



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Guzmán-Camacho, César H.; Salazar-Sanabria, Hugo F.; Adarme-Jaimes, Wilson  
Coordinating inventory in collecting raw milk. Case Region Sugamuxi – Colombia  
Dyna, vol. 81, núm. 186, agosto, 2014, pp. 259-266

Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631663033>

- ▶ How to cite
- ▶ Complete issue
- ▶ More information about this article
- ▶ Journal's homepage in redalyc.org

## Coordinating inventory in collecting raw milk. Case Region Sugamuxi – Colombia

César H. Guzmán-Camacho <sup>a</sup>, Hugo F. Salazar-Sanabria <sup>b</sup> & Wilson Adarme-Jaimes <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Sab Miller Bavaria, Colombia. chguzmac@unal.edu.co*

<sup>b</sup> *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC Seccional Sogamoso, Colombia. hfsalazar@hotmail.com*

<sup>c</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Colombia. wadarmej@unal.edu.co*

Received: May 12th, 2014. Received in revised form: July 1th, 2014. Accepted: July 28th, 2014

### Abstract

This work is based on the principles of Supply Chain Management, the relationship between two nodes belonging to the milk production chain in Sugamuxi (Boyacá, Colombia), and a supply policy determination from an inventory coordination methodology in which, the node with more negotiation power, i.e. the group of store centers, will be responsible for managing the inventory levels of the other node (the producers) in order to minimize the total operative cost. It is possible to assess that there exists an opportunity to improve the global performance of this supply chain, by means of the VMI (*Vendor Management Inventory*) principles and the changes included by Yao's model [1]; with the purpose of getting a decrease in the system's total cost.

**Keywords:** Sugamuxi, inventories cooordination, logistics, supply chain, fresh milk.

## Coordinación de inventarios en la recolección de leche cruda. Caso región Sugamuxi - Colombia

### Resumen

El presente trabajo se aborda desde los principios de la administración de la cadena de suministro, la relación entre dos nodos de la cadena de producción de leche fresca de la provincia de Sugamuxi (Boyacá, Colombia) y la determinación de una política de abastecimiento a partir de una metodología de coordinación de inventarios, en la que el nodo con mayor poder de negociación, que para el caso en estudio corresponde a la agrupación de los centros de acopio; se responsabiliza de administrar los inventarios del otro nodo (los productores) con el fin de lograr la minimización de los costos totales de la operación. Es posible afirmar que existe una oportunidad de mejora del desempeño global de la cadena de suministro, haciendo uso de los principios del VMI (*Vendor Management Inventory*) y de las adaptaciones que incluye el modelo de Yao [1], con el objeto de lograr una disminución en el costo total del sistema.

**Palabras Clave:** Sugamuxi, coordinación de inventarios, logística, cadena de suministro, leche fresca

### 1. Introducción

Las MIPYMES (Micro, pequeñas y medianas empresas) en Colombia, como entidades generadoras de empleo y riqueza, han permitido el desarrollo de miles de emprendedores en el país, garantizando sin duda alguna una contribución al desarrollo económico de la nación. De acuerdo con estudios hechos por entidades como el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MinCIT) y las Cámaras de Comercio regionales, se sabe que éstas representan un potencial importante de innovación y adaptación a nuevas tecnologías, así como también la oportunidad de generar modelos competitivos sostenibles y

sustentables acordes con la realidad económica en las cuales están inmersos. En general, el modelo económico de la MIPYME brinda la posibilidad de acomodarse a cambios repentinos en la demanda de productos, así como la facilidad de agruparse en clústeres para generar economías de escala y poder además, ubicarse en diferentes sectores productivos según le sea más rentable. En este sentido, las MIPYMES permiten que, con base en un estudio formal, se pueda generar valor en cuanto se puede llegar a corregir prácticas poco óptimas para su labor e incluso plantear nuevas formas de visualizar el negocio tanto desde el punto de vista estratégico como táctico operativo.

Tabla 1.

Identificación de las cuatro regiones de producción de leche fresca en Colombia.

