

MODELO DE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO PARA EL SECTOR LÁCTEO COLOMBIANO

Elvira Gómez-Verjel

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Colombia

Arcelio Pérez-Simanca

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Colombia

Martha Sofía Carrillo-Landazábal

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Colombia

Harold Cohen-Padilla

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Colombia

Elvira Gómez-Verjel
Arcelio Pérez-Simancas
Martha Sofía Carrillo-Landazábal
Harold Cohen-Padilla

Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano

Resumen

La presente investigación analiza la gestión de abastecimiento e inventario en la cadena de suministro del sector lácteo en Colombia, con particular énfasis en la región del caribe colombiano. Este sector se encuentra altamente influenciado por los fenómenos y cambios climáticos, tales como las estaciones, sequías e incluso movilizaciones sociales, los cuales inciden negativamente en el flujo continuo o normal de la cadena de abastecimiento (proveedor – transformador – minorista), logrando afectar el cumplimiento de los requerimientos de los clientes. Por ello, se presenta un modelo de optimización que considera las variables más importantes del sistema, los parámetros identificados y las restricciones que detallan el comportamiento de la cadena. Finalmente, se proponen escenarios de mejora.

Palabras clave: Cadena de Suministro, Sector Lácteo, Optimización, Inventarios

Clasificación JEL: C60, C61, C63, C69

Supply chain management model for the Colombian dairy sector

Abstract

This research analyzes the management of inventories and catering in the supply chain of the dairy sector in Colombia, with emphasis in the Colombian Caribbean region. This sector is strongly influenced by the changes of climate conditions such as weather seasons, droughts and even social protests that affect negatively the continuous and normal functioning of the supply chain. In this sense, an optimization model is presented which considers the key variables of the system, parameters and restrictions that determine its behavior. Finally, scenarios for improvement of the system are proposed.

Keywords: Supply chain, dairy sector, optimization, inventories.

JEL Classification: C60, C61, C63, C69

Modèle de gestion de la chaîne d'approvisionnement pour le secteur laitier colombien

Résumé

Cette recherche analyse la gestion des stocks et de la restauration dans la chaîne d'approvisionnement du secteur laitier en Colombie, en particulier dans la région caribéenne de la Colombie. Ce secteur est fortement influencé par les changements de conditions climatiques tels que les saisons météorologiques, les sécheresses et même les manifestations sociales qui affectent négativement le fonctionnement continu et normal de la chaîne d'approvisionnement. En ce sens, un modèle d'optimisation est présenté, qui prend en compte les variables clés du système, les paramètres et les restrictions qui déterminent son comportement. Enfin, des scénarios d'amélioration du système sont proposés.

Mots-clés: Chaîne D'approvisionnement, Secteur Laitier, Optimisation, Inventaires

Nomenclature JEL: C60, C61, C63, C69

Artículo de Investigación

Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recepción de artículo: 28/11/2017
Concepto de evaluación: 29/12/2017
Aceptación de artículo: 22/01/2018

Elvira Gómez-Verjel*

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia

Arcelio Pérez-Simanca

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia

Martha Sofía Carrillo-Landazábal

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia

Harold Cohen-Padilla

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Colombia

INTRODUCCIÓN

El sector agroindustrial en los departamentos de la costa Caribe de Colombia se encuentra dentro de las apuestas productivas de la región a las cuales se les quiere fortalecer cada uno de sus procesos, de acuerdo a lo anterior y a debilidades que se evidencian en las cadenas de suministro, junto con entrada de empresas competitivas, se propone el presente trabajo de investigación el cual tiene como propósito el estudio de la gestión de abastecimiento y distribución en la cadena de suministro del sector lácteo en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre sobre la costa Caribe de Colombia; dado que la cadena se ve afectada por variables como cambios frecuentes en proveedores los cuales no les permite realizar alianzas estratégicas con los mismos, formalización de los procesos que conforman la cadena, cambios climáticos y las alteraciones públicas (paros, marchas, etc.) que inciden negativamente en el flujo continuo o normal de la cadena de suministro (proveedor - transformador - minorista) trayendo como consecuencia el no cumplimiento de los requerimientos del cliente. Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario detallar el comportamiento de la cadena y proponer posibles escenarios de mejora, de tal forma, que se logre mitigar las secuelas ocasionadas por las variaciones, que no permiten el funcionamiento óptimo de esta.

* Autor para correspondencia
Correos electrónicos:

El sector lácteo en los departamentos de la costa Caribe de Colombia presenta proveedores de leche cruda (campesinos), que no cuentan con las herramientas necesarias para que su materia prima sea comprada a un precio justo, las fabricas encargadas de realizar los procedimientos necesarios para tratar este elemento básico de la canasta familiar son pocas y a pesar de que estos ofrecen variedades de este mismo producto no se lleva control de requerimientos, cantidad de producto fabricado, tiempo promedio y los costos asociados a la producción, por tal motivo se hace necesario la gestión logística en los procesos de abastecimiento y distribución de tal manera que contribuyan al mejoramiento de los anteriores aspectos brindando así un factor diferenciador ante cualquier competencia del mercado.

Para efectos de la investigación, la caracterización de la cadena de suministro se realizó tomando como referencia a las empresas Proleca y Frappy fabricantes de productos lácteos y WMA que se dedica a la comercialización de los mismos; todas pertenecientes al sector lácteo de la ciudad de Cartagena. Estas organizaciones, cuentan con diferentes proveedores ubicados a lo largo del departamento de Bolívar y departamentos aledaños para los productos elaborados que son distribuidos a almacenes de cadena, restaurantes, tiendas, entre otros minoristas.

