamarca	707

Fuente: Sistema de información de compra de insumos y materia prima de la compañía

La información de la tabla 1, se obtuvo como un valor promedio para un periodo de tiempo igual a un año. Aunque la compañía se abastece de otros proveedores, para este trabajo no se consideraron debido a que estos entregan los suministros directamente en las plantas y esto no afecta los costos de adquisición de los suministros.

- **Plantas:**

En la actualidad la cadena de suministro objeto de estudio, cuenta con dos plantas a nivel nacional, las cuales se encuentran ubicadas en los departamentos del Cauca y Antioquia. Cada una de estas localidades fabriles puede procesar una

serie de productos específicos que hacen parte de los diez tipos de familia que la compañía comercializa.

Las configuraciones productivas de cada planta van asociadas al tipo de producto que se elabora en la región, lo que significa que en la actualidad, cada una de las plantas no tiene la capacidad para elaborar todas las familias de productos que comercializa la compañía. En la tabla 2 se muestra la capacidad máxima de procesamiento de cada locación, para cada tipo de producto, esta es medida en pacas enviadas desde el origen hacia el destino, haciendo referencia al número de cajas que las plantas puede procesar en un periodo de tiempo igual a un año de operación como consecuencia de la disponibilidad de las líneas de producción y la velocidad de procesamiento de éstas.

Tabla 2. Capacidad máxima de pacas al año, procesadas en cada planta

	PLANTA 1	PLANTA 2
Familia	Capacidad máxima (pacas / año)	
1	2.607.005	-
2	994.746	-
3	902.511	-
4	457.181	-
5	1.138.943	-
6	3.122.855	-
7	765.407	-
8	-	1.362.223
9	-	138.659
10	298.836	-

Fuente: Proceso de manufactura compañía objeto de estudio.

- **Transporte entre Plantas y Centros de Distribución:**

Una vez la materia prima es procesada en la planta, se envía como producto terminado a alguno de los 33 centros de distribución que lo demanden, pues es éste quien pide el producto a la planta, dicho traslado de producto se hace por medio de vehículos tipo camión sencillo que son abastecidos por empresas contratadas para tal fin, y enviados a los centros de distribución en una combinación promedio de 850 pacas por viaje, la disponibilidad de vehículo, para este traslado de producto es considerada como infinita, debido a que las compañías proveedoras del servicio son las encargadas de hacer la búsqueda del mismo, lo que significa que envía camiones de acuerdo a la necesidad de transporte que se presenta en el sistema.

En la tabla 3 se muestra el valor del envío por paca desde cada una de las plantas hacia los centros de distribución, dicho costo sale de la recolección del valor de los fletes emitidos durante un año desde cada una de las plantas a los centros de distribución versus la cantidad de cajas enviadas al destino.

- **Centros de Distribución:**

Cuando el producto es enviado desde la planta hacia el centro de distribución es porque de forma previa éste lo ha solicitado al sistema, partiendo de una política de inventarios constante, es decir, sólo se pide la cantidad que es necesaria para alcanzar el nivel de inventario establecido, con un costo por mantener dichos productos en almacenaje de alrededor de un 20% del valor de la paca en este punto (\$30.000).

Además del costo de almacenaje, el sistema tiene costos asociados a la operación de cada uno de los centros, dichos costos van desde los \$86.000.000 hasta los

Tabla 3. Valor del envío por paca desde cada una de las plantas hacia los Centros de Distribución.

	PLANTA 1	PLANTA 2		PLANTA 1	PLANTA 2		PLANTA 1	PLANTA 2
CD	Valor del envío (\$ /paca)		CD	Valor del envío (\$ /paca)		CD	Valor del envío (\$ /paca)	
1	2.341	1.299	12	1.961	1.360	23	1.083	1.930
2	2.422	1.489	13	2.037	2.114	24	1.307	233
3	1.292	1.235	14	1.946	2.063	25	1.366	234
4	1.415	1.235	15	352	1.235	26	1.894	1.136
5	1.399	1.173	16	495	1.235	27	1.976	1.116
6	1.402	1.235	17	270	1.235	28	1.019	1.543
7	1.764	1.412	18	533	1.235	29	719	1.772
8	1.464	1.412	19	311	973	30	965	1.035
9	1.374	1.235	20	2.412	1.163	31	1.018	1.176
10	1.790	2.000	21	2.224	2.040	32	1.220	1.038
11	1.294	1.235	22	1.243	2.166	33	2.132	1.511

Fuente: Sistema de costos y gastos de la compañía

\$1.600 millones de pesos anuales y comprende todos los costos asociados a operar el espacio de almacenaje como lo son los costos fijos de arrendamiento, energía, agua, vigilancia entre otros. En la tabla 4 se muestra el costo de la operación de cada uno de estos centros de distribución, dicho valor es el costo total de la operación en un periodo de un año de operación, y fue obtenido del centro de costos y gasto de la compañía consignado en su sistema de información ERP de la compañía.

Los centros de distribución, no solo presentan características monetarias, como se muestra en la tabla 4, estos también tienen aspectos relacionados al espacio de cada locación, siendo este aspecto el que restringe el número de cajas que pueden ser almacenadas por el sistema, aquellos centros que logran almacenar una cantidad superior a 10.000 pacas son catalogados por la compañía como

centros de distribución grandes, de lo contrario son llamados centros de distribución pequeños.

Tabla 4. Costo de operación anual en los Centros de Distribución.

CD	Costo Total	CD	Costo Total	CD	Costo Total
\$ / año					
1	998.318.732	12	91.895.740	23	654.532.185
2	234.410.099	13	106.823.420	24	731.334.231
3	241.418.930	14	712.511.582	25	1.519.384.678
4	237.709.171	15	104.656.312	26	622.243.627
5	1.595.400.631	16	85.798.874	27	139.092.293
6	244.456.993	17	106.696.781	28	254.864.158
7	162.341.925	18	122.613.123	29	115.702.786
8	105.071.317	19	1.360.249.813	30	660.694.028
9	119.254.310	20	548.489.214	31	108.988.486
10	332.866.898	21	429.281.132	32	131.287.741
11	782.505.867	22	181.873.459	33	509.485.151

Fuente: Centro de costos y gastos consignado en el sistema de información ERP de la compañía objeto de estudio

En la tabla 5 se muestra la capacidad de almacenaje de dichos centros, este valor es suministrado por la compañía objeto de estudio, asumiéndose como el número máximo de cajas que se logró almacenar en este espacio durante los picos de demanda en un periodo igual a un año.

- **Clientes:**

En esta red de suministro, se presentan diferentes tipos de clientes catalogados como clientes especiales, franquiciados y autoservicio, que a su vez hacen parte de agrupaciones llamadas “Zonas de Consumo”, donde cada zona corresponde a uno de los 33 centros de almacenamiento existentes en el país, y a su respectivo

Tabla 5. Capacidad máxima de almacenaje en los Centros de Distribución.

CD	Capacidad De Almacenaje (pacas)	CD	Capacidad De Almacenaje (pacas)	CD	Capacidad De Almacenaje (pacas)
1	17.000	12	5.000	23	8.500
2	12.000	13	4.500	24	21.000
3	3.500	14	22.000	25	18.000
4	1.200	15	4.200	26	15.000
5	15.320	16	2.500	27	15.000
6	2.000	17	4.600	28	7.000
7	5.000	18	5.000	29	2.800
8	3.300	19	14.000	30	8.000
9	1.700	20	17.000	31	2.200
10	6.000	21	14.000	32	4.000
11	12.000	22	6.500	33	22.000

Fuente: Sistema de información ERP de la compañía objeto de estudio

cliente catalogado como Autoservicio y Franquiciado, como se muestra en la figura 4; para un total de 33 zonas de consumo, 66 clientes abastecidos desde los centros de distribución y cuatro clientes que se atienden desde las plantas.

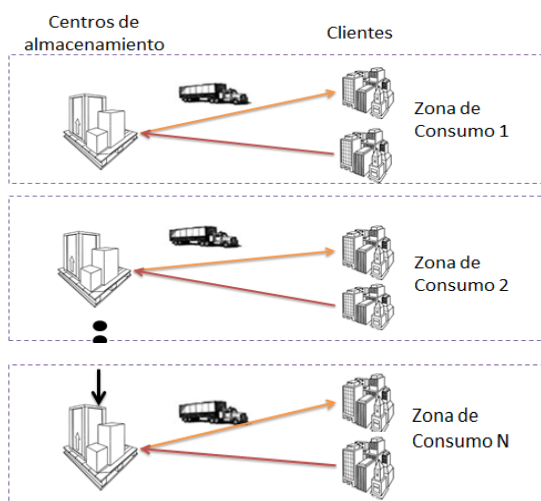


Figura 2. Caracterización de las Zonas de Consumo

Fuente: Elaborada por el autor

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los tipos de cliente:

-*Cientes especiales:* este tipo de clientes son todos aquellos que son abastecidos directamente desde las plantas, para este caso, se cuenta con cuatro clientes de este tipo en todo el país, como se muestra en la figura 2. En particular estos clientes se caracterizan por que se abastecen de una gran cantidad de producto que los convierte en distribuidores mayoristas; la ubicación de estos clientes es en los lugares donde la compañía no tiene presencia comercial.

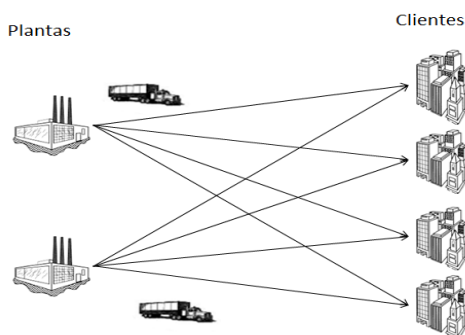


Figura 3. Abastecimiento para los clientes clasificados como especiales.

Fuente: Elaborada por el autor con información suministrada por el Analista de Tráfico

-*Cientes Franquiciados:* son todos aquellos clientes que recogen el producto directamente en el centro de almacenamiento o distribución y el flete asociado a este traslado es asumido por el mismo.

Con relación a las cantidades que adquieren estas se caracterizan por ser bajos volúmenes y con frecuencia relativamente alta.

-*Cientes Autoservicio:* los clientes categorizados con este nombre, son todos aquellos clientes a los cuales el producto se le envía hasta su punto de venta y el flete asociado a este traslado es asumido por la compañía. En este tipo de clientes

se distinguen los conocidos como cadenas de supermercados y distribuidores mayoristas.

En la figura 4 se muestra el sistema de abastecimiento para los clientes catalogados como Autoservicio y Franquiciados.

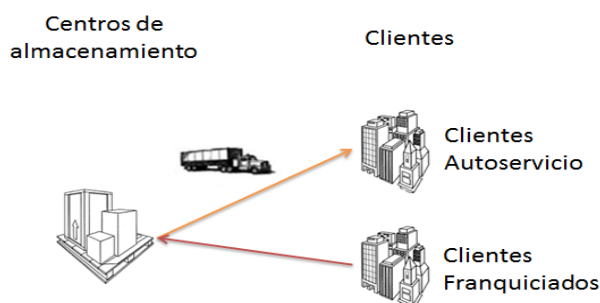


Figura 4. Abastecimiento para los clientes clasificados como Autoservicio y Franquiciados.

Fuente: Elaborada por el autor con información suministrada por el Analista de Tráfico

Cada uno de los clientes ejerce una influencia significativa en el sistema, ya que son estos la razón de ser de la compañía objeto de estudio, demandando de forma particular los productos que la compañía ofrece, donde dicha compra se ve influenciada por aspectos regionales y culturales de cada zona de consumo y de cada cliente. En la tabla 6, se muestra la demanda de los clientes catalogados como especiales.