Región 1	Región 3	Región 4
Boyacá	Atlántico	Valle
Cundinamarca	Guajira	Tolima
Región 2	Magdalena	Cauca
Chocó	Sucre	Huila
Antioquia	Cesar N. Santander	Nariño
Caldas	Córdoba	Putumayo
Risaralda	Bolívar	Arauca
Quindío	Santander	Casanare
	Caquetá	Meta
		Vichada
		Guaviare
		Guainía
		Vaupés
		Amazonas

Fuente: FEDEGAN [3]

Colombia es el cuarto productor de leche en América Latina, con un volumen de 6.500 millones de litros al año [2]. A nivel nacional, alrededor de 473.000 pequeñas empresas se dedican exclusivamente al sector lácteo y en su mayoría son catalogadas como pequeños productores [3], lo que puede causar que la producción anual de leche se comercialice por canales informales, cerrando las puertas a futuras oportunidades de desarrollo e inversión. De acuerdo con FEDEGAN [3], de la producción de leche anual, la industria forma la copia tan sólo el 46,6% de la producción.

Colombia se divide en cuatro regiones de producción de leche a nivel nacional (FEDEGAN) como puede apreciarse en la Tabla 1, para efectos de la evaluación.

Cada región provee leche de diferentes propiedades, calidades y en volúmenes variados, siendo la región con mayor producción la región 1, compuesta por los departamentos de Boyacá y Cundinamarca y comúnmente llamada el altiplano cundiboyacense. Si se desea que un conjunto de protocolos y de buenas prácticas mejoren el desempeño global del sector lácteo en Colombia, la región 1 es el escenario más adecuado para realizar un estudio piloto, ya que, siendo la principal aporte de leche en el país; es aquella con mayor cantidad de retos. He ahí la motivación mediante la cual se seleccionó la provincia de Sugamuxi para el desarrollo del estudio, ya que, Sugamuxi es una de las 13 provincias de Boyacá y se destaca por ser la de mayor contribución en la producción de leche, con un 15,38% de la leche que produce Boyacá diariamente, correspondiente a un 1,64% del volumen diario de producción de leche en toda Colombia, según la Unidad Regional de Planeación Agropecuaria [3].

En aras de incentivar el desarrollo del sector lácteo en Colombia, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Protección Social, el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), Colciencias y el DNP (Departamento Nacional de Planeación), desarrollaron la Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo en Colombia, identificando allí como principal problemática la baja competitividad reflejada en la baja

productividad, altos costos de producción en finca, bajo nivel de asociatividad y especialización de la cadena, informalidad de la comercialización e insuficiencia en capacidad de transformación [4].

En este contexto, la aproximación a los pequeños productores y a los primeros eslabones de la cadena de suministro de productos lácteos se presenta como una oportunidad de intervención que abre las puertas a investigadores interesados en aportar a la productividad y a la competitividad de las MIPYMES que componen el sector.

De este modo, la investigación mostró que es posible reducir los costos logísticos de la red de acopio distribución de leche cruda mediante políticas de coordinación de inventarios entre el productor primario y centros de acopio. Para ello, se propone como principal objetivo diseñar una metodología para la adopción de un modelo de coordinación de inventarios en la cadena de distribución de alimentos perecederos del sector lácteo de la provincia de Sugamuxi, por medio de diferentes técnicas, herramientas, modos y medios de operación que incluyan modelos matemáticos y heurísticas acorde con la situación evaluada.

Como resultados específicos del desarrollo de la investigación financiada por Colciencias a través del grupo de investigación SEPRO –Universidad Nacional de Colombia, con el apoyo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Seccional Sogamoso, se tiene como hechos relevantes: la caracterización de la red de suministro de leche fresca, la determinación de parámetros, variables y sus relaciones que soportan la utilización de un modelo VMI (Vendor Management Inventory) dentro del proceso metodológico para la cadena de suministro de estudio, la propuesta de un modelo VMI adecuado a la red de suministro objeto de estudio, su validación y la metodología *in situ* para su implementación.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Marco teórico

En general, no existe una estrategia universal de coordinación que se considere apropiada para todas las cadenas de suministro. De esta manera, el éxito de las estrategias de coordinación dependerá de las características, rasgos, sistemas, modo y medios por mencionar elementos relevantes, así como del entorno en el cual se desenvuelve la cadena [5]. De acuerdo al producto, la actividad logística necesaria para colocarlo en el mercado y las condiciones sobre las que se negocia, se podrá establecer la mejor estrategia de coordinación que garantice una reducción de costos, mejore el servicio y busque garantizar la inocuidad de la leche fresca, en un ambiente de beneficio común a los diferentes actores que intervienen.