En este estudio se realizó un diagnostico actual de la cadena que permitió comprender el comportamiento de la misma, lo que ayudó a caracterizar los procesos de abastecimiento e inventarios; para ello se consultaron bases de datos manejadas por la Cámara de Comercio de Cartagena. Luego, se determinaron los parámetros y costos de dichos procesos y se procedió a realizar un modelo matemático con la utilización del software GAMS, para generar una solución óptima.

ESTADO DEL ARTE

En la década de los ochenta (1982) la firma consultora Booz Allen & Hamilton y específicamente su consultor Keith Oliver acuñó los vocablos *Supply Chain* durante el desarrollo de una consultoría a un grupo de empresas. Con los vocablos *Supply Chain*, Oliver quiso dar a entender el conjunto de actividades derivadas de las relaciones de las empresas con sus proveedores, es decir sobre el manejo de materias primas e insumos que se adquieren a los proveedores con destino a las plantas (industria) y a las empresas comerciales: manejo de las mercancías, empaque, marcado, embalaje, despacho, cargue, transporte, y descargue en la empresa manufacturera o comercial. El concepto que Keith Oliver acuñó con los vocablos *Supply Chain*, hacía énfasis a las relaciones con los proveedores, *Upstream*, únicamente (Aguas arriba).

Los vocablos *Supply Chain* y *Logistics*, en la práctica, eran sinónimos: una sucesión de actividades que comenzaban en el proveedor y "*Upstream*" del mismo. La mejor traducción en la época era, desde luego, *cadena de suministros o abastecimientos*. Con respecto al origen de los vocablos *Supply Chain*, investigadores postmodernos en las disciplinas *Supply Chain Management* y *Logística*, están de acuerdo en que poco o nada transmiten a la realidad empresarial de hoy, en tanto solo denotan las relaciones con los proveedores *Upstream*, y dejan de un lado las relaciones con los clientes, *Downstream*.

Cuando Keith Oliver acuñó los vocablos *Supply Chain*, la realidad productiva y comercial de la época era lineal, encadenada y las relaciones entre las empresas intervinientes eran exclusivamente comerciales, por tal motivo no existía la complejidad de hoy en día. Hoy los vocablos *Supply Chain* y Logística no son sinónimos (Council of Supply Chain Management Professionals), éstos dos conceptos como disciplinas son entes históricos en constante evolución en donde la logística es una parte del *Supply Chain*, que se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo y el almacenamiento eficiente de los bienes y servicio e información, por otra parte el *supply chain* en la integración de los procesos claves del negocio desde los proveedores primarios hasta el consumidor final. Así mismo el *Supply Chain* NO es una CADENA DE NEGOCIOS CON RELACIONES UNO A UNO, sino una red de múltiples negocios y múltiples relaciones (Lambert & Cooper, 1998), es decir, una Red de Valor, inteligente, compuesta por nodos denominados empresas u organizaciones, pero definitivamente sistemas socio-técnicos o sistemas culturales.

Supply Chain Management hace relación a la gestión de las relaciones que se diseñan y construyen entre la empresa líder, y los nodos de la Red de Valor. Estas relaciones se diseñan en función de las necesidades de los clientes o segmentos de clientes, dado el conocimiento del mercado, el desarrollo de la capacidad de respuesta hacia los clientes, el desarrollo de la capacidad cultural, y la aplicación de un estilo de liderazgo (Feres & Sahid, 2009).

Dentro de la gestión del *Supply Chain* e independientemente a la estructura que se maneje en las empresas se deben tener en cuenta los siguientes procesos estratégicos: administración de las relaciones con el cliente, administración del servicio al cliente, administración de la demanda, gestión de la orden. (*Order fulfillment*), administración del flujo de manufactura, administración de las relaciones con el proveedor, administración del diseño y desarrollo de nuevos productos y servicios y administración del retorno.

Así mismo dentro de todo el proceso de la gestión del *Supply Chain* se encuentra la logística, la cual ha existido desde tiempo remotos, pero tal y como se conoce actualmente tiene su reconocimiento en el campo militar, como encargada del movimiento y avituallamiento de las tropas en campaña. Muchas guerras han sido ganadas o perdidas por culpa de la logística. Por ejemplo en la II Guerra Mundial, la logística jugó un papel fundamental. Desde los orígenes de la logística en el campo militar, esta ha vivido cambios importantes en cuanto a su definición y la consideración de las actividades que abarca.

Desde hace pocas décadas la logística empieza a tomarse en consideración como disciplina empresarial. Hay que remontarse a 1961 (Smykay et al., 1961) para poder hablar del primer libro que sugiere la posibilidad de alcanzar beneficios a través de la gestión de una parte de la logística (la distribución física) Drucker hizo una importante aportación en “pro” del avance de la logística mediante la publicación de un artículo en 1962, titulado “*The Economy’s Dark Continent*” (Drucker, 1962). En ese artículo decía “que la distribución’ es la última frontera del negocio” y que “había mucho trabajo por hacer en esta materia”.

Entre las primeras definiciones de logística se encuentra: “enfoque global para la gestión de todas las actividades relacionadas con la adquisición, movimiento y almacenaje de materias primas, productos intermedios y productos terminados desde el punto de origen

hasta el de uso o consumo” (La Londe, Grabner y Robson, 1970) y “gestión de todas las actividades que facilitan el movimiento y coordinación de la oferta y la demanda para dotar a los productos de utilidad de lugar y en el tiempo” (Heskett et al., 1973).