Los niveles de demanda para los clientes catalogados como franquiciados y autoservicio, se encuentran en el anexo 1 y 2 respectivamente, dicha información de demanda para los todos los tipos de clientes fue recolectada por un periodo igual a un año del sistema de información ERP de la compañía, y asumida como la venta realizada para dicho lapso.

Tabla 6. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como especiales.

	FAMILIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	pacas / año									
Cliente Especial 1	1.330	510	20	200	1.460	1.030	-	-	-	45
Cliente Especial 2	947	4.271	922	-	275	373	20	7.230	30	-
Cliente Especial 3	7.572	3.390	763	1.421	4.788	9.425	30	-	-	585
Cliente Especial 4	825	500	40	-	107	177	-	445	-	-

Fuente: Sistema de información ERP de la compañía objeto de estudio

- **Transporte desde las Plantas hacia los Clientes:**

Los clientes atendidos directamente por las plantas, son lo que llamamos clientes especiales, ya que se abastecen de una gran cantidad de producto para venderlo en lugares que la compañía no atiende de forma directa, dicho traslado es asumido por la compañía y presentan un valor asociado a los fletes como se muestra en la tabla 7, este valor fue recolectado por un periodo igual a un año de operación, en el sistema de análisis de fletes y traslado de producto terminado de la compañía.

La capacidad de transporte enviada desde cada una de las plantas hacia los clientes, es catalogada como infinita, ya que la compañía, tiene este servicio como un tema subcontratado, es decir una empresa especializada en esta actividad es la encargada de suministrar los vehículos necesarios para la entrega al cliente; generalmente camiones de tipo sencillo con capacidad promedio de 850 pacas por viaje.

Tabla 7. Valor del envío por paca desde cada una de las plantas hacia los clientes especiales.

	PLANTA 1	PLANTA 2
	\$ / Paca	
CLIENTE ESPECIAL 1	1.110	1.511
CLIENTE ESPECIAL 2	1.079	1.550
CLIENTE ESPECIAL 3	1.966	1.647
CLIENTE ESPECIAL 4	1.073	1.647

Fuente: Sistema de análisis de fletes y traslado de producto terminado de la compañía.

- **Transporte desde Centros de Distribución hacia los Clientes:**

El producto que se encuentra en los centros de distribución, puede ser demandado por dos tipos de clientes, los clientes catalogados como franquiciados o como autoservicios.

Cuando un cliente franquiciado solicita el producto al centro de distribución, este se encarga de la recolección del mismo y las características de costo, tipo y capacidad de vehículo son asumidas por el cliente. Sin embargo, cuando un cliente catalogado como Autoservicio demanda el producto, este tipo de envío es costado por la compañía, debido al alto volumen de ventas e ingresos que representa para esta. El valor de este tipo de traslado se encuentra en el Anexo 3, y fue obtenido mediante cotizaciones realizadas con el proveedor del servicio de transporte de la compañía objeto de estudio.

Con respecto a la capacidad, esta es igual a la de las plantas hacia los clientes especiales como se menciona en el apartado anterior.

4.2 Determinar posibles alternativas de reconfiguración de la Cadena de Abastecimiento.

Los crecimientos de forma no planeada de la compañía objeto de estudio, la llevaron a tomar las decisiones de localización no precisamente desde estudios técnicos, sino, desde los “sentimientos y juicio” de las personas², situación que genera en la actualidad múltiples incógnitas alrededor de cuál debería ser la configuración apropiada, que contribuya al mejoramiento de los costos logísticos de la operación de suministro.

Shah(2005), estudia esta situación desde tres categorías diferentes:

- El analisis de la infraestructura de la red
- El analisis de la cadena de suministro y la formación de politicas en ella
- La planificacion y programación de la cadena de suminsitro

Donde estas divisiones hacen referencia a la decisión de cómo operar de forma que se logre responder a las condiciones estrategicas y se permita un incremento de valor en la red por medio de una o más de las siguientes decisiones:

- Dónde ubicar nuevas instalaciones
- Cambios significativos de las instalaciones existentes, por ejemplo, expansión,contracción o el cierre
- Decisiones de suministro y base de alimentación que debe utilizar para cada instalación.

Siguiendo esta misma línea y en conjunto con los directivos de la compañía, se determina hacer el análisis de esta investigación desde dos enfoques particulares

² Expresión utilizada por el Jefe de Almacén y Distribución de Productos a nivel Nacional

que permitan la toma de decisiones a nivel estratégico-táctico con el propósito de reducir los costos logísticos de la compañía; para ello, se partirá de la caracterización de la cadena descrita en la sección 4.1, y se enfocará la investigación al estudio de decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de plantas y apertura y cierre de centros de distribución.

- **Decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de Plantas**

En la actualidad la red de abastecimiento objeto de estudio tiene dos plantas a nivel nacional (Ver Figura1), sin embargo, el incremento de la demanda, los altos costos asociados al traslado del producto terminado desde las plantas hacia los clientes y la característica de baja densidad y alto volumen de los productos, son factores que influyen la decisión de evaluar las características de ubicación de las plantas a nivel nacional. En la figura 5 se muestra la configuración de la red, a partir de las nuevas alternativas de configuración de plantas.

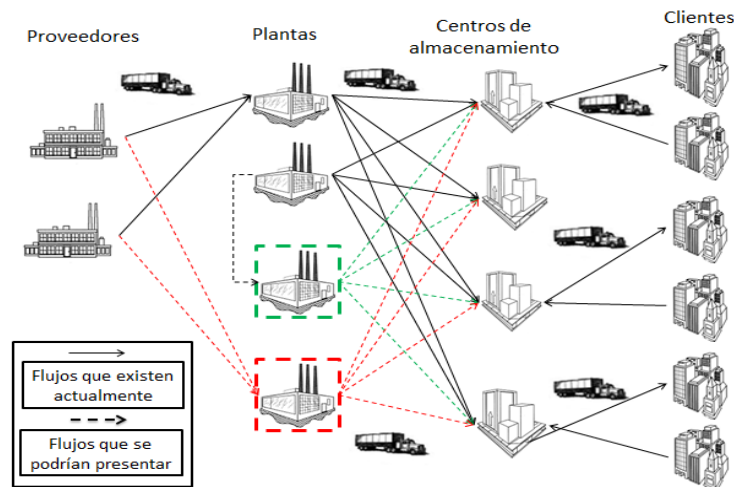


Figura 5. Representación de la cadena de suministro con decisiones a nivel de plantas

Fuente: Elaborada por el autor con información suministrada por la compañía.

Esta nueva red de suministro, al igual que en la actualidad, estaría conformada por cuatro eslabones, proveedores, plantas, centros de distribución y clientes. El cambio significativo estaría representado por el número y ubicación de las plantas a nivel nacional, considerándose aspectos importantes tales como la compra de materia prima para las nuevas plantas de procesamiento, el costo de abrir y operar dichas locaciones, la capacidad fabril e inclusive la mano de obra requerida para operarla, dichas alternativas se enfocan en dos grandes opciones:

- **Opción 1:** *Posible traslado de la planta ubicada en el departamento de Antioquia, hacia el Atlántico, zona costera del país.*

Este escenario, plantea la posibilidad de trasladar la actual planta ubicada en la región de Antioquia, hacia la costa del país, a razón de que esta región posee la mayor proporción de la venta asociada a los productos elaborados por esta planta.

Al tratarse de una posibilidad de traslado, solo podría estar en funcionamiento una de las dos plantas, ya sea manteniendo la actual planta ubicada en Antioquia o trasladándola hacia el atlántico, lo que implicaría un costo de traslado si se decide por la opción de trasladar. Se supone que la estructura de los costos operativos permanece constante, esto quiere decir que los costos directos e indirectos de fabricación no van cambiar durante el horizonte de análisis.

- **Opción 2:** *Posibilidad de tener una nueva planta ubicada en la capital del País.*

Este escenario, plantea la posibilidad de tener una nueva planta de procesamiento ubicada en la capital del país, esta alternativa nace una vez la compañía objeto de estudio evidencia la necesidad de expandir la operación, a fin de mejorar su

posición en la región y dar respuesta a los incrementos de demanda en el país. Para esta opción, se consideraron algunas características especiales en cada uno de los eslabones de la cadena, en cuanto a los proveedores, se trabajó bajo la misma consideración de costos, donde fueron tenidos en cuenta únicamente los proveedores que cargan costos de flete a la operación, pues en la mayoría de los casos, el insumo es puesto directamente en la planta sin ningún tipo de costo adicional.

En la tabla 8 se muestra la ubicación y el valor del envío por kilogramo de materia prima, desde cada uno de los proveedores hacia esta nueva opción de planta, dicho valor es proporcionado por cada uno de los proveedores a partir del análisis de costo que estos hacen a su operación.

Tabla 8. Costo de trasladar un kilogramo de materia prima desde el proveedor a la nueva opción de planta.

Región	Costo Total (\$/Kg)
Nariño	687
Cundinamarca	666

Fuente: Cotización realizada con proveedores.

Esta nueva alternativa de planta, le permite a la compañía ampliar su capacidad de producción y hacer frente al incremento actual de demanda de producto terminado en el país, sin embargo, en términos de capacidad de producción existen algunas restricciones, pues la nueva locación solamente tendría capacidad para elaborar una de las diez familias ofrecidas al cliente debido a su configuración productiva como se muestra en la tabla 9.

El producto final de esta locación, presenta de igual forma características de rendimiento, donde por cada cuatro kilogramos de materia prima que ingresa al

proceso productivo, sale de este un kilogramo de producto procesado, que puede ser enviado bien sea a los clientes abastecidos directamente por la planta o a los

Tabla 9. Capacidad máxima de pacas al año, procesadas en la nueva planta ubicada en la capital del país.

Familia	PLANTA 4
	Capacidad máxima (pacas / año)
1	-
2	-
3	-
4	-
5	-
6	3.777.487
7	-
8	-
9	-
10	-

Fuente: Proceso de manufactura compañía objeto de estudio y autor

centros de distribución que lo demande. En la tabla 10 se muestra el valor del envío por paca desde esta nueva ubicación, hacia los clientes abastecidos directamente por la planta, es decir, los clientes especiales.

Tabla 10. Valor del envío por paca desde la nueva planta ubicada en la capital del país hacia los clientes especiales.

	ORIGEN
	PLANTA 4 (\$/paca)
CLIENTE ESPECIAL 1	2.000
CLIENTE ESPECIAL 2	2.000
CLIENTE ESPECIAL 3	1.059
CLIENTE ESPECIAL 4	2.000

Fuente: Cotización realizada con proveedores de transporte.

El producto terminado que se procesa en esta nueva planta no solo podría ser enviado a los clientes catalogados como especiales, sino también al centro de distribución que lo demande, asumiéndose un costo por dicho envío como se muestra en la tabla 11, los valores de envío por producto terminado desde la planta hacia los clientes catalogados como especiales y hacia los centros de distribución, fueron obtenidos a partir de cotizaciones realizadas a las empresas encargadas de la distribución de producto al cliente, para camiones de tipo sencillo con capacidad de 850 pacas aproximadamente.

Tabla 11. Valor del envío por paca desde la nueva planta ubicada en la capital del país hacia los clientes especiales.