La coordinación, que involucra una administración conjunta de inventarios en la red de suministro, plantea un reto: establecer, entre clientes y proveedores, diversas políticas que contribuyan a la disminución de costos de la operación de cada actor y de la cadena en sí; sin que esto afecte en ningún grado el nivel de servicio. Esto se puede lograr de varias maneras. En general, los mecanismos de

coordinación son negociables entre las partes, o implícitamente inducidos por alguna de ellas para influir en el comportamiento de la otra [6].

La coordinación entre actores de la red puede abordarse desde diferentes perspectivas, en cualquier empresa del sector industrial, comercial o de servicios, los inventarios constituyen uno de los principales problemas y con altas complejidades cuando se trata de enfrentar en la práctica. Vidal, C [7].

Recientemente, varios autores coinciden en que el proceso de mejora de la cadena de suministro, uno de los aspectos más importantes es la administración de inventarios [8,10]. Jammernegg y Gerald Reiner mencionan más específicamente, que para dicho problema, se plantea una dicotomía importante: en una mano se tiene la necesidad de manejar diferentes tipos de inventario con el fin de dar respuesta a los requerimientos del mercado y la incertidumbre operacional, en la otra mano se tiene que los inventarios son algunas veces el resultado de una administración ineficiente de los procesos a lo largo de la red. Aun así, y como se ha mencionado, los inventarios han sido y serán un punto focal en la administración de la cadena de suministro con fuertes implicaciones en su sostenibilidad [8].

Para el presente caso y en general, en un entorno como el que corresponde a las redes de suministro de leche fresca, una estrategia basada en criterios VMI puede ser una alternativa funcional, útil como una aproximación a la coordinación de inventarios, en tanto se realice una inversión en sistemas de comunicación e información o se contemple algún mecanismo que permita compartir información respecto a los inventarios y a la oferta/demanda de los involucrados.

Para efectos de la contextualización se citan autores como Yao Y.[1] quien ha trabajado en VMI. Además a Van der Vlist, Kuik y Verheijen, quienes presentan las desventajas del planteamiento de Yao y posibles maneras de enfrentarlas. También se hace referencia a Goyal y Glock, cuyos trabajos de coordinación permiten la elaboración de un modelo que permite simular escenarios sobre los que se puede inferir con la información recolectada en campo [11,12].

Para Yao Y. en una cadena de suministro que no utiliza VMI, el proveedor observa la demanda del comprador indirectamente sólo a través de su política de ordenamiento. Con el VMI, el proveedor recibe directamente la información de la demanda del comprador, permitiendo administrar el inventario del comprador con ciertos beneficios que se mencionan más adelante. La Fig. 1 muestra los dos ambientes planteados por Yao Y. con y sin VMI [1].

Para el caso, Yao, Y. maneja un esquema con un proveedor y un comprador. En este ambiente se puede demostrar que se cumple lo siguiente:

- La frecuencia de reaprovisionamiento con VMI es mayor que la del ambiente sin VMI.
- El porcentaje de ahorros en el costo total de inventarios con VMI crece en una proporción relacionada con los costos de ordenar del proveedor y el comprador. Entre mayor sea el costo de ordenar del proveedor comparado con el del vendedor, se incrementarán en mayor proporción los ahorros en los costos totales de

inventario.