Donald Bowersox (1979) menciona que logística es “la aplicación del enfoque en sistema en la solución de los problemas de suministro y distribución de las empresas”. Towards Total Logistical Management. The European Logistics Association (1991), define la logística como: “...la organización, planificación, control y ejecución del flujo de bienes desde el aprovisionamiento, pasando por la producción y la distribución, hasta el cliente final con el fin de satisfacer los requerimientos del mercado al mínimo coste y con la mínima inversión” .

Así mismo Sahid C. (1998) dice que es “una disciplina que tiene como misión diseñar, perfeccionar y gestionar un sistema capaz de integrar y cohesionar todos los procesos internos y externos de una organización, mediante la provisión y gestión de los flujos de energía, materia e información, para hacerla viable y más competitiva, y en últimas satisfacer las necesidades del consumidor final”.

Por otro lado Douglas M. Lambert, M. Cooper, J. D. Pagh. (1998) mencionan ya un enfoque mas integrado en el cual relacionan a la logística como “La parte de la gestión de la cadena de suministro (Supply Chain Management, SCM) que planifica, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales y el almacenamiento de productos, así como la información asociada desde el punto de origen hasta el de consumo, con el objeto de satisfacer las necesidades de los clientes”.

Ronald H. Ballou. (1999), lo enfoca a “todo movimiento y almacenamiento que facilite el flujo de productos desde el punto de compra de los materiales hasta el punto de consumo, así como los flujos de información que se ponen en marcha, con el fin de dar al consumidor el nivel de servicio adecuado a un costo razonable”. Julio Anaya. (2000) comprende como “el control del flujo de materiales desde la fuente de aprovisionamiento hasta situar el producto en el punto de venta de acuerdo con los requerimientos del cliente”.

Charles Lamb, Joseph Hair y Carl McDaniel. (2002) mencionan que es “el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo. M.I. Gómez Acosta, J.A. Acevedo Suárez. (2007) la define como “la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño y dirección de los flujos material, informativo y financiero, desde sus fuentes de origen hasta sus destinos finales, que deben ejecutarse de forma racional y coordinada con el objetivo de proveer al cliente los productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos y lugar demandados con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente”.

The Council of Logistics Management define la logística como: “...el proceso de planificar, implementar y controlar, de una manera eficiente, el flujo de materias primas, inventarios en curso, productos terminados, servicios e información relacionada, desde el punto de

origen al punto de consumo, con el fin de satisfacer las necesidades del cliente” (CSCMP (antiguo CLM), 2007).

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR LÁCTEO A PARTIR DE INFERENCIAS DE LA CIUDAD DE CARTAGENA

Para llevar a cabo la caracterización del sector, se optó por recurrir a bases de datos pertenecientes a la Cámara de Comercio de Cartagena, debido a que es aquí, donde se encuentran registradas aquellas empresas y microempresas dedicadas al procesamiento o transformación de la leche cruda; de acuerdo a la información suministrada por la CC, en la ciudad se cuenta con un total de 13, pero, luego de realizar las salidas de campo, se evidenció que de estas, solo 4 (Proleca, Coolechera, WMA y Frappy) conservaban su razón de ser (fabricación de derivados de productos lácteos). Por lo anterior el estudio se realizó con tres de las cuatro empresas, teniendo en cuenta que fueron las que suministraron información. (Ver Figura 1)

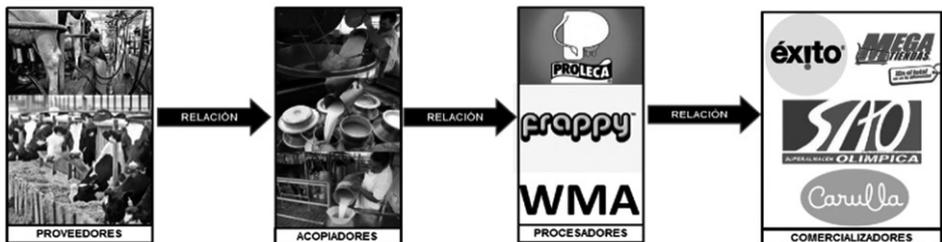


Figura 1. Cadena sector lácteo en Cartagena

La cadena de abastecimiento del sector lácteo, está encabezada por las fincas ganaderas, son estas quienes juegan el rol de proveedores, se encargan de suministrar la materia prima requerida por las empresas procesadoras, en este caso, hablamos de leche cruda; en segundo lugar, están los centros de acopio, es aquí donde se almacena y reúne toda la leche que proviene de los proveedores y cuyo destino son las empresas dedicadas a la manipulación de este tipo de materia prima; en el tercer eslabón, encontramos a las empresas procesadoras, que se encargan de transformar la leche cruda en variedad de productos derivados, tales como, arequipe, yogur, mantequilla, lacto suero, entre otros.

El cuarto eslabón dentro de la cadena, lo ocupan las empresas comercializadoras entre las que se encuentran almacenes Éxito, Carulla, Megatiendas, Olímpica, éstas, son el puente entre las empresas transformadoras y los clientes o consumidores finales, cabe aclarar, que este tipo de organizaciones, se encargan de vender o comercializar no solo derivados lácteos, sino, variedad de productos (aseo, frutas, verduras, entre otras).