PLANTA 4					
CD	Valor del envío (\$/Paca)	CD	Valor del envío (\$/Paca)	CD	Valor del envío (\$/Paca)
1	2.235	12	1.882	23	1.059
2	2.235	13	1.294	24	1.176
3	353	14	1.294	25	1.176
4	353	15	1.294	26	1.882
5	353	16	1.294	27	2.588
6	353	17	1.294	28	2.000
7	588	18	1.294	29	1.647
8	412	19	1.294	30	1.176
9	353	20	2.588	31	1.059
10	941	21	1.882	32	1.059
11	353	22	1.176	33	1.765

Fuente: Cotización realizada con proveedores de transporte.

Además de los costos asociados al traslado de producto terminado, en esta alternativa “*posibilidad de una nueva planta de producción en la capital del país*” se tienen en cuenta los costos fijos y variables de la nueva operación los cuales son agrupados en dos divisiones, los que van relacionados a abrir la nueva planta, es decir, el valor del espacio necesario, el traslado y posterior montaje de la línea,

y los asociados a operar la nueva locación fabril, que comprenden el personal y mano de obra necesaria, estos costos enmarcan alrededor de \$120.447.504 para los costos asociados a abrir la nueva planta, y \$403,12 por paca, para los asociados a operarla, y fueron obtenidos a partir del análisis de costo de todos los entes necesarios e involucrados en esta decisión.

- **Decisiones relacionadas con la apertura y/o cierre de Centros de Distribución**

En la actualidad la cadena de abastecimiento estudiada, se encuentra conformada por 33 Centros de Distribución a lo largo del País, la apertura o cierre de estas localidades se han venido tomando de forma empírica y no desde un verdadero análisis de la situación, ya que la compañía se ha preocupado principalmente a dar respuesta al crecimiento no planeado de la demanda a nivel nacional, generándose una red de suministro extensa y difícil de administrar pues demanda de mucho tiempo y dinero para funcionar.

Las características anteriores son factores que influyen la decisión de evaluar el número y ubicación de dichos Centros de Distribución a nivel nacional, con el fin de determinar si la configuración actual es la ideal o si de forma contraria podría existir una mejor, enfocando la decisión al cierre de localidades y garantizando el cumplimiento de la demanda en los clientes.

En la tabla 12, se muestran los costos en los que se incurre por el cierre de alguna de estas localidades, donde se ha tenido en cuenta el costo asociados al cierre del centro, que comprende valores como el incumplimiento en el contrato de arrendamiento, las adecuaciones del espacio, y el traslado del equipo, producto y demás activos contenidos en la instalación.

Tabla 12. Costo asociado al cierre de los Centros de Distribución.

CD	Penalización por cierre (\$)	CD	Penalización por cierre (\$)	CD	Penalización por cierre (\$)
1	\$ 34.627.840	12	\$ 7.548.400	23	\$ 13.992.112
2	\$ 24.548.408	13	\$ 10.000.000	24	\$ 35.606.560
3	\$ 12.058.496	14	\$ 26.596.800	25	\$ 41.000.000
4	\$ 8.376.587	15	\$ 8.022.000	26	\$ 26.052.736
5	\$ 41.332.496	16	\$ 8.070.000	27	\$ 14.979.000
6	\$ 9.734.000	17	\$ 9.400.000	28	\$ 17.268.000
7	\$ 8.800.000	18	\$ 9.734.000	29	\$ 8.800.000
8	\$ 11.350.912	19	\$ 36.000.000	30	\$ 15.962.066
9	\$ 8.820.800	20	\$ 30.873.200	31	\$ 7.328.200
10	\$ 20.000.000	21	\$ 21.772.006	32	\$ 11.000.000
11	\$ 25.500.000	22	\$ 10.093.600	33	\$ 22.000.000

Fuente: Información suministrada por la compañía.

4.3 Evaluar mediante un modelo matemático las alternativas propuestas en el objetivo anterior.

Las alternativas descritas en la sección 4.2, enseñan las consideraciones a evaluar para la toma de decisiones a nivel estratégico-táctico con el propósito de reducir los costos logísticos de la compañía, desde dos grandes decisiones, las relacionadas con apertura y/o traslado de plantas y apertura y cierre de centros de distribución.

La base de entrada a la construcción del modelo matemático, son los datos recolectados en las fases anteriores, que permiten traducir la operación de la compañía en métodos cuantitativos a optimizar. Partiendo de la construcción de un modelo matemático de forma general para la situación, que se modificará de acuerdo a las condiciones de cada una de las alternativas, de forma que se logre evaluar cuál podría ser la decisión a tomar bajo las condiciones actuales de la cadena de suministro.

El modelo general inicia con la **formulación del problema** donde se expresa la situación que se desea optimizar. Luego, deben definirse las **variables de decisión y parámetros** siendo estos los que definen qué tanto debe realizarse de una actividad, posteriormente, se establece la situación que desea mejorarse o **función objetivo** que es la función que evalúa el sistema, por último se plantean las **restricciones** que son todas las condiciones que deben cumplirse en el sistema, a continuación se presenta el modelo de forma verbal y matemática para esta cadena de suministro.

- **MODELO DE FORMA VERBAL - MODELO GENERAL (MG)**

-Formulación del problema: Para esta investigación y dadas las condiciones actuales de la cadena de suministro, se desea plantear un modelo matemático de programación lineal entera mixta que permita optimizar los costos logísticos.

-Variables:

Pc: cantidad de materia prima a ser enviada desde cada proveedor a la planta 1 [Kg/año].

Pb: cantidad de materia prima a ser enviada desde cada proveedor a la planta 2 [Kg/año].

Xcjp: cantidad de pacas enviadas desde la planta 1 a los centros de distribución, por cada familia de productos [pacas/año].

Xsjp: cantidad de pacas enviadas desde la planta 2 a los centro de distribución, por cada familia de productos [pacas/año].

Yjk1p: cantidad de pacas enviadas desde los centros de distribución hacia los clientes catalogados como autoservicio, por cada familia de productos [pacas/año].

Yjk2p: cantidad de pacas enviadas desde los centros de distribución hacia los clientes catalogados como franquiciados, por cada familia de productos [pacas/año].

Ec: cantidad de pacas enviadas desde la planta 1 hacia los clientes catalogados como especiales, por cada familia de productos [pacas/año].

Es: cantidad de pacas enviadas desde la planta 2 hacia los clientes catalogados como especiales, por cada familia de productos [pacas/año].

-Parámetros:

Capc: es la cantidad máxima que la planta 1 puede procesar de cada familia de productos de acuerdo a su configuración productiva [pacas/año].

Caps: es la cantidad máxima que la planta 2 puede procesar de cada familia de productos de acuerdo a su configuración productiva [pacas/año].

Capj: es la cantidad máxima de cajas que un centro de distribución podría almacenar en un mismo momento [pacas/año].

Cf: es el costo de operar los centros de distribución [\$/año].

Demk1p: es el nivel de demanda de los clientes catalogados como autoservicio por cada familia de productos [pacas/año].

Demk2p: es el nivel de demanda de los clientes catalogados como franquiciados por cada familia de productos [Pacas/año].

Demk3p: es el nivel de demanda de los clientes catalogados como especiales por cada familia de productos [Pacas/año].

Cdic: es el costo de adquirir la materia prima a los proveedores para abastecer a las plantas 1 [\$/Kg].

Ccj: es el costo de trasladar producto terminado desde la planta 1 hacia los centros de distribución [\$/Paca].

Csj: es el costo de trasladar producto terminado desde la planta 2 hacia los centros de distribución [\$/Paca].

Cck3: es el de costo de trasladar producto terminado desde la planta 1 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/Paca].

Csk3: es el de costo de trasladar producto terminado desde la planta 2 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/Paca].

Cjk1: es el costo de trasladar producto terminado desde los centros de distribución hacia los clientes catalogados como autoservicio [\$/Paca].

Cjk2: es el costo de trasladar producto terminado desde los centros de distribución hacia los clientes catalogados como franquiciados [\$/Paca].

Valor: es el valor promedio de la paca en el centro de distribución [\$/Paca].

R: es el costo cargar el inventario en los centros de distribución [\$/(\$-año)].

Rot: es la rotación del inventario en los centros de distribución [Veces/año].

-Función Objetivo:

Minimizar los costos logísticos totales asociados [\$/año].:

Costo de adquirir la materia prima a los proveedores para abastecer a las plantas
1 [\$/paca].

+ costo de trasladar producto terminado desde la plantas hacia cada uno de los
clientes catalogados como especiales [\$/Paca].

+ costo de trasladar producto terminado desde la plantas hacia los centros de
distribución [\$/Paca].

+ costo de trasladar producto terminado desde los centros de distribución hacia los
clientes catalogados como autoservicio [\$/Paca].

+ costo de operar los centros de distribución [\$/año].

+ costo de mantener el inventario en los centros de distribución [\$/año].

-Restricciones:

Restricción de capacidad en plantas: es la cantidad máxima que una planta puede procesar de cada familia de productos de acuerdo a su configuración productiva [Pacas/año].

Restricción de capacidad en centros de distribución: es la cantidad máxima de cajas que un centro de distribución podría almacenar en un mismo momento [Pacas/año].

Restricciones de cumplimiento de demanda: esta restricción garantiza que la cantidad demandada por los clientes sea abastecida [Pacas/año].

Restricciones de balance en los centros de distribución: esta restricción garantiza el balance en los centros de distribución, es decir que todo el producto que ingresa a estos desde cualquiera de las plantas, en un momento debe salir como un envío hacia los clientes, evitando de esta forma la acumulación infinita de inventarios.

Restricción de balance de masa en las plantas: esta restricción garantiza el balance en las plantas, es decir que todo lo que ingresa como materia prima al proceso productivo, sale de este como producto terminado que puede ser enviado al cliente que lo demande teniendo en cuenta el rendimiento de la materia prima.

- **FORMULACION MATEMÁTICA DEL MODELO GENERAL (MG)**

El modelo expresado de forma matemática comprende las condiciones actuales de la cadena de suministro, donde:

D: Conjunto que comprende los proveedores que abastecen de materia prima las plantas (1,2).

J: Conjunto que comprende Centros de distribución a nivel nacional (1, 2, ..., 33).

P: Conjunto que comprende las familias de productos ofrecidas por la compañía objeto de estudio (1, 2, ..., 10).

P1: Subconjunto que comprende las familias de productos ofrecidos a los clientes que puede procesar la planta 1 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10).

P2: Subconjunto que comprende las familias de productos ofrecidos a los clientes que puede procesar la planta 2 (8, 9).

K: Conjunto que comprende todos los tipos de clientes que tiene la compañía objeto de estudio.

K1: Subconjunto que comprende todos los clientes catalogados por la compañía como clientes autoservicio (1, 2, ..., 33).

K2: Subconjunto que comprende todos los clientes catalogados por la compañía como clientes franquiciados (1, 2, ..., 33).

K3: Subconjunto que comprende todos los clientes catalogados por la compañía como clientes especiales (1, 2, 3, 4).