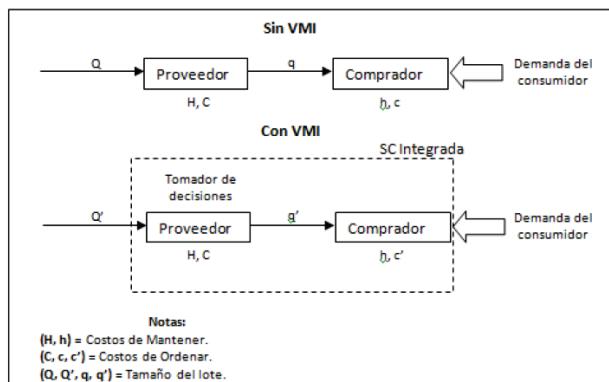


Figura 1. Esquematización de los escenarios con VMI y sin VMI para una cadena de suministro.  
Fuente: Yao, Y. et al. 2008.

- El costo de mantener el inventario con la implementación de VMI se incrementa para el proveedor y decrece para el comprador.

Pero se puede demostrar además, como lo hacen Van der Vlist, Kuik y Verheijen.; que existen falencias en los resultados del modelo de Yao Y.et al., por las siguientes razones:

- Se ignoran los costos incurridos por el proveedor para enviar los productos al comprador.
- El modelo maneja los flujos entrantes y salientes del proveedor en el peor caso, exagerando el inventario mantenido por el proveedor [13].

Dentro de la metodología para la coordinación de inventarios a proponer, se incluirá un modelo similar al propuesto por Yao en sus trabajos, considerando además, las críticas mencionadas por Van der Vlist, Kuik y Verheiren.

## 2.2. Mecanismo de muestreo y recolección de información

Existen principalmente dos nodos en el estudio de la cadena objeto de estudio. Por una parte, se encuentra el nodo de los centros de acopio. En la provincia de Sugamuxi donde hay ocho (8) centros de acopio formales, y todos ellos se constituirán como elementos de estudio. Por otra parte, está el nodo de los productores de leche. Como uno de los objetivos del presente trabajo es brindar herramientas a las MIPYMEs (micro, pequeñas y medianas empresas) para que incrementen su competitividad, se tendrán en cuenta los pequeños productores, quienes además proveen a los centros de acopio el 70% de su demanda.

En la región, hay un total de 4.699 predios dedicados a la producción de leche fresca a pequeña escala. Debido a la complejidad de considerar a toda la población de productores para la realización del estudio (ya que no todos brindan el espacio para el desarrollo de este tipo de actividades o no están en grado de responder ciertas preguntas técnicas del funcionamiento de su actividad), sólo una parte fue considerada para la realización del estudio.

El muestreo utilizado para dicha selección fue de tipo

intencionado (no aleatorizado) por dos motivos. Primero, con el muestreo intencionado se reducen los inconvenientes inesperados que puedan generar un sobrecoste del estudio. Segundo, se decidió escoger a los productores que se encuentran en la ruta de recolección de cada uno de los ocho (8) centros de acopio de la región, de esta manera, es posible correlacionar algunas características del productor con su respectivo centro de acopio como la distancia recorrida para realizar la recolección y el orden en que se hace la recolección.

A partir del tipo de muestreo seleccionado se contó con 597 predios como muestra. Estos 597 predios contestaron un formulario cuyo objetivo era estimar costos de transporte y tasas de producción de los pequeños productores. De esta muestra, se tomó aquellos que quisieron cooperar y fácilmente accesibles, los cuales representaron un 17,08% del total. Estos fueron quienes respondieran las preguntas específicas orientadas a estimar costos de operación, almacenamiento y distribución.

Al grupo de ocho centros de acopio se les aplicó un cuestionario de cuarenta preguntas tanto abiertas como cerradas, agrupadas en tres ejes temáticos: gestión de aprovisionamientos, gestión de almacenamiento y de inventarios, y gestión de la distribución. También se realizó una entrevista con el fin de contextualizar la operación del centro de acopio y obtener así más detalles.

### 2.3. Metodología

La metodología de investigación se desarrolló teniendo en cuenta que el objeto de estudio estaba referido a la cadena de suministro de leche fresca. Con el fin de presentar coherencia entre dicho objeto (referido a dos nodos en la cadena de suministro de leche en la provincia de Sugamuxi), la investigación utilizó una adaptación de la metodología IIRSA (Iniciativa para la Integración de la infraestructura Regional Sud-Americanana), ampliamente difundida y utilizada para la consultoría en proyectos logísticos[14].