PROVEEDORES

Los proveedores, se encuentran ubicados a lo largo y ancho del departamento de Bolívar, su actividad principal, es la extracción y recolección de leche cruda a través de la técnica

del ordeño, la leche recolectada, es envasada en cántaros o recipientes de aluminio y luego es transportada (Ver Figura 2).

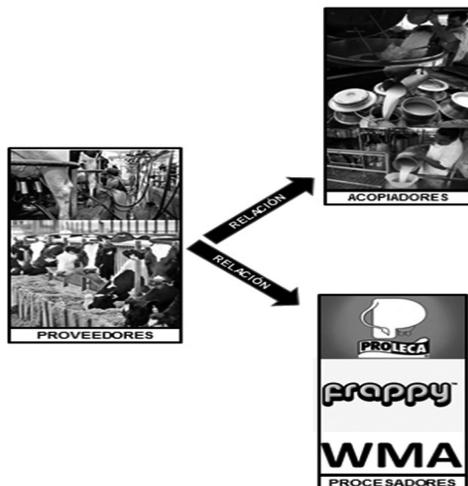


Figura 2. Transporte de leche cruda

En la Figura 2 se puede apreciar que, luego de envasar la leche cruda en los recipientes, esta es enviada a dos posibles lugares de destino, dependiendo de cual empresa será surtida, el primero es a un centro de acopio en donde se almacena y refrigera hasta completar el lote y luego es enviada a la empresa que hizo el pedido; el segundo destino, es directamente a la empresa que realizó el requerimiento (empresas transformadoras).

Proleca S.A.S., cuenta con un gran número de proveedores, entre los 16 a 30, cantidad que varía mensualmente, ya que no se manejan contratos fijos con los mismos, estos, están situados a lo largo del departamento de Bolívar, en lugares como El Carmen, Magangué, San Jacinto, San Juan y San Pedro (Antioquia), entre otros, quienes diariamente suministran leche cruda. La empresa no tiene un contrato fijo con los proveedores, si no que estos, le hacen envío de materia prima, cada vez que pueden, razón por la cual, constantemente cambia de proveedores.

La microempresa WMA cuenta con tres proveedores que son fijos, estos están ubicados en Apure y Plato (Magdalena), semanalmente suministran 500 kilogramos de queso costeño cada uno, para un total de 1.500 kilogramos; los pedidos a estos proveedores se realizan cada semana y el tiempo de respuesta es de un día, la relación que actualmente tiene WMA con quienes suministran la materia prima es buena.

En el caso de Frappy, cuenta con dos proveedores, estos son Colanta y Alpina, ubicados en Barranquilla, Atlántico, mensualmente cada uno envía 100 litros de leche cruda y 100 litros de crema de leche a las instalaciones de esta empresa; la relación que actualmente se tiene con estos proveedores es excelente, razón por la cual manejan un contrato fijo. (Ver Figura 3)

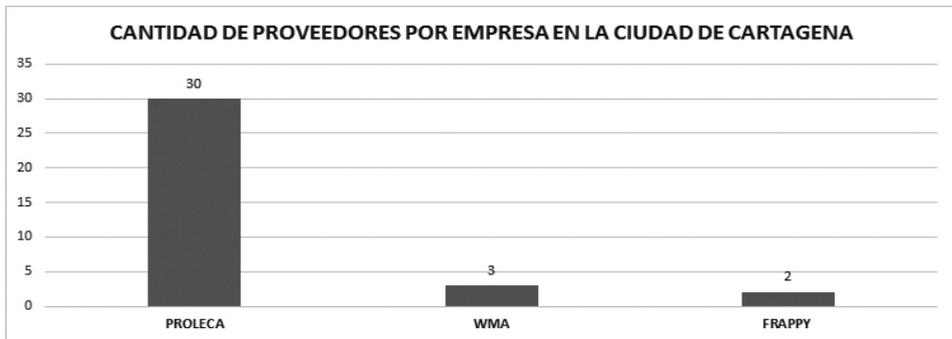


Figura 3. Cantidad de proveedores por empresa en la ciudad de Cartagena

CENTROS DE ACOPIO

La función principal de los centros de acopio, es la de almacenar y mantener en condiciones óptimas (temperatura, presión, higiene, etc.) la leche cruda que es suministrada por los proveedores hasta que se complete el lote o pedido que será enviado, de acuerdo al volumen requerido por el cliente. Antes de almacenar la leche es inspeccionada, con la finalidad de determinar el estado fisicoquímico de la misma, es decir, se realiza una evaluación del PH y se dictamina si es o no adecuada para la elaboración de ciertos productos. Si el PH está por encima del establecido, la materia prima es utilizada para la elaboración de lacto suero y quesos, si está en el rango establecido, se utiliza para la fabricación de yogur, arequipe, entre otros.

En el caso de las empresas que conforman el sector, en la ciudad de Cartagena, solo Proleca S.A.S, cuenta con centro de acopio, ubicado en Magangué (Bolívar); cuando el lote requerido por la empresa es completado, se transporta en un camión tipo Cisterna hasta las instalaciones de la empresa, en donde se almacena y se utiliza para la fabricación de los diferentes tipos de productos (Figura 4.).



Figura 4. Flujo de abastecimiento desde el centro de acopio hasta Proleca

Las microempresas WMA y Frappy, no cuentan con un centro de acopio, sino que, la materia prima que es requerida, es transportada directamente desde los proveedores hasta las instalaciones de trabajo, más específicamente, al área de almacenamiento, donde es realizada una inspección, con la finalidad de determinar si el producto es apto o no para

la elaboración de productos; en el caso de la microempresa WMA, se hace una inspección al queso, para así verificar si está o no en las mejores condiciones para su comercialización.