-Función Objetivo: Minimizar los costos logísticos totales.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{d \in D} Cdic * Pc + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} Cck3 * Ec + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P2} Csk3 * Es + \\ & \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} Ccj * Xcjp + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P2} Csj * Xsjp + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K1} \sum_{p \in P} Cjk1 * Yjk1p + \\ & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K2} \sum_{p \in P} Cjk2 * Yjk2p + \sum_{j \in J} Cf + [(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K1} \sum_{p \in P} Yjk1p + \\ & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K2} \sum_{p \in P} Yjk2p) / Rot] * Valor * R \end{aligned} \quad (\text{Ec.1})$$

-Sujeto a:

Restricción de capacidad en plantas:

- En la planta 1

$$\sum_{j \in J} Xcjp + \sum_{k \in K3} Ec \leq \text{Capc} \quad \forall p \in P1 \quad (\text{Ec.2})$$

- En la planta 2

$$\sum_{j \in J} Xsjp + \sum_{k \in K3} Es \leq \text{Caps} \quad \forall p \in P2 \quad (\text{Ec.3})$$

Las restricciones representadas por las ecuaciones Ec. 2 y Ec.3, garantizan que la cantidad procesada en las plantas 1 y 2 respectivamente no sea superior a la capacidad establecida por su configuración productiva.

Restricción de capacidad en centros de distribución:

$$(\sum_{p \in P1} Xcjp + \sum_{p \in P2} Xsjp) / \text{Rot} \leq \text{Capj} \quad \forall j \in J \quad (\text{Ec.4})$$

La restricción representada por la Ec.4, garantiza que la cantidad de producto terminado que ingresa a los centros de distribución, no exceda la capacidad máxima de almacenaje de estos debido al área y normas de almacenamiento.

Restricciones de cumplimiento de demanda:

- En los clientes catalogados como autoservicio

$$\sum_{j \in J} Yjk1p = \text{Demk1p} \quad \forall k \in K1, p \in P \quad (\text{Ec.5})$$

- En los clientes catalogados como franquiciados

$$\sum_{j \in J} Y_{jk2p} = Dem_{k2p} \forall k \in K2, p \in P \quad (Ec.6)$$

- En los clientes catalogados como especiales

$$Ec = Dem_{k3p} \forall k \in K3, p \in P1 \quad (Ec.7)$$

$$Es = Dem_{k3p} \forall k \in K3, p \in P2 \quad (Ec.8)$$

Las restricciones representadas por las ecuaciones Ec. 5, Ec. 6, Ec.7 y Ec.8, garantizan que el nivel de demanda de cada uno de los clientes catalogados como autoservicio, franquiciados o especiales sea abastecido en su totalidad.

Restricciones de balance en los centros de distribución:

$$X_{cjp} = \sum_{k \in K1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K2} Y_{jk2p} \quad \forall j \in J, p \in P1 \quad (Ec.9)$$

$$X_{sjp} = \sum_{k \in K1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K2} Y_{jk2p} \quad \forall j \in J, p \in P2 \quad (Ec.10)$$

Las restricciones representadas por las ecuaciones Ec. 9 y Ec.10, garantizan que el producto terminado que es enviado desde las plantas 1 y 2 respectivamente, hacia los centros de distribución, sea igual al producto terminado que sale de estos hacia los clientes, de forma que no se acumule inventario de forma infinita en dichos centros y permita mantener la característica de nivel de inventarios constante en la red de suministro.

Restricción de balance de masa en las plantas:

$$\sum_{d \in D} P_c/4 = \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} 2.1 * X_{cjp} + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} 2.1 * Ec \quad (Ec.11)$$

Donde 2.1 es el peso promedio de cada una de las pacas transportadas.

La restricción de balance de masas en las plantas, representa por la ecuación Ec.11, tiene en cuenta que toda la materia prima que ingresa al proceso productivo, debe salir de este como una cantidad de producto terminado de acuerdo al rendimiento de dichos insumos en el proceso (por cada 4 kilogramos de materia prima que ingresan al sistema, salen de este solo 1 kilogramo de producto terminado).

Una vez establecido el modelo general de las condiciones actuales de la red de suministro de la compañía objeto de estudio, se lleva a cabo la construcción de cada uno de los modelos que permiten evaluar las condiciones de las alternativas descritas en la sección 4.2.

- **Decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de Plantas**

Esta alternativa lo que finalmente desea determinar es el número y ubicación de las plantas a nivel nacional, de acuerdo al enfoque corporativo y a las necesidades de la compañía, a fin de lograr reducir los costos logísticos de la operación, a continuación se muestra las modificaciones necesarias en el MG para las alternativas mencionadas en la sección 4.2 para este tipo de decisión.

- **Opción 1:** *Posible traslado de la planta ubicada en el departamento de Antioquia, hacia el Atlántico, zona costera del País.*

- **MODELO DE FORMA VERBAL – OPCIÓN 1**

-Variables:

Para este escenario las variables adicionales a las establecidas en el MG, son las siguientes:

-Variables Continuas:

Xqjp: determina la cantidad de pacas enviadas desde la planta 3 a los centro de distribución, por cada familia de productos [Pacas/año].

Eq: determina la cantidad de pacas enviadas desde la planta 3 hacia los clientes catalogados como especiales, por cada familia de productos [Pacas/año].

-Variables Binarias:

Wq: variable binaria que establece si se debe trasladar la planta ubicada en la región de Antioquia hacia la región del Atlántico, donde 1 es que se traslada y 0 de lo contrario.

-Parámetros:

Para este escenario los parámetros adicionales a los establecidos en el MG, son los siguientes:

Capq: es la cantidad máxima que la planta 3 puede procesar de cada familia de productos de acuerdo a su configuración productiva [pacas/año].

Cqj: es el costo de trasladar producto terminado desde la planta 3 hacia los centros de distribución [\$/paca].

Cqk3: es el de costo de trasladar producto terminado desde la planta 3 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/paca].

-Función Objetivo:

En la función objetivo de este escenario, además de las características consideradas en el MG se consideraron las siguientes:

Minimizar los costos logísticos totales asociados:

Costo de trasladar producto terminado desde la planta 3 hacia los centros de distribución [\$/paca].

+ costo de trasladar producto terminado desde la planta 3 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/paca].

- **MODELO DE FORMA MATEMÁTICA – OPCIÓN 1**

El modelo expresado de forma matemática para este escenario comprende las condiciones actuales de la cadena expresadas en el MG, y de forma adicional las siguientes características:

-Función Objetivo: Minimizar los costos logísticos totales.

$$\text{Min } Z = \text{Función objetivo MG} + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P2} C_{qj} * X_{qjp} + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P2} C_{qk3} * E_{qk} \quad (\text{Ec.12})$$

La función objetivo para esta opción, además de tener en cuenta las consideraciones del MG, tiene en cuenta los costos asociados al traslado de producto terminado desde esta nueva ubicación, hacia los centros de distribución y hacia los clientes catalogados como especiales, es decir, que podrían ser abastecidos de forma directa por esta planta.

-Sujeto a:

Restricción de capacidad en plantas:

- En la planta 2

$$\sum_{j \in J} X_{sjp} + \sum_{k \in K3} E_{sk} \leq \text{Caps} * (1 - W_q) \quad \forall p \in P2 \quad (\text{Ec.13})$$

- En la planta 3

$$\sum_{j \in J} X_{qjp} + \sum_{k \in K3} E_{qk} \leq \text{Caps} * (W_q) \quad \forall p \in P2 \quad (\text{Ec.14})$$

Las restricciones representadas por las ecuaciones Ec.13 y Ec.14, garantizan que la cantidad procesada en las plantas 2 y 3 respectivamente no sea superior a la capacidad establecida por su configuración productiva, además de tener en cuenta que la planta solo podría estar operando en alguna de las dos ubicaciones.

Restricción de capacidad en centros de distribución:

$$(\sum_{p \in P1} X_{cjp} + \sum_{p \in P2} X_{sjp} + \sum_{p \in P2} X_{qjp}) / \text{Rot} \leq \text{Cap}_j \quad \forall j \in J \quad (\text{Ec.15})$$

La restricción representada por la Ec.15, garantiza que la cantidad de producto terminado que ingresa a los centros de distribución, no exceda la capacidad máxima de almacenaje de estos debido al área y normas de almacenamiento.

Restricciones de cumplimiento de demanda:

- En los clientes catalogados como especiales

$$E_s + E_q = Dem_{k3p} \forall k \in K_3, p \in P_2 \quad (Ec.16)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.16, garantiza que los productos que son procesados por la planta 2 o 3, y son demandados por los clientes catalogados como especiales, sean abastecidos en su totalidad.

Restricciones de balance en los centros de distribución:

$$X_{sjp} + X_{qjp} = \sum_{k \in K_1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K_2} Y_{jk2p} \forall j \in J, p \in P_2 \quad (Ec.17)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.17, garantiza que el producto terminado que es enviado desde las plantas 1 o 3, hacia los centros de distribución, sea igual al producto terminado que sale de estos hacia los clientes, de manera que no se acumule inventario de forma infinita en dichos centros y permita mantener la característica de nivel de inventarios constante en la red de suministro.

- **Opción 2:** Posibilidad de tener una nueva planta ubicada en la capital del País.

- **MODELO DE FORMA VERBAL – OPCIÓN 2**

-Variables:

Para este escenario las variables adicionales a las establecidas en el MG, son las siguientes:

-Variables Continuas:

Pb: determina la cantidad de materia prima a ser enviada desde cada proveedor a la planta 4 [Kg/año].

Xbjp: determina la cantidad de pacas enviadas desde la planta 4 a los centro de distribución, por cada familia de productos [pacas/año].

Eb: determina la cantidad de pacas enviadas desde la planta 4 hacia los clientes catalogados como especiales, por cada familia de productos [pacas/año].

-Variables Binarias:

Wb: variable binaria que establece si se debe abrir o no la nueva planta ubicada en la capital del País, donde 1 es que se abre y 0 de lo contrario.

-Parámetros:

Para este escenario los parámetros adicionales a los establecidos en el MG, son los siguientes:

Capb: es la cantidad máxima que la planta 4 puede procesar de cada familia de productos de acuerdo a su configuración productiva [pacas/año].

Cdib: es el costo de adquirir la materia prima a los proveedores para abastecer a la plantas 4 [\$/Kg].

Cbj: es el costo de trasladar producto terminado desde la planta 4 hacia los centros de distribución [\$/Paca].

Cbk3: es el de costo de trasladar producto terminado desde la planta 4 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/Paca].

Caln: costo en el que se incurre por abrir la nueva planta ubicada en la capital del País [\$].

Coln: costo en el que se incurre por operar la nueva planta ubicada en la capital del País [\$/Paca].

-Función Objetivo:

En la función objetivo de este escenario, además de las características consideradas en el MG se consideraron las siguientes:

Minimizar los costos logísticos totales asociados:

Costo de adquirir la materia prima a los proveedores para abastecer a la plantas 4 [\$/Kg].

+ costo de trasladar producto terminado desde la planta 4 hacia los centros de distribución [\$/Paca].

+ costo de trasladar producto terminado desde la planta 4 hacia cada uno de los clientes catalogados como especiales [\$/Paca].

+ costo de abrir la nueva planta ubicada en la capital del País [\$].

+ costo por operar la nueva planta ubicada en la capital del País [\$/Paca].

• **MODELO DE FORMA MATEMÁTICA – OPCIÓN 2**

El modelo expresado de forma matemática para este escenario comprende las condiciones actuales de la cadena expresadas en el MG, y de forma adicional las siguientes características:

-Función Objetivo: Minimizar los costos logísticos totales.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \text{Función objetivo MG} + \sum_{d \in D} C_{dib} * P_b + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P_1} C_{bj} * X_{bjp} + \\ & \sum_{k \in K_3} \sum_{p \in P_1} C_{bk3} * E_b + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P_1} X_{bjp} * CoIn + \sum_{k \in K} \sum_{p \in P_1} E_b * CoIn + \\ & CaIn * W_b \end{aligned} \quad (\text{Ec.18})$$

La función objetivo para esta opción, además de tener en cuenta las consideraciones del MG, tiene en cuenta los costos asociados al costo de adquirir la materia prima necesaria en esta planta, al costo trasladar el producto terminado desde esta nueva ubicación, hacia los centros de distribución y hacia los clientes catalogados como especiales, al costo en el que se incurre por abrir esta nueva planta y al costo adicional que representa operarla.