La metodología permite desenvolverse en el marco geográfico y de ésta forma recopilar la información necesaria de manera óptima sin perder de vista los objetivos formulados. La metodología se basa en una primera aproximación a la cadena que permita, mediante el desenvolvimiento de las fases, la caracterización y el establecimiento de un concepto respecto al comportamiento de los eslabones analizados y la manera en que éstos operan en y con la cadena.

La metodología IIRSA es una iniciativa de los países suramericanos para promover el desarrollo de la infraestructura de transporte, energía y comunicaciones bajo una visión regional y se compone de cinco etapas estructuradas que permiten, mediante un profundo estudio bibliográfico apoyado con la recolección y análisis de la información encampo, caracterizar la cadena de suministro. Dichas etapas siguen la secuencia lógica que se describe en la Fig. 2.

El ciclo metodológico comienza con una etapa de definición en donde se presenta tanto el alcance funcional como el territorial del objeto de análisis. Determina si la

evaluación es pertinente, en función de las características propias de la cadena y de su potencial desarrollo. Se realizó una revisión intensiva de la literatura en redes y coordinación de inventarios para la realización de la



Figura. 2. Esquema de caracterización de las fases de la metodología IIRSA.  
Fuente: Yao Y, et al. 2008.

propuesta metodológica y el modelo respectivo. Continúa con la etapa de segmentación cuyo propósito fue evaluar de forma desagregada agrupamientos logísticamente homogéneos que sean susceptibles de un análisis diferenciado. Para el caso se analizaron, el grupo de productores y el de acopios.

La siguiente etapa de estructuración consiste en organizar y construir, con la información obtenida durante la fase de segmentación, una estructura apropiada para la cadena logística de lácteos en la provincia, es decir, definir cómo se observó el flujo de materiales y de información de un nodo a otro. Durante esta etapa se lograron entender y relacionar los elementos estructurales que caracterizan cada uno de los eslabones y permiten una apreciación general de la capacidad de la red logística ante las exigencias de los consumidores.

El trabajo de campo tuvo como propósito recolectar la información adecuada que permita ofrecer un panorama de la situación actual de la red, además de identificar los aspectos críticos sobre los que se puede actuar a futuro, con el objetivo de mejorar el desempeño de la cadena. Para tal fin, se planificó el trabajo decampo con los respectivos cronogramas y agendas de actividades, además se preparó una serie de guías o cuestionarios asegurando así que en las fases subsiguientes de la metodología se contará con información suficiente para realizar el análisis.

La última etapa en la metodología, análisis y resultados, permitió observar la composición de la cadena, su grado de "madurez logística" y su desempeño logístico, organizar y depurar tanto la información como los datos obtenidos en campo, así como el estudio exhaustivo de la información obtenida en las tapas anteriores. En esta etapa, y con los insumos anteriores, se llegó a un desarrollo matemático en que se propone un modelo de coordinación, en el que mediante criterios VMI se definen como variables de decisión las cantidades de pedido en los dos nodos de la cadena y la frecuencia de reaprovisionamiento, así como los parámetros de costos. El modelo hace las veces de un instrumento que permite evaluar la política y aproximarse a un escenario ideal para la cadena teniendo en cuenta las condiciones propias tanto de distribución como de almacenamiento.

### 3. Resultados

La red evaluada de leche fresca consta de cuatro nodos o eslabones, como se aprecia en la Fig.3.



Figura 3. Constitución de la cadena de suministro de leche fresca.  
Fuente: Autores, basado en la metodología IIRSA)

El primer nodo (producción de leche a través del ordeño). Allí, se encuentran productores pequeños, medianos y grandes. La clasificación depende del nivel de tecnificación con el que realizan la actividad y de la capacidad instalada que poseen. Estos aspectos se reflejan en la tasa de producción diaria de leche fresca. El 96% de los productores son pequeños (corresponden a 4699 según un censo de 2011) y son el objeto de estudio de este trabajo. Sus capacidades de producción oscilan entre 5 y 180 litros diarios y su número de cabezas de ganado varía de 1 a 23.