EMPRESAS PROCESADORAS

Según la Cámara de Comercio de Cartagena, para el año 2016 había un total de 13 empresas que pertenecen al sector lácteo, es decir, empresas que se dedican a la transformación o comercialización de leche en sus derivados.

De las 13 empresas anteriormente mencionadas, solo 4 conservan su razón de ser, las restantes, no se dedican a la manipulación de derivados lácteos. A continuación, se listan las empresas registradas en la Cámara de Comercio de Cartagena.

- Proleca S.A.S.
- Frappy
- WMA
- Coolechera: empresa que actualmente se encuentra ubicada en la ciudad de Cartagena, pero no está registrada ante la Cámara de Comercio de Cartagena.

Dentro del proceso de trabajo para la presente investigación solo se trabajó con las tres primeras, teniendo en cuenta que fueron quienes facilitaron la información.

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL APROVISIONAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El modelo propuesto en el presente proyecto representa un esquema matemático que contempla la cadena de suministro estudiada a lo largo de la investigación, la cual tiene la función de simular el comportamiento de la producción y distribución de la leche en los centros productores ubicados a lo largo de los 143 municipios de los 5 departamentos de la costa Caribe de Colombia, los cuales representan a los minoristas y mayoristas productores de leche. Este modelo representa la generalización de los casos de Proleca S.A.S., WMA y Frappy, dado que sirven de insumo para la estimación de los parámetros que son usados dentro de la simulación del modelo de optimización para la toma de decisiones en un contexto logístico. A continuación se describen cada una de las etapas en el diseño del modelo de optimización:

Contextualización del modelo de producción y distribución de la leche en la costa Caribe.

La producción y distribución de la leche se modela bajo un modelo matemático de tipo lineal entero considerando los siguientes puntos:

Los centros productores de leche son considerados como los 143 municipios de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre.

Se considera la creación de un centro de almacenamiento y distribución de la leche donde se garantice cada una de las propiedades antes de ser enviadas a las fábricas, donde será procesada finalmente.

Una vez el producto se almacena y se verifican las condiciones de calidad, es enviado hacia las fábricas y finalmente a los clientes ubicados en las ciudades capitales de cada departamento.

Los costos del modelo de optimización están directamente relacionado con las distancias en kilómetros y tiempos de transportación.

La relación entre las fábricas y los centros de acopios son de tipo *crossdocking*.

Ahora bien, teniendo en cuenta estos puntos, se desarrolla un modelo de programación lineal entera mixta, debido a que sus variables son un juego de valores discretos y continuos, así mismo variables binarias que ayudan a desarrollar procesos de toma de decisiones.

SUPUESTOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LA LECHE.

El modelo presentado en este proyecto de investigación es delimitado con el ánimo de obtener una solución controlable dentro de los parámetros de la realidad y la información recolectada de la siguiente forma:

La cadena de suministro es operada desde las fincas productoras de leche hasta cada una de las capitales de los departamentos de la costa Caribe de Colombia.

Se asume una capacidad de 30 toneladas para cada uno de los vehículos dentro de la cadena de suministro, siendo 30 la capacidad máxima que se puede encontrar en un camión que transporta leche en la costa Caribe.

Se asume que las fábricas y los centros de acopia puedan ubicarse en cualquiera de los 143 municipios de la costa Caribe de Colombia.

La velocidad máxima de transporte será de 80 km/hora y la tarifa por hora en movimiento será de \$300.000¹.

La capacidad de producción de cada municipio es estimada a partir de la demanda del departamento y distribuida de mayor a menor porcentaje de participación.

FORMULACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LECHE EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA.

La formulación del modelo matemático obedece a la representación de la cadena de suministro de leche en la costa Caribe colombiana, solo se considera el flujo directo del producto sin contemplar procesos de transformación al interior de las fábricas. A continuación, se presenta la descripción de conjuntos, parámetros, variables y ecuaciones a utilizar en la formulación del modelo. Las cuales se presentan en las Tablas 1, 2 y 3 (conjuntos parámetros y variables).

¹ Datos estimados a partir de los costos por movilización y por tiempos logísticos del Ministerio de Transporte de Colombia, 2015.

Conjuntos

Tabla 1. Descripción de conjuntos

Denominación del conjunto	Descripción de los elementos
I	Municipios donde se desarrollan las actividades de recolección de leche a partir del ganado y que se constituyen como los 143 municipios de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre sobre la costa Caribe de Colombia.
J	Centros de acopio y distribución de leche hacia las fábricas y que pueden ser ubicados sobre los municipios de la costa Caribe de Colombia.
K	Nuevas fábricas de procesamiento que el modelo puede ubicar en los municipios de la costa Caribe colombiana.
L	Ciudades capitales de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre sobre la costa Caribe de Colombia. donde se encuentran los clientes minoristas y mayoristas de leche.
V	Camiones asignados a la logística de distribución de leche a lo largo de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre sobre la costa Caribe de Colombia.