-Sujeto a:

Restricción de capacidad en plantas:

- En la planta 4

$$\sum_{j \in J} Xbjp + \sum_{k \in K3} Eb \leq Capb * (Wb) \forall p \in P2 \quad (Ec.19)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.19, garantizan que la cantidad procesada en las plantas 4 no sea superior a la capacidad establecida por su configuración productiva, en caso de que esta planta deba abrirse.

Restricción de capacidad en centros de distribución:

$$(\sum_{p \in P1} Xcjp + \sum_{p \in P2} Xsjp + \sum_{p \in P1} Xbjp) / Rot \leq Capj \forall j \in J \quad (Ec.20)$$

La restricción representada por la Ec.20, garantiza que la cantidad de producto terminado que ingresa a los centros de distribución provenientes desde las plantas 1, 2 y 4, no exceda la capacidad máxima de almacenaje de estos, debido al área y normas de almacenamiento.

Restricciones de cumplimiento de demanda:

- En los clientes catalogados como especiales

$$E_c + E_b = Dem_{k3p} \forall k \in K3, p \in P1 \quad (Ec.21)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.21, garantiza que los productos que son procesados por la planta 4 y son demandados por los clientes catalogados como especiales, sean abastecidos en su totalidad.

Restricciones de balance en los centros de distribución:

$$X_{cjp} + X_{bjp} = \sum_{k \in K1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K2} Y_{jk2p} \forall j \in J, p \in P1 \quad (Ec.22)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.22, garantiza que el producto terminado que es enviado desde las plantas, hacia los centros de distribución, sea igual al producto terminado que sale de estos hacia los clientes, de forma que no se acumule inventario de forma infinita en dichos centros y permita mantener la característica de nivel de inventarios constante en la red de suministro.

Restricción de balance de masa en las plantas:

$$\sum_{d \in D} P_{b/4} = \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} 2.1 * X_{bjp} + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} 2.1 * E_b \quad (Ec.23)$$

La restricción representada por la ecuación Ec.23, garantiza el balance de masas en las plantas, lo que significa que toda la materia prima que ingresa a la planta 3, debe salir de esta como una cantidad de producto terminado de acuerdo al rendimiento de dichos insumos en el proceso.

- **Decisiones relacionadas con la apertura y/o cierre de Centros de Distribución**

La alternativa relacionada a la apertura y/o cierre de Centros de Distribución lo que desea es determinar es el número y ubicación de los Centros de Distribución a nivel nacional, a fin de lograr reducir los costos logísticos de la operación, a continuación se muestra las modificaciones necesarias en el MG para este escenario.

- **MODELO DE FORMA VERBAL – CENTROS DE DISTRIBUCIÓN**

-Variables:

Para este escenario las variables adicionales a las establecidas en el MG, son las siguientes:

-Binaria

W_j: variable binaria que establece si se debe cerrar o no un centro de distribución, donde 1 es que se cierra y 0 de lo contrario.

-Parámetros:

Penalizar: es el costo en el que se incurre por cerrar un centro de distribución [\$].

-Función Objetivo:

Minimizar los costos logísticos totales asociados:

Costo en el que se incurre por el cierre de algún centro de distribución [\$].

- **MODELO DE FORMA MATEMÁTICA – CENTROS DE DISTRIBUCIÓN**

El modelo expresado de forma matemática para este escenario comprende las condiciones actuales de la cadena expresadas en el MG, y de forma adicional las siguientes características:

-Función Objetivo: Minimizar los costos logísticos totales.

$$\text{Min } Z = \text{Función Objetivo MG} + \sum_{j \in J} Cf * (1 - Wj) + \text{Penalizar}^*(Wj) \quad (\text{Ec.24})$$

La función objetivo para esta opción, además de tener en cuenta las consideraciones del MG, tiene en cuenta los costos asociados al cierre los centros de distribución.

-Sujeto a:

Restricción de capacidad en centros de distribución:

$$(\sum_{p \in P1} Xcjp + \sum_{p \in P2} Xsjp) / Rot \leq Capj * (1 - Wj) \quad \forall j \in J \quad (\text{Ec.25})$$

La restricción representada por la Ec.25, garantiza que la cantidad de producto terminado que ingresa a los centros de distribución provenientes desde las plantas, no exceda la capacidad máxima de almacenaje de este en los casos en los cuales se deba seguir operando.

En las alternativas descritas en la sección 4.2, se evalúan las decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de plantas y apertura y cierre de centros de distribución de forma separada. A continuación se describirá un modelo matemático que integra las dos alternativas como una nueva opción, para efectos de la investigación será llamada **opción combinada** y tendrá en cuenta todas las **variables de decisión, parámetros y restricciones**, descritas en los modelos anteriores.

• MODELO DE FORMA MATEMÁTICA - OPCIÓN COMBINADA

-Función Objetivo: Minimizar los costos logísticos totales.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & \sum_{d \in D} Cdic * Pc + \sum_{d \in D} Cdib * Pb + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} Cck3 * Ec + \\
 & \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P2} Csk3 * Es + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} Cqk3 * Eq + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} Cbk3 * Eb + \\
 & \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} Ccj * Xcjp + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P2} Csj * Xsjp + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P2} Cqj * Xqjp + \\
 & \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} Cbj * Xbjp + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K1} \sum_{p \in P} Cjk1 * Yjk1p + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K2} \sum_{p \in P} Cjk2 * \\
 & Yjk2p + \sum_{j \in J} Cf * (1 - Wj) + \text{Penalizar}*(Wj) + [(\sum_{j \in J} \sum_{k \in K1} \sum_{p \in P} Yjk1p + \\
 & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K2} \sum_{p \in P} Yjk2p) / \text{Rot}] * \text{Valor} * R + \text{CaIn} * Wb + \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} Xbjp * \text{CoIn} + \\
 & \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} Eb * \text{CoIn}
 \end{aligned}
 \tag{Ec.26}$$

-Sujeto a:

Restricción de capacidad en plantas:

- En la planta 1

$$\sum_{j \in J} Xcjp + \sum_{k \in K3} Ec \leq \text{Capc} \quad \forall p \in P1 \quad (\text{Ec.27})$$

- En la planta 2

$$\sum_{j \in J} Xsjp + \sum_{k \in K3} Es \leq \text{Caps}^*(1-Wq) \quad \forall p \in P2 \quad (\text{Ec.28})$$

- En la planta 3

$$\sum_{j \in J} Xqjp + \sum_{k \in K3} Eq \leq \text{Caps}^*(Wq) \quad \forall p \in P2 \quad (\text{Ec.29})$$

- En la planta 4

$$\sum_{j \in J} Xbjp + \sum_{k \in K3} Eb \leq \text{Capb}^*(Wb) \quad \forall p \in P1 \quad (\text{Ec.30})$$

Las restricciones de capacidad en plantas, representadas por las ecuaciones Ec.27, Ec.28, Ec.29 y Ec.30, garantizan que la cantidad procesada en las plantas no sea superior a la capacidad establecida por su configuración productiva, en caso de que esta planta deba abrírsela planta se encuentre abierta.

Restricción de capacidad en centros de distribución:

$$(\sum_{p \in P1} Xcjp + \sum_{p \in P2} Xsjp + \sum_{p \in P2} Xqjp + \sum_{p \in P1} Xbjp) / \text{Rot} \leq \text{Capj}^*(1-Wj) \quad \forall j \in J \quad (\text{Ec.31})$$

La restricción de capacidad en centros de distribución, representada por la Ec.31, garantiza que la cantidad de producto terminado que ingresa a los centros de distribución provenientes desde las plantas, no exceda la capacidad máxima de almacenaje de este en los casos en los cuales se deba seguir operando.

Restricciones de cumplimiento de demanda:

- En los clientes catalogados como autoservicio

$$\sum_{j \in J} Y_{jk1p} = Dem_{k1p} \forall k \in K1, p \in P \quad (Ec.32)$$

- En los clientes catalogados como franquiciados

$$\sum_{j \in J} Y_{jk2p} = Dem_{k2p} \forall k \in K2, p \in P \quad (Ec.33)$$

- En los clientes catalogados como especiales

$$Ec + Eb = Dem_{k3p} \forall k \in K3, p \in P1 \quad (Ec.34)$$

$$Es + Eq = Dem_{k3p} \forall k \in K3, p \in P2 \quad (Ec.35)$$

Las restricciones de cumplimiento de demanda, representadas por las ecuaciones Ec.32, Ec.33, Ec.34 y Ec.35, garantizan que los productos que son demandados por los clientes catalogados como autoservicio, franquiciados y especiales, sean abastecidos en su totalidad.

Restricciones de balance en los centros de distribución:

$$X_{cjp} + X_{bjp} = \sum_{k \in K1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K2} Y_{jk2p} \forall j \in J, p \in P1 \quad (Ec.36)$$

$$X_{sjp} + X_{qjp} = \sum_{k \in K1} Y_{jk1p} + \sum_{k \in K2} Y_{jk2p} \forall j \in J, p \in P2 \quad (Ec.37)$$

Las restricciones de balance en los centros de distribución, representadas por la ecuación Ec.36 y Ec.37, garantizan que el producto terminado que es enviado desde la plantas hacia los centros de distribución, sea igual al producto terminado que sale de estos hacia los clientes, de forma que no se acumule inventario de forma infinita en dichos centros y permita mantener la característica de nivel de inventarios constante en la red de suministro.

Restricción de balance de masa en las plantas:

$$\sum_{d \in D} Pc/4 = \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} 2.1 * Xcjp + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} 2.1 * Ec \quad (\text{Ec.38})$$

$$\sum_{d \in D} Pb/4 = \sum_{j \in J} \sum_{p \in P1} 2.1 * Xbjp + \sum_{k \in K3} \sum_{p \in P1} 2.1 * Eb \quad (\text{Ec.39})$$

La restricción de balance de masas en las plantas, representada por la ecuación Ec.38 y Ec.39, tienen en cuenta que toda la materia prima que ingresa al proceso productivo de las plantas 1 y 2 respectivamente, debe salir de estas como una cantidad de producto terminado de acuerdo al rendimiento de dichos insumos en el proceso.

5. RESULTADOS

Los modelos matemáticos establecidos en la sección 4.3 fueron programados en lenguaje AMPL y desarrollados en el solucionador GUROBI con base en el optimizador CPLEX, a continuación se presentan los resultados para cada uno de ellos.

Con el fin de poder hacer una comparación de los resultados de cada una de las alternativas, se presentan a continuación los aspectos obtenidos para el **MODELO GENERAL**, que representa la situación actual de la red de suministro objeto de estudio.

Esta alternativa evalúa cual debería ser la configuración óptima bajo las condiciones actuales de la red de suministro, teniendo en cuenta sólo modificaciones en los flujos de envío, obteniéndose los siguientes resultados:

- **Función Objetivo:** \$36.281.939.946

Donde las plantas se deberían abastecer de la siguiente manera según los resultados de la solución óptima para este caso (Ver tabla 13).

Una vez el modelo sugiere la configuración de plantas para esta alternativa, se establece la cantidad de producto terminado que cada una de ellas enviaría hacia los centros de distribución como se muestra en la tabla 14, en esta se tiene que para algunos centros de distribución no existe flujo alguno, lo que significa para la compañía, que si se toma la determinación de adoptar esta posición se debe evaluar la existencia de dichos centros, pues no serían de relevante importancia

Tabla 13. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción 1.