La provincia de Sugamuxi cuenta con ocho (8) centros de acopio con características de pequeñas bodegas con tanques de enfriamiento, se encuentran ubicados en los municipios de la provincia con mayor producción. La leche recogida por los centros de acopio es transportada a centros de procesamiento, para su posterior consumo final. Este nodo no hace parte del alcance del estudio. El centro de acopio es el encargado de visitar una vez por día (o con una frecuencia a veces mayor) a los pequeños productores con el fin de hacer la recolección de la leche. Se emplean medios de transporte de todo tipo, desde bicicletas hasta viejos camiones pequeños, haciendo uso incluso de carros particulares. La labor del transporte se realiza directamente por personal del centro de acopio o por transportistas contratados para ello.

La investigación permitió establecer parámetros, rasgos y características, cuyos resultados relevantes se presentan a continuación:

El 33% de los centros de acopio decide comprar el producto de más alta calidad, mientras que el 67% restante realiza sus compras con base en el menor precio. La negociación del precio en un 72% de los casos depende del modo de pago, mientras que en el 24% depende de la inversión en transporte necesaria para ir a recolectar la leche.

En los centros de acopio se mencionó en su totalidad no conocer las necesidades de sus clientes; no poseen algoritmo o regla de decisión para la planeación de las rutas de recolección, ni una política clara sobre la gestión y control de sus inventarios.

En la opinión de los dos tipos de agente (productor y centro de acopio) prevalece el hecho de que haya utilidad operacional, así sea mínima, como indicador para concluir que el negocio funciona correctamente.

El modelo matemático se realizó con base en los estudios de Yao y Glock contextualizándolo a la realidad evidenciada en campo, para la alimentación de los parámetros requeridos se consideró la tabulación y análisis de los instrumentos aplicados, así como la evaluación in situ a pequeños productores y centros de acopio, permitiendo su estimación, segregados tanto en costos operativos como gastos financieros.

Para el caso de los productores se crearon tres (3) categorías (pequeños, medianos y grandes) con base en la cantidad de cabezas de ganado y su producción promedio, para los centros de acopio se utilizó una sola categoría que incluye a los 8 lo que permitió mediante la elaboración de encuestas y las visitas realizadas en el trabajo de campo la estimación de los costos necesarios para el modelo analizando, cabezas de ganado productivas, producción diaria, insumos (sales, calcios, concentrados, elementos de aseo, etc.), impuestos, mantenimientos, costos de transporte, elementos de sujeción, fumigaciones, vacunas y demás asociados a su operación así los precios de venta para la estimación de márgenes de utilidad.

A continuación se presenta la notación del modelo matemático que concluye el análisis de la red y propone una aproximación a la mejora de la operación desde el punto de vista de un mayor beneficio económico.

#### 3.1. Definiciones

- $h_i$ : Costo del proveedor  $i - \text{ésimo}$  de mantener una unidad de inventario (COP\$/litro)
- $c_i$ : Costo del proveedor  $i - \text{ésimo}$  de poner una orden (COP\$)
- $q_i$ : Tamaño de pedido del proveedor  $i - \text{ésimo}$  (litro)
- $H$ : Costo del comprador de mantener una unidad de inventario (COP\$/litro)
- $C$ : Costo del comprador de poner una orden (COP\$)
- $D$ : Demanda del comprador (litro)
- $Q$ : Tamaño de pedido del comprador (litro)
- $m_i$ : Número de particiones del lote  $q_i$  del proveedor  $i - \text{ésimo}$
- $\beta_i$ : Proporción de lo que aporta el proveedor  $i - \text{ésimo}$  con su lote  $q_i$  al pedido  $Q$
- $P_i$ : Tasa de producción del proveedor  $i - \text{ésimo}$  (litros/día)
- $F_i$ : Costo de transporte asumido por el proveedor  $i - \text{ésimo}$  (COP\$)
- $A$ : Costo fijo asumido por el comprador al pedir una orden
- $CT_A$ : Costo total asumido por el comprador
- $CT_p$ : Costo total asumido por los proveedores
- $CT_s$ : Costo total del sistema compuesto por  $n$  proveedores y 1 comprador