Parámetros

Tabla 2. Descripción de parámetros

Parámetros	Descripción de los elementos
$d1(i,j)$	Distancia en kilómetros desde las fincas hasta los centros de acopio y distribución.
$d2(j,k)$	Distancia en kilómetros desde los centros de acopio y distribución hasta las fabricas procesadoras de leche
$d4(k,l)$	Distancia en kilómetros desde las fábricas hasta los mercados minoristas y mayoristas de leche en las capitales de los departamentos de la costa Caribe de Colombia.
capacidad fincas(i)	Capacidad de producción en toneladas de leche de los fincas
Cap acopio(j)	Capacidad en Tn de los centros de acopio y distribución de leche
Cap fabrica(k)	Capacidad de procesamiento en Tn de leche de las fábricas
demanda(l)	Demanda en Tn de los centro de acopio en cada una de las ciudades declaradas
capvehiculo(v)	Capacidad de transporte del vehículo v a lo largo de la red
cargaminima(v)	Números de viajes mínimos a realizar como condición de factibilidad
velockmporhora	Tasa de velocidad en carretera de 0.0125 horas por kilómetro tomado como el equivalente a 80 km/hora.
costoporhora/	\$300,000 equivalente al costo por hora en carretera, de acuerdo a los costos por movilización y por tiempos logísticos establecidos por el Ministerio de Transporte en el año 2015.

Variables

Tabla 3. Descripción de variables de decisión

Variables	Descripción de las variables
$x1(i,j,v)$	Cantidad de Tn de leche a transportar desde las fincas hasta los centros de acopio y distribución j con el vehículo v
$x2(j,k,v)$	Cantidad de Tn de leche a transportar desde los centros de acopio y distribución a las fábricas
$x4(k,l,v)$	Cantidad de Tn de leche a transportar desde las fábricas hasta las centrales mayoristas en las ciudades capitales de la costaCaribe de Colombia
$vc1(i,j,v)$	Cantidad de viajes a programar desde las fincas hasta los centros de acopio y distribución j con el vehículo v
$vc2(j,k,v)$	Cantidad de viajes a programar desde los centros de acopio y distribución a las fábricas
$vc4(k,l,v)$	Cantidad de viajes a programar desde las fábricas hasta las centrales mayoristas en las ciudades capitales de la costa Caribe de Colombia
$y1(i,j,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde las fincas hasta los centros de acopio y distribución j con el vehículo v
$y2(j,k,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde los centros de acopio y distribución a las fábricas
$y4(k,l,v)$	Variable de decisión para escoger la ruta desde las fábricas hasta las centrales mayoristas en las ciudades capitales de la costa Caribe de Colombia

Función objetivo

Minimizar costos logísticos de la cadena

de leche en la costa caribe = $\sum_i \sum_j \sum_v x1_{ijv} * d_{ij} * velockmporhora * costoporhora$

+

$\sum_j \sum_k \sum_v x2_{jkv} * d_{jk} * velockmporhora * costoporhora$

+

$\sum_k \sum_l \sum_v x4_{klv} * d_{kl} * velockmporhora * costoporhora$
 $\forall i, \dots, I, j, \dots, J, k, \dots, K, l, \dots, L, v, \dots, V$

s.a.

Restricciones

$$\sum_i \sum_i vc1_{ijv} + \sum_j \sum_k vc2_{jkv} + \sum_j \sum_l vc4_{klv} \leq viajesmaximo_v, \forall v$$

$$\sum_j \sum_v x1_{ijv} = capacidadfincas_i \quad \forall i$$

$$\sum_i \sum_v x1_{ijv} \leq capacopio_j \quad \forall j$$

$$\sum_i \sum_v x1_{ijv} = \sum_k \sum_v x2_{jkv} \quad \forall j$$

$$\sum_j \sum_v x2_{jkv} = \sum_l \sum_v x4_{klv} \quad \forall j$$

$$\sum_j \sum_v x2_{jkv} \leq capfabricas_k \quad \forall k$$

$$\sum_k \sum_v x4_{klv} \leq demanda_l \quad \forall l$$

$$x1_{ijv} \leq capvehiculo_v * vc1_{ijv}$$

$$x2_{jkv} \leq capvehiculo_v * vc2_{jkv}$$

$$x4_{klv} \leq capvehiculo_v * vc3_{klv}$$

$$x1_{ijv} \leq 1000 * y1_{ijv}$$

$$x2_{jkv} \leq 1000 * y2_{jkv}$$

$$x4_{klv} \leq 1000 * y4_{klv}$$

$$\sum_i \sum_j x1_{ijv} = \sum_i \sum_j cargaminima_v * vc1_{ijv}$$

$$\sum_j \sum_k x2_{jkv} = \sum_j \sum_k cargaminima_v * vc2_{jkv}$$

$$\sum_k \sum_l x4_{klv} = \sum_k \sum_l cargaminima_v * vc4_{klv}$$

$$x1_{ijv}, x2_{jkv}, x3_{jlv}, x4_{klv}, vc1_{ijv}, \\ vc2_{jkv}, vc3_{jlv}, vc4_{klv} \geq 0$$

$$0 \leq y1_{ijv}, y2_{jkv}, y3_{jlv}, y4_{klv} \leq 1$$

Análisis de las ecuaciones planteadas en el modelo

La función objetivo de costos de transporte permite la cuantificación de los costos incurridos por la planificación de los viajes a realizar desde las fincas hasta los clientes mayoristas, teniendo en cuenta las distancias en km y costos por horas, que son estimados de acuerdo a los costos de movilización y tiempos logísticos declarados por el Ministerio de Transporte de Colombia.

Cabe resaltar que las distancias de las matrices fueron declaradas en los parámetros d_{ij} , d_{jk} , d_{kl} son calculadas mediante la estimación de las distancias en kilómetros con el aplicativo online de Google Maps entre los 143 municipios de los departamentos de la costa Caribe de Colombia.