PLANTA 1		
PROVEEDOR	Kg/año	TOTAL
Cundinamarca	-	-
Nariño	13.779.956	13.779.956
	13.779.956	13.779.956

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

para la red y por el contrario generarían costos al mantenerse en operación. Después de ser abastecidos los Centros de Distribución, estos podrían atender los clientes tipo Franquiciados y Autoservicio que demanden el producto.

- **Decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de Plantas**

- **Opción 1:** *Posible traslado de la planta ubicada en el departamento de Antioquia, hacia el Atlántico, zona costera del país.*

En esta opción se evaluó la posibilidad de mantener la configuración de la red actual de suministro, pero con la variación de evaluar si se debería trasladar la planta ubicada en la región de Antioquia, hacia el Atlántico, obteniéndose como resultado que se debería mantener la configuración de la red de suministro actual, pues cualquier variación en esta no generaría beneficio, lo que significa que no es viable trasladar la planta ubicada en la región de Antioquia hacia el Atlántico; la función objetivo fue de \$36.281.939.946 y las características de abastecimiento y distribución fueron las mismas que se obtuvieron en el escenario de la configuración actual representados por el MG.

Tabla 14. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la Opción 1.

	PLANTA 1	PLANTA 2			PLANTA 1	PLANTA 2			PLANTA 1	PLANTA 2	
	UBICACIÓN				UBICACIÓN				UBICACIÓN		
	Región del Cauca	Región de Antioquia			TOTAL	Región del Cauca			Región de Antioquia	TOTAL	
CD	Pacas / año			CD	Pacas / año			CD	Pacas / año		
J1	345.754	171.527	517.281	J12	152.194	27.806	180.000	J23	250.413	-	250.413
J2	-	78.628	78.628	J13	-	-	-	J24	756.000	-	756.000
J3	126.000	4.811	130.811	J14	11.359	-	11.359	J25	77.022	399.225	476.247
J4	-	500	500	J15	151.200	-	151.200	J26	280.653	189.186	469.839
J5	73.685	2.934	76.619	J16	90.000	-	90.000	J27	129.154	77.590	206.744
J6	-	-	-	J17	165.600	-	165.600	J28	180.120	43.071	223.191
J7	-	-	-	J18	180.000	-	180.000	J29	63.804	-	63.804
J8	118.800	-	118.800	J19	504.000	-	504.000	J30	288.000	-	288.000
J9	61.200	-	61.200	J20	210.594	105.988	316.582	J31	79.200	-	79.200
J10	167.197	-	167.197	J21	201.737	-	201.737	J32	-	-	-
J11	432.000	-	432.000	J22	168.722	-	168.722	J33	-	-	-

Fuente: Resultados construidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL

- **Opción 2:** Posibilidad de tener una nueva planta ubicada en la Capital del País.

En esta alternativa se evaluó la posibilidad de mantener la configuración de la red actual de suministro, pero con la variación de definir si se podría tener una nueva planta de producción ubicada en la Capital del País, los resultados presentados por la modelación se muestran a continuación:

- ***Función Objetivo:*** \$36.267.762.195

Donde la configuración de plantas óptima suministrada por el modelo es:

1).Trasladar la actual planta ubicada en la región de Antioquia hacia la región del Atlántico, zona costera del país.

2).Abrir una nueva planta ubicada en la Capital del País; que se deberían abastecer de la siguiente manera según los resultados de la solución óptima para este caso.

Tabla 15. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción 2.

	PLANTA 1	PLANTA 4	
PROVEEDOR	Kg / año		TOTAL
Cundinamarca		3.274.211	3.274.211
Nariño	10.505.746		10.505.746
	10.505.746	3.274.211	13.779.956

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

La tabla 15 muestra de acuerdo a los resultados arrojados por el modelo para esta alternativa que cada una de las plantas debería ser abastecida por el proveedor más próximo a su ubicación.

Una vez el modelo sugiere las plantas qué deberían operar, se establece la cantidad de producto terminado que cada una de ellas envía hacia los centros de distribución como se muestra en la tabla 16, al igual que en la evaluación realizada para la anterior opción, en esta tabla se tiene que para algunos centros de distribución no existe flujo alguno, lo que significa para la compañía, que si se toma la determinación de adoptar esta posición se debe evaluar la existencia de dichos centros, pues no serían de relevante importancia para la red y por el contrario generarían costos al mantenerse en operación.

- **Decisiones relacionadas con la apertura y/o cierre de Centros de Distribución**

En esta alternativa se evaluaron el número y ubicación de los Centros de Distribución que conforman la red de suministro, a fin de determinar cuál debería ser la configuración óptima según los resultados presentados por la modelación, obteniéndose los siguientes resultados:

- ***Función Objetivo:*** \$29.368.879.022

Para esta alternativa no se evalúa la posibilidad de abrir o cerrar plantas, por lo tanto el número y ubicación de estas es la que se encuentra en la actualidad. Sin embargo, el modelo permite determinar el volumen de materia prima y ubicación del proveedor para las necesidades de la cadena, en la tabla 17, se muestra la cantidad necesaria de materia prima anual y el origen del proveedor, de acuerdo a los resultados arrojados por el modelo para este escenario.

La tabla 17 muestra de acuerdo a los resultados arrojados por el modelo para

Tabla 16. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la Opción 2.

	PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4			PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4			PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4	
	UBICACIÓN					UBICACIÓN					UBICACIÓN			
	Región del Cauca	Región de Antioquia	Capital del País			TOTAL	Región del Cauca	Región de Antioquia			Capital del País	TOTAL	Región del Cauca	
CD	Pacas / año				CD	Pacas / año				CD	Pacas / año			
J1	-	-	-	-	J12	180.000	-	-	180.000	J23	-	-	-	-
J2	137.962	294.038	-	432.000	J13	64.320	-	97.680	162.000	J24	756.000	-	-	756.000
J3	-	-	-	-	J14	-	-	-	-	J25	-	-	-	-
J4	-	-	-	-	J15	151.200	-	-	151.200	J26	290.674	249.326	-	540.000
J5	-	-	-	-	J16	90.000	-	-	90.000	J27	462.410	77.590	-	540.000
J6	-	-	-	-	J17	165.600	-	-	165.600	J28	252.000	-	-	252.000
J7	59.661	-	120.339	180.000	J18	180.000	-	-	180.000	J29	100.800	-	-	100.800
J8	31.483	-	87.317	118.800	J19	-	-	-	-	J30	-	-	-	-
J9	-	-	61.200	61.200	J20	223.092	330.470	-	553.562	J31	79.200	-	-	79.200
J10	167.642	2.056	46.302	216.000	J21	-	-	-	-	J32	144.000	-	-	144.000
J11	425.289	-	6.711	432.000	J22	234.000	-	-	234.000	J33	649.526	142.474	-	792.000

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

Tabla 17. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en la Opción de apertura y/o cierre de Centros de Distribución.

	PLANTA 1	
PROVEEDOR	Kg/año	TOTAL
Cundinamarca	-	-
Nariño	13.779.956	13.779.956
	13.779.956	13.779.956

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

esta alternativa que la planta debería abastecer el 100% de su materia prima desde el proveedor ubicado en Nariño, dada su proximidad a la ubicación de la planta. Este modelo evalúa la posibilidad de abrir y/o cerrar centros de distribución, la tabla 18 muestra los centros de distribución que el modelo sugiere deberían cerrar y la cantidad de pacas que deberían ser enviadas al año desde las plantas hacia los centros de distribución que aún siguen operando.

En la tabla 18 y según la solución óptima del escenario que sugiere el modelo, deberían ser cerrados 11 de los 33 centros de distribución, mientras que los 22 restantes deberían mantener la operación con los volúmenes que se presentan en dicha tabla, que de forma posterior podrían ser demandados por cada uno de los clientes de la red.

- **Decisiones relacionadas con apertura y/o traslado de Plantas y la apertura y/o cierre de Centros de Distribución (escenario combinado).**

Esta alternativa permite evaluar las condiciones y características actuales de la cadena de suministro en conjunto, de forma que se logre aprovechar las posibles sinergias existentes en el sistema como un todo, bajo la integración de

Tabla 18. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en la en la Opción de apertura y/o cierre de Centros de Distribución

	PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4		PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4		PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4			
	UBICACIÓN				UBICACIÓN				UBICACIÓN					
	Región del Cauca	Región del Atlántico	Capital del País		TOTAL	Región del Cauca	Región del Atlántico		Capital del País	TOTAL	Región del Cauca		Región del Atlántico	Capital del País
CD	Pacas / año				CD	Pacas / año				CD	Pacas / año			
J1	Cierra				J12	152.194	-	-	152.194	J23	Cierra			
J2	340.681	-	-	340.681	J13	162.000	-	-	162.000	J24	578.626	-	-	578.626
J3	Cierra				J14	Cierra				J25	Cierra			
J4	Cierra				J15	151.200	-	-	151.200	J26	Cierra			
J5	Cierra				J16	90.000	-	-	90.000	J27	409.807	-	-	409.807
J6	Cierra				J17	165.600	-	-	165.600	J28	208.774	-	-	208.774
J7	161.742	-	-	161.742	J18	180.000	-	-	180.000	J29	100.800	-	-	100.800
J8	118.800	-	-	118.800	J19	Cierra				J30	Cierra			
J9	58.676	-	-	58.676	J20	210.594	-	-	210.594	J31	79.200	-	-	79.200
J10	213.944	-	-	213.944	J21	479.400	-	-	479.400	J32	127.086	-	-	127.086
J11	432.000	-	-	432.000	J22	234.000	-	-	234.000	J33	609.284	-	-	609.284

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

las necesidades de la compañía expresadas como alternativas en la sección 4.2, obteniéndose los siguientes resultados:

-21.932 variables de las cuales 35 son variables binarias y 21.897 variables lineales,

-1.035 restricciones.

- **Función Objetivo:** \$29.070.265.398.

Donde la configuración de plantas óptima suministrada por el modelo es:

1).Trasladar la actual planta ubicada en la región de Antioquia hacia la región del Atlántico, zona costera del país.

2).Abrir una nueva planta ubicada en la Capital del País; que se deberían abastecer de la siguiente manera según los resultados de la solución óptima para este caso.

Tabla 19. Cantidad y origen de la materia prima a abastecer la cadena de suministro en el escenario combinado.

	PLANTA 1	PLANTA 3	
PROVEEDOR	Kg/año		TOTAL
Cundinamarca	-	3.603.382	3.603.382
Nariño	10.176.575	-	10.176.575
	10.176.575	3.603.382	13.779.956

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

En la tabla 19, se muestra la cantidad necesaria de materia prima anual y el origen de los proveedores, de acuerdo a los resultados arrojados por el modelo para este escenario, y basándose en las condiciones actuales de la red de

suministro de la compañía, donde se tiene que las plantas deberían abastecerse desde el proveedor más próximo a su ubicación, con un 74% del abastecimiento para la planta 1 (que se encuentra ubicada en la región del Cauca) quien se abastece del proveedor de Nariño, y el 26% restante para la planta 4 (que se encuentra ubicada en la capital del País) y es abastecida por el proveedor de Cundinamarca.

Una vez las plantas procesan el producto este puede ser enviado a cualquiera de los centros de distribución que lo demanden.