Las ecuaciones (3) y (4) garantizan que los envíos de leche desde las fincas sean los mismos que sean enviados a los centros de acopio y distribución teniendo en cuenta la capacidad de cada uno de ellos.

Las ecuaciones (5), (6), (7) y (8) garantizan que las cantidades leche cosechada en las fincas sean las mismas que lleguen a los clientes, pasando por los centros de acopio y fábricas

Las restricciones (9), (10) y (11) garantizan que las toneladas enviadas a los centros de acopio y distribución j , fábricas k y centrales mayoristas l , no deberán exceder la capacidad en toneladas de cada vehículo v .

Las restricciones (12), (13), (14) garantizan que si se asigna la ruta de transporte de acuerdo a las variables binarias $y_{1_{ijv}}$, $y_{2_{jkv}}$, $y_{3_{jlv}}$ y $y_{4_{klv}}$ declaradas en el modelo, se deberá enviar toneladas de leche, para garantizar la disminución de los costos en términos de dinero y tiempo.

Las restricciones (15), (16) y (17) controlan el movimiento de mercancía de cada camión de acuerdo a la oferta y demanda de la cadena logística, para que se pueda hacer buen uso de la mínima carga que se puede mover de un lugar a otro, y así gestionar mejor los costos de transporte.

La restricción 18 representa las condiciones de no negatividad y la declaración de variables binarias.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

El modelo es ejecutado en el software GAMS (General Algebraic Modeling System) versión 23.6, por el servidor CPLEX de IBM en 0.010 segundos, permitiendo al algoritmo matemático tomar decisiones sobre las rutas y cantidades de T_n a enviar.

De los resultados del modelo se puede observar las cantidades a transportar por cada camión en cada etapa de la cadena de suministro y que se detallan a continuación (Ver Fig. 5, 6, 7)

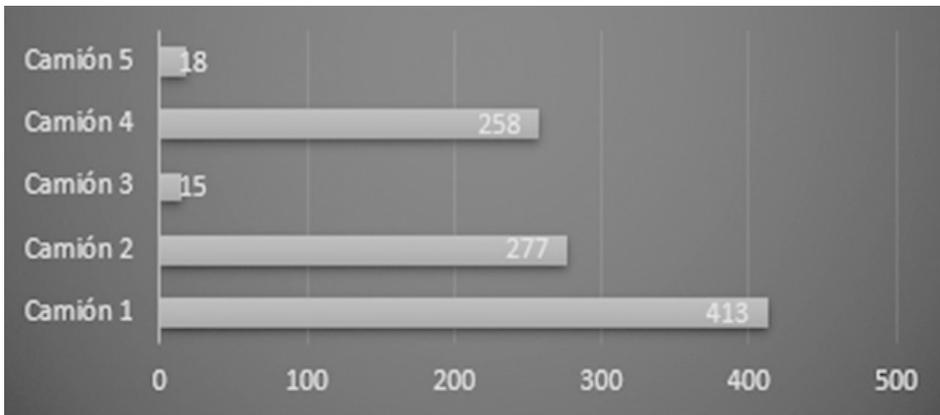


Figura 5. Camiones vs. Tn a transportar desde los fincas hasta los centros de acopios.

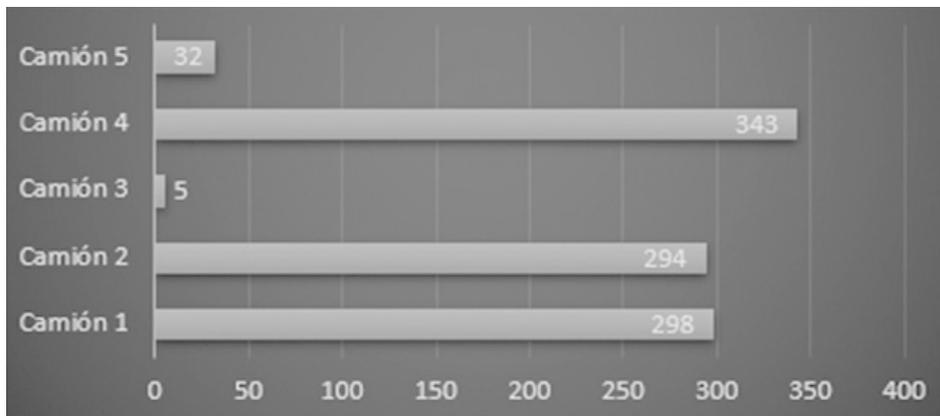


Fig. 6 Camiones vs. Tn a transportar desde los centros de acopio y distribución hasta las fábricas

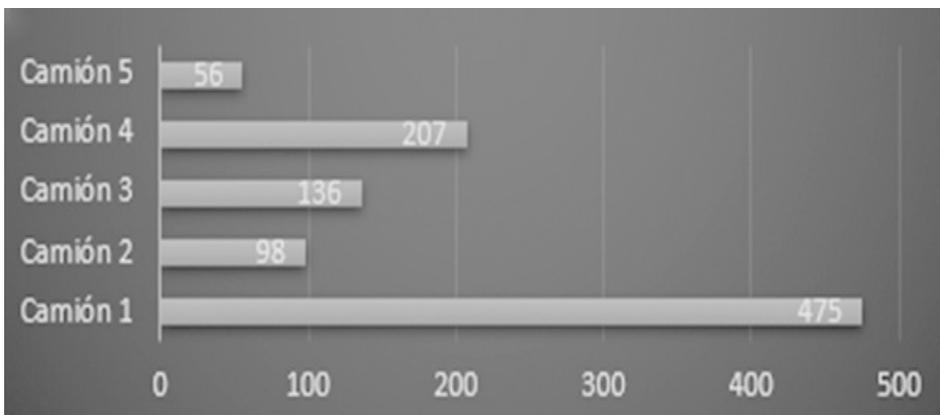


Fig. 7 Camiones vs. Tn a transportar desde las fábricas hasta las centrales mayoristas.

El modelo permite tomar la decisión de envío de leche alrededor de los 143 municipios que albergan los 5 departamentos de la costa Caribe de Colombia logrando mover al mes las toneladas que se relacionan a continuación: (Ver Tabla 4.)

Tabla 4. Relación de movimiento de toneladas de leche e ingresos generados

ORIGEN	DESTINO	TN A TRANSPORTADORA	VENTAS POR LITRO DE LECHE
Cultivos	Centros de acopio	981	\$ 2,452,500,000.00
Centros de acopio	Fábricas	972	\$ 2,430,000,000.00
Fábricas	Centrales mayoristas	972	\$ 2,430,000,000.00

Lo anterior muestra que el modelo es capaz de mover a lo largo de la cadena de suministro las cantidades producidas de leche en las fincas de los departamentos de la costa Caribe de Colombia con un porcentaje de cumplimiento de la relación oferta – demanda del 99.08%², generando ventas alrededor de \$2,430,000,000.00 mensuales y al optimizar la ruta de los camiones alrededor de la red se podría llegar a gastar apropiadamente \$370,910,000.00, lo cual representaría un 15,26% de las ventas totales, tal como lo muestran los resultados de la función objetivo que se relacionan a continuación:

```

                LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL
---- VAR costosLAC~   -INF  3.7091E+8   +INF      .

costosLACTEOS  funcion objetivo del sistema

**** REPORT SUMMARY :          0    NONOPT
                                0    INFEASIBLE
                                0    UNBOUNDED

GAMS Rev 236 WEX-WEI 23.6.5 x86_64/MS Windows      03/24/17 02:04:56 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution
    
```

Fig. 8 Resultados del modelo de optimización en su función objetivo

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación en cuanto al proceso de caracterización desarrollado en un departamento que se tomó como referencia, se evidencia que el sector lácteo presenta necesidad de procesos de integración en los diferentes actores, como lo evidenciado con algunas empresas las cuales manejan relaciones a corto plazo con sus proveedores, no permitiendo que se estructuren relaciones de colaboración y cooperación entre ambas partes.

² División porcentual para el cálculo del cumplimiento de la relación oferta–demanda de la forma $971 / 982 = 0.9908$

Por otro lado se encuentra en este departamento que solo existe una empresa que maneja centros de acopio dentro de su cadena de suministro, lo cual se presenta como una necesidad, pues el que existan procesos de integración podría facilitar la creación de un centro de acopio compartido entre diferentes actores, para minimizar costos en el proceso.

Por último se diseñó un modelo de optimización enfocado a la gestión de aprovisionamiento y distribución en la cadena de suministro del sector lácteo, el cual permitió el movimiento de los 143 municipios que albergan los 5 departamentos, así mismo definirá las cantidades óptimas a transportar entre los diferentes actores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen a los estudiantes Erika Alvarado Madrid y Néstor Romero Osorio del programa de Ingeniería Industrial de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco por la participación en la recolección de información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronet. 2016.. Estadísticas de área, producción y rendimiento por cultivo. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. Con acceso: 31-08- 2016.
- Anaya T. Julio. 2000. Logística integral: La gestión operativa de la empresa. Escuela Española de Logística.
- Amézquita J., Vergara J. y Maza F. 2007. Modelamiento de cadenas agroindustriales mediante simulación de redes. Universidad de Cartagena. En: <https://juancarlosvergaras.files.wordpress.com/2013/04/libro-cadenas.pdf> .
- Ballau, Ronald. Logística, administración de la cadena de suministro. Quinta edición. México: Pearson, 2004.8p.
- Camacho M. 2015. Modelo de cadena colaborativa en el sector agrícola colombiano. Tesis de Maestría en Gerencia de Operaciones. Universidad de La Sabana.
- Donald Bowersox (1979) Towards Total Logistical Management.
- D.R. Towill, M.M. Naim, J. Wikner, (1992) "Industrial Dynamics Simulation Models in the Design of Supply Chains", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 22 Iss: 5, pp.3 - 13.
- Douglas M. Lambert, M. Cooper, J. D. Pagh, (1998.)Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities, The International Journal of Logistics Management. 9, (2). pp. 1-19.
- Feres, E., & Sahid, C. (2009). Supply Chain Management y Logística: de cadenas a Redes Adaptativas. CIATI. Bogotá D.C. Colombia.

Manzini, R. & Accorsi, R. 2013. The new conceptual framework for food supply chain assessment. *Journal of*

Otero Pinedo, María. Diseño de una propuesta de gestión de abastecimiento de inventario para un astillero en Colombia. Bogotá, 2012, 30p, Trabajo de grado (Magíster en Ingeniería Industrial). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

Plan regional de competitividad del Departamento de Bolívar 2008-2032.

Para citaciones:

Gómez, E., Pérez, A., Carrillo, M. y Cohen H. (2018). Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano. *Panorama Económico*, 26(2), 187-206.

AUTORES

Elvira Gómez-Verjel

Arcelio Pérez-Simanca

Martha Sofía Carrillo-Landazábal

Harold Cohen-Padilla