En la tabla 20 se muestra la cantidad de pacas que deberían ser enviadas al año desde cada una de las plantas hacia los centros de distribución, en ella se puede ver que existen determinados centros de distribución que no presentan flujo, lo que significa que son estos los que el modelo ha determinado se deberían cerrar, en este caso y para la solución óptima del escenario deberían mantenerse 22 de dichos centros y cerrarse los 11 restantes.

Cuando el producto es almacenado en los centros de distribución que mantienen su operación, puede ser demandado por cualquiera de los clientes que fueron catalogados como Autoservicio y Franquiciados, en la tabla 21 se muestra el volumen de demanda anual de cada uno de estos clientes para los centros de distribución; se debe decir que esta demanda es una combinación de todos los productos ofrecidos a los clientes.

La decisión de una nueva configuración de acuerdo a los resultados y las características sugeridas por los modelos anteriores, depende de lo que esta desee, sin embargo, en la tabla 23 se compara la función objetivo de cada una de ellas, donde se muestra que el escenario que generaría un menor costo logístico de operación es el que combina todas las alternativas, ya que permite aprovechar las sinergias existentes en la red de suministro combinando decisiones estratégicas y tácticas en una misma opción.

Tabla 20. Cantidad de producción que se envía desde las plantas hacia los centros de distribución en el escenario combinado.

	PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4			PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4			PLANTA 1	PLANTA 3	PLANTA 4		
	UBICACIÓN					UBICACIÓN					UBICACIÓN				
	Región del Cauca	Región del Atlántico	Capital del País			TOTAL	Región del Cauca	Región del Atlántico			Capital del País	TOTAL	Región del Cauca		
CD	Pacas / año				CD	Pacas / año				CD	Pacas / año				
J1	-	-	-	-	J12	180.000	-	-	180.000	J23	-	-	-	-	
J2	137.962	294.038	-	432.000	J13	64.320	-	97.680	162.000	J24	756.000	-	-	756.000	
J3	-	-	-	-	J14	-	-	-	-	J25	-	-	-	-	
J4	-	-	-	-	J15	151.200	-	-	151.200	J26	290.674	249.326	-	540.000	
J5	-	-	-	-	J16	90.000	-	-	90.000	J27	462.410	77.590	-	540.000	
J6	-	-	-	-	J17	165.600	-	-	165.600	J28	252.000	-	-	252.000	
J7	59.661	-	120.339	180.000	J18	180.000	-	-	180.000	J29	100.800	-	-	100.800	
J8	31.483	-	87.317	118.800	J19	-	-	-	-	J30	-	-	-	-	
J9	-	-	61.200	61.200	J20	223.092	330.470	-	553.562	J31	79.200	-	-	79.200	
J10	167.642	2.056	46.302	216.000	J21	-	-	-	-	J32	144.000	-	-	144.000	
J11	425.289	-	6.711	432.000	J22	234.000	-	-	234.000	J33	649.526	142.474	-	792.000	

Fuente: Resultados presentados por el modelo matemático.

Tabla 211. Zonas de consumo que atiende cada Centro de Distribución en el escenario combinado.

ZONA DE CONSUMO			ZONA DE CONSUMO		
CD	AUTOSERVICIO	FRANQUICIADO	CD	AUTOSERVICIO	FRANQUICIADO
J1	Cierra		J18	18,23,24,30	18,23,30
J2	1,2,3,4,5,6,8,9,11,22,23,33	1,2,3,4,5,6,8,9,11,22,23	J19	Cierra	
J3	Cierra		J20	1,15,16,17,18,19,20,24,25,31	1,5,16,17,18,19,20,24,25,31
J4	Cierra		J21	Cierra	
J5	Cierra		J22	22,23	22,23
J6	Cierra		J23	Cierra	
J7	7,11,14	5,7,11,21	J24	24,25	24,25
J8	4,5,6,8,9	3,6,8,9	J25	Cierra	
J9	4	3,5,11	J26	25,26,28,29,30,32	26,28,29,30,32
J10	3,5,9,10	3,4,5,6,9,10	J27	1,27	1,27
J11	3,4,5,6,9,11	3,4,5,6,9,11,24	J28	17,19,28	17,19,28
J12	12,21	12	J29	17,19,29,30	17,29,30
J13	13,14	13,14	J30	Cierra	
J14	Cierra		J31	23,31	23,31
J15	15,17,19	15	J32	30,32	30,32
J16	8,16,18	16,18	J33	7,12,13,14,21,33	7,12,13,14,17,21,33
J17	17,19	17,19			

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

Tabla 22. Función Objetivo de las diferentes alternativas evaluadas.

	Alternativa	Función Objetivo
Decisiones relacionadas con apertura y/o cierre de Plantas	<u>Opción 1:</u> Posible traslado de la planta ubicada en el departamento de Antioquia, hacia el Atlántico.	\$ 36.281.939.946
	<u>Opción 2:</u> Posibilidad de tener una nueva planta ubicada en la capital del País.	\$ 36.267.762.195
	Decisiones relacionadas con la apertura y/o cierre de Centros de Distribución	\$ 29.368.879.022
	Alterativa que combina las decisiones anteriores	\$ 29.070.265.398

Fuente: Resultados contruidos a partir de los datos arrojados por el modelo de AMPL.

6. CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo se logró conocer los costos asociados al transporte en que se incurre por el aprovisionamiento de la materia prima, el almacenamiento de producto terminado y la posterior distribución de este a nivel nacional; ya que la información no se encontraba disponible en la compañía siendo construida en el proceso de esta investigación.
- Se logra tener una visión y estructura general de la compañía, estableciendo su funcionamiento de una forma sistémica, ya que en la actualidad la empresa funciona bajo una operación regida por departamentos, donde las personas son especialistas en la labor que desempeñan y/o departamento al que pertenecen.
- Una vez conocida la configuración actual de la cadena de suministro, empiezan a surgir muchos interrogantes, pero solamente se estableció como prioridad indagar si en primera instancia era pertinente el mover plantas y en segunda instancia considerar el cierre de centros de distribución.
- La gama de posibilidades de configuración de la cadena de suministro es muy amplia, entonces la solución o posibilidades de ubicación de esa gama discreta es muy grande.
- Hay decisiones que no valdría la pena tomar por que no mejorarían la configuración.
- La configuración y/o diseño de las redes de suministro, son dependientes del proceso y características de la red, y las decisiones que sean tenidas en cuenta en estas dependen de las alineaciones corporativas del sistema.

- Los modelos presentes en este trabajo de investigación se van complejizando a medida que se tienen en cuenta nuevos factores, sin embargo, esto permite aprovechar posibles sinergias entre cada uno de los entes partícipes en la red, lo cual se ve reflejado en el mejoramiento de la función objetivo.

7. ANEXOS

Anexo 1. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como franquiciados.

	FAMILIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CLIENTE	Pacas / año									
1	35.270	24.297	6.430	4.128	15.119	41.131	1.718	68.300	311	10.210
2	16.604	8.859	1.931	2.035	7.433	15.540	459	31.186	265	2.324
3	9.517	4.210	2.629	487	4.877	10.994	354	1.599	60	1.255
4	8.575	3.802	3.134	472	3.625	10.865	593	184	29	1.170
5	9.099	17.330	6.303	431	6.958	25.653	1.317	-	14	12.537
6	4.337	2.357	1.995	258	2.026	4.454	245	-	20	361
7	10.259	3.784	1.569	1.196	5.460	9.951	314	1.160	82	1.283
8	6.116	1.770	1.192	249	2.659	5.844	183	336	15	424
9	4.126	1.496	893	111	1.346	3.713	172	-	10	706
10	26.701	3.959	861	3.032	11.878	18.521	333	537	285	1.594
11	32.734	11.374	6.838	1.602	11.189	27.929	1.459	3.607	89	4.515
12	21.765	9.212	1.640	2.015	11.004	14.727	145	11.049	230	369
13	11.321	5.995	737	1.141	5.715	12.190	89	1.822	257	730
14	31.107	19.906	5.228	2.475	10.128	34.222	436	692	179	2.149
15	12.428	5.510	2.440	1.099	4.043	12.183	408	-	4	1.283
16	5.608	2.300	714	265	2.376	6.001	137	25	8	679
17	6.003	2.793	1.979	361	3.072	9.665	279	-	14	88
18	8.373	3.738	1.465	457	3.547	9.939	287	57	8	735
19	23.130	14.482	7.451	1.739	8.990	36.190	1.315	382	162	8.161
20	28.486	8.379	7.994	2.131	7.414	22.255	608	41.938	456	6.971
21	36.974	7.919	3.494	3.232	10.926	17.000	234	756	109	916
22	25.556	6.322	1.409	1.630	10.779	20.519	102	818	191	1.171
23	19.427	4.774	1.255	1.354	11.674	21.600	218	1.459	394	1.946
24	38.617	21.710	11.477	4.251	14.291	62.584	1.128	37.908	3.983	8.860
25	34.870	25.668	12.919	3.413	13.750	58.902	1.451	26.282	2.116	19.317
26	22.844	18.809	4.530	4.427	11.737	45.431	1.007	74.531	1.143	3.476
27	13.708	7.441	2.470	1.709	5.497	18.484	350	30.700	336	2.002
28	21.575	20.382	3.400	2.081	9.591	12.923	369	17.140	88	1.727
29	8.775	3.708	1.781	807	3.841	6.159	193	59	3	258
30	20.682	6.894	3.331	1.395	5.843	19.737	838	4.027	531	5.303
31	4.588	1.681	1.116	274	1.447	3.605	208	79	19	1.567
32	4.674	3.067	1.615	397	1.287	3.862	175	2.151	57	1.750
33	37.778	22.164	3.284	4.019	18.180	29.016	779	67.360	767	4.641

Fuente: Sistema de información ERP de la compañía objeto de estudio

Anexo 2. Nivel de demanda anual de los clientes catalogados como autoservicio.

	FAMILIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CLIENTE	Pacas / año									
1	52.905	36.445	9.644	6.192	22.678	61.696	2.577	102.450	466	15.314
2	24.906	13.289	2.896	3.052	11.149	23.310	689	46.780	397	3.486
3	14.275	6.316	3.944	730	7.316	16.490	532	2.398	90	1.882
4	12.862	5.703	4.701	707	5.438	16.297	890	276	44	1.755
5	13.648	25.995	9.454	647	10.437	38.479	1.976	-	22	18.806
6	6.505	3.536	2.993	386	3.039	6.681	367	-	30	542
7	15.388	5.677	2.353	1.793	8.190	14.926	471	1.740	123	1.924
8	9.175	2.656	1.787	374	3.989	8.766	274	504	23	635
9	6.189	2.243	1.339	167	2.018	5.570	257	-	15	1.059
10	40.051	5.938	1.291	4.548	17.817	27.781	500	806	428	2.392
11	49.101	17.061	10.257	2.403	16.784	41.893	2.189	5.411	133	6.772
12	32.647	13.818	2.460	3.023	16.507	22.090	218	16.574	344	554
13	16.981	8.993	1.106	1.712	8.572	18.284	133	2.733	386	1.095
14	46.660	29.858	7.842	3.713	15.191	51.333	654	1.039	268	3.224
15	18.642	8.265	3.659	1.648	6.065	18.274	613	-	6	1.925
16	8.412	3.449	1.071	398	3.564	9.001	206	38	12	1.019
17	9.004	4.189	2.969	542	4.608	14.497	419	-	21	132
18	12.559	5.608	2.197	685	5.320	14.908	431	85	12	1.102
19	34.695	21.723	11.176	2.609	13.486	54.285	1.973	573	243	12.242
20	42.729	12.568	11.991	3.197	11.121	33.382	912	62.908	685	10.456
21	55.461	11.878	5.241	4.848	16.390	25.500	351	1.134	163	1.373
22	38.335	9.483	2.114	2.446	16.169	30.778	153	1.228	287	1.756
23	29.141	7.161	1.882	2.030	17.512	32.400	327	2.188	590	2.918
24	57.925	32.566	17.215	6.377	21.437	93.876	1.692	56.863	5.974	13.290
25	52.305	38.502	19.378	5.120	20.625	88.354	2.176	39.424	3.174	28.976
26	34.266	28.214	6.795	6.641	17.606	68.146	1.510	111.797	1.715	5.214
27	20.561	11.162	3.705	2.564	8.246	27.726	525	46.050	504	3.004
28	32.363	30.574	5.099	3.121	14.386	19.385	554	25.710	133	2.590
29	13.162	5.562	2.671	1.211	5.762	9.239	289	89	4	386
30	31.023	10.341	4.997	2.092	8.764	29.606	1.257	6.040	796	7.954
31	6.883	2.521	1.674	410	2.170	5.408	312	118	28	2.351
32	7.010	4.601	2.422	595	1.930	5.793	263	3.227	85	2.625
33	56.666	33.246	4.926	6.028	27.270	43.523	1.168	101.040	1.151	6.962

Fuente: Sistema de información ERP de la compañía objeto de estudio

Anexo 3. Valor del envío por paca desde los centros de distribución hacia los clientes.

CD	CLIENTE AUTOSERVICIO (\$ / PACA)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	353	706	2.353	2.353	2.353	2.353	2.118	2.235	2.353	2.941	2.353
2	706	353	2.235	2.235	2.235	2.235	2.118	2.235	2.235	2.824	2.235
3	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
4	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
5	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
6	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
7	1.882	1.765	588	588	588	588	294	471	588	1.412	588
8	2.000	2.000	412	412	412	412	471	294	412	1.176	412
9	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
10	2.588	2.353	1.059	1.059	1.059	1.059	1.176	1.059	1.059	353	1.059
11	2.235	2.235	353	353	353	353	588	412	353	941	353
12	1.412	1.059	1.882	1.882	1.882	1.882	1.412	1.529	1.882	2.235	1.882
13	1.529	1.294	1.529	1.529	1.529	1.529	1.176	1.412	1.529	2.000	1.529
14	1.529	1.294	1.529	1.529	1.529	1.529	1.176	1.412	1.529	2.000	1.529
15	2.235	2.118	1.235	1.235	1.235	1.235	1.529	1.412	1.235	1.647	1.235
16	2.235	2.118	1.235	1.235	1.235	1.235	1.529	1.412	1.235	1.647	1.235
17	2.235	2.118	1.294	1.294	1.294	1.294	1.647	1.529	1.294	1.882	1.294
18	2.118	2.000	1.235	1.235	1.235	1.235	1.529	1.412	1.235	1.647	1.235
19	2.235	2.118	1.294	1.294	1.294	1.294	1.647	1.529	1.294	1.882	1.294
20	706	824	2.353	2.353	2.353	2.353	2.235	2.235	2.353	2.941	2.353
21	1.882	1.647	2.118	2.118	2.118	2.118	2.000	2.000	2.118	2.588	2.118
22	2.471	2.235	1.529	1.529	1.529	1.529	2.000	1.647	1.529	2.000	1.529
23	2.118	1.882	1.176	1.176	1.176	1.176	1.412	1.176	1.176	1.412	1.176
24	1.765	1.765	1.235	1.235	1.235	1.235	1.412	1.412	1.235	2.000	1.235
25	1.765	1.765	1.235	1.235	1.235	1.235	1.412	1.412	1.235	2.000	1.235
26	1.059	1.176	2.471	2.471	2.471	2.471	2.588	2.353	2.471	3.176	2.471
27	941	1.059	2.588	2.588	2.588	2.588	2.706	2.471	2.588	3.294	2.588
28	2.941	3.176	2.235	2.235	2.235	2.235	2.588	2.353	2.235	2.941	2.235
29	2.588	2.706	1.882	1.882	1.882	1.882	2.235	2.118	1.882	2.588	1.882
30	2.000	2.118	1.235	1.235	1.235	1.235	1.529	1.412	1.235	1.647	1.235
31	2.000	2.118	1.235	1.235	1.235	1.235	1.529	1.412	1.235	1.647	1.235
32	1.882	2.000	1.176	1.176	1.176	1.176	1.529	1.294	1.176	1.529	1.176
33	1.059	824	2.118	2.118	2.118	2.118	1.647	1.882	2.118	2.588	2.118

CLIENTE AUTOSERVICIO (\$ / PACA)											
CD	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1.412	1.529	1.529	2.176	2.176	2.176	2.176	2.176	824	1.882	2.353
2	1.176	1.412	1.412	2.294	2.294	2.294	2.294	2.294	941	1.765	2.235
3	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
4	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
5	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
6	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
7	1.412	1.059	1.059	1.706	1.706	1.706	1.706	1.706	2.353	1.647	1.647
8	1.647	1.176	1.176	1.412	1.412	1.412	1.412	1.412	2.471	1.765	1.294
9	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
10	2.235	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	3.059	2.235	1.765
11	1.882	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	1.294	2.588	1.882	1.176
12	294	706	706	1.941	1.941	1.941	1.941	1.941	1.765	1.176	1.882
13	706	294	471	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.294	1.647
14	706	471	294	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.176	1.765
15	1.765	1.647	1.647	294	353	353	412	353	2.235	1.882	1.176
16	1.765	1.647	1.647	353	294	412	353	412	2.235	1.882	1.176
17	1.882	1.765	1.765	294	412	294	529	294	2.235	2.000	1.294
18	1.765	1.647	1.647	412	353	529	294	529	2.235	1.882	1.059
19	1.882	1.765	1.765	294	412	294	529	294	2.235	2.000	1.294
20	1.176	1.529	1.529	2.176	2.176	2.176	2.176	2.176	353	1.882	2.471
21	941	1.176	941	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	2.235	294	2.235
22	1.882	1.529	1.765	1.176	1.176	1.176	1.176	1.176	2.941	2.000	294
23	1.412	1.059	1.176	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	2.471	1.647	824
24	1.529	1.176	1.176	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.765	1.765	1.647
25	1.529	1.176	1.176	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.765	1.765	1.647
26	1.647	1.882	1.765	1.765	1.765	1.765	1.765	1.765	1.176	2.118	2.353
27	1.765	2.000	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.882	1.059	2.000	2.353
28	2.824	2.588	2.706	1.000	1.118	1.000	1.176	1.000	3.059	2.941	1.647
29	2.471	2.118	2.235	765	882	765	1.000	765	2.588	2.588	1.176
30	1.647	1.176	1.176	882	824	882	765	882	2.118	1.765	1.059
31	1.647	1.176	1.176	882	824	882	765	882	2.235	1.765	941
32	1.647	1.176	1.176	1.000	941	1.000	882	1.000	2.000	1.647	1.176
33	471	706	706	2.118	2.118	2.118	2.118	2.118	1.412	1.294	2.118

CLIENTE AUTOSERVICIO (\$ / PACA)											
CD	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	2.000	1.765	1.765	1.059	941	3.059	2.588	2.000	2.000	1.882	1.059
2	1.882	1.882	1.882	1.412	1.294	3.176	2.706	2.118	2.118	2.000	706
3	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
4	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
5	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
6	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
7	1.412	1.647	1.647	2.235	2.353	2.353	2.118	1.529	1.412	1.294	1.529
8	1.176	1.412	1.412	2.000	2.471	2.235	1.765	1.294	1.176	1.059	1.647
9	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
10	1.765	1.882	1.882	2.471	3.059	2.588	2.294	1.765	1.529	1.647	2.118
11	1.059	1.176	1.176	1.882	2.588	2.000	1.647	1.176	1.059	1.059	1.765
12	1.647	1.529	1.529	1.529	1.412	2.588	2.353	1.647	1.647	1.529	706
13	1.176	1.294	1.294	1.647	1.647	2.353	2.235	1.529	1.529	1.412	824
14	1.294	1.412	1.412	1.647	1.647	2.353	2.235	1.529	1.529	1.412	824
15	941	1.059	1.059	1.765	1.882	941	706	706	706	824	1.765
16	941	1.059	1.059	1.765	1.882	1.059	824	706	706	824	1.765
17	1.059	1.176	1.176	1.882	2.000	941	706	706	706	824	1.765
18	824	941	941	1.647	1.765	1.176	941	588	588	706	1.647
19	1.059	1.176	1.176	1.882	2.000	941	706	706	706	824	1.765
20	2.118	1.647	1.647	941	824	3.059	2.588	2.000	2.000	2.000	1.059
21	1.765	1.765	1.765	1.882	1.765	2.824	2.706	2.118	2.118	2.000	1.294
22	824	1.647	1.647	2.353	2.588	1.412	1.059	1.176	941	1.294	1.765
23	294	1.412	1.412	1.882	2.118	1.765	1.294	882	588	1.000	1.412
24	1.412	294	294	1.412	1.529	1.647	1.412	1.059	1.176	941	1.412
25	1.412	294	294	1.412	1.529	1.647	1.412	1.059	1.176	941	1.412
26	1.882	1.294	1.294	294	471	2.471	2.059	1.529	1.647	1.412	1.059
27	2.000	1.412	1.412	471	294	2.588	2.176	1.647	1.765	1.529	941
28	2.000	1.765	1.765	2.706	2.941	294	706	1.412	1.412	1.529	2.471
29	1.647	1.529	1.529	2.353	2.588	706	294	1.059	1.059	1.176	2.118
30	941	941	941	1.529	1.647	1.529	1.176	294	529	529	1.647
31	588	1.059	1.059	1.647	1.765	1.529	1.176	529	294	647	1.647
32	824	824	824	1.412	1.529	1.647	1.294	412	647	294	1.647
33	1.765	1.765	1.765	1.294	1.059	2.706	2.471	2.000	2.000	1.882	294

Fuente: Información suministrada por los proveedores del sistema de transporte.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ballou, R. H. (2004). *Administración de Cadenas de Suministro*. Mexico: Perason Educación.
- Carlsson, D., & Ronnqvist, M. (2005). Supply chain management in forestry—case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research* 163, 589-616.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2005). *Administracion de la Producción y Operaciones para un ventaja competitiva*. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Producción y cadena de suministros*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro* . México: Pearson Educación.
- E, A. (2005). Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands. *The Journal of the Operational Research Society*, 453-462.
- Hincapie, H. (21 de Septiembre de 2012). (L. Patiño Valencia, Entrevistador)
- J, F. C., F, P., & M, M. S. (2006). An integrated model for logistics network design. *Annals of operations research*, 59-82.
- Johnson, J. C., Word, D. L., Wardlow, P. R., & Murphy, J. R. (1999). *Contemporary Logistics II*. New York: Simon and Schuster.
- krajewski, I., ritzman, I. P., & malhotra, m. k. (2008). *administración de operaciones* (Vol. 8). mexico: pearson educación.

- Lowe, T. J., Wendell, R. E., & Hu, G. (2002). Screening location strategies to reduce exchange rate risk. *European Journal of Operational Research*, 573-590.
- M, T. M., S, N., & F, S. (2006). Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers & Operations Research* 33, 181-208.
- M, T. M., S, N., & F, S.-d.-G. (2008). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 401-412.
- Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E* 41, 531-550.