La expresión para el costo total del comprador es entonces:

$$CT_A = \sum_{i=1}^n \frac{q_i^2 H}{2m_i Q} + \frac{AD}{Q} \quad (1)$$

Mientras que la expresión para el costo total de cada uno de los proveedores es:

$$CT_p = q_i^2 \left( \frac{1}{2P_i} - \left( 1 - \frac{1}{m_i} \right) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P_i} \right) - \frac{m_i - 1}{2m_i D} \right) \frac{Dh_i}{Q} + (F_i m_i + c_i q_i) \frac{D}{Q} \quad (2)$$

Para simplificar los cálculos, se definen los siguientes términos:

$$\alpha_i = \left( \frac{1}{2P_i} - \left( 1 - \frac{1}{m_i} \right) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P_i} \right) - \frac{m_i - 1}{2m_i D} \right) \quad (3)$$

$$\chi_i = A + F_i m_i \quad (4)$$

Utilizando así, las expresiones (3) y (4), es posible definir el costo total del sistema como:

$$CT_s = Q \left( \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i^2 H}{2m_i} + \sum_{i=1}^n \beta_i^2 \alpha_i h_i D \right) + \sum_{i=1}^n c_i \beta_i D + \frac{\chi D}{Q} \quad (5)$$

Si esta expresión se deriva y se iguala a cero, se obtiene como cantidad óptima a ordenar:

$$Q^* = \sqrt{\frac{\chi D}{\sum_{i=1}^n \beta_i^2 \left( \frac{H}{2m_i} + \alpha_i h_i D \right)}} \quad (6)$$

Como puede verse en (6), hay un claro inconveniente en la resolución de manera analítica del problema de optimización, ya que, los coeficientes  $\beta$  también son variables de decisión y por ende varían. Para la resolución de este problema, Glock propone que la búsqueda se haga de manera exhaustiva cambiando los valores de  $m_i$  y de este modo los  $\beta_i$  [12].

En este caso particular, las cantidades óptimas a ordenar fueron calculadas mediante los  $m_i$  encontrados en campo y la implementación del algoritmo de optimización se realizó con la ayuda del software GAMS ®.

Con la implementación propuesta del modelo se estima una reducción en los costos de la cadena de un 2.57% en la operación diaria, dentro de la metodología se debe contemplar que dicho ahorro permitiría una reinversión en telefonía para la comunicación entre pequeños productores y acopios, por el contexto tanto cultural como geográfico la opción más viable se basa en la comunicación telefónica apoyada con un sistema de toma de pedidos más eficiente en el que se conozcan mediante preventa en cada recolección las condiciones del productor para la siguiente entrega, como parte de la propuesta se establece que se tomaran registros en cada entrega y se realizaran retroalimentaciones de manera que se genere dicha cultura de preventa, atendiendo a que para cualquier caso en el que no exista un flujo de información constante y acertado en las políticas VMI no podrán ser implementadas. En el eslabón de los productores se evidencia que con la restructuración de

las cantidades de pedido se deben canalizar en la cadena los litros de leche que no hacen parte de las recolecciones del centro de acopio para de esta manera no contemplar una pérdida de utilidad neta para el productor.

Debido a que se propone una estructura en la cual el centro de acopio redefine las cantidades de pedido que se deben consolidar la diferencia entre el estado actual y las cantidades manejadas bajo el esquema de coordinación muestran un ahorro para cada nodo pero el modelo obliga para lograr una mayor eficiencia en costos subutilizar la capacidad de aquellos productores que presenten un mayor sobre costo a la cadena, es así como en cada nodo se puede generar un ahorro en promedio de 1.078 COP en lo que respecta a los costos de almacenamiento por día por productor logrando un mayor beneficio al total del desempeño de la cadena.

#### 4. Discusión

Atendiendo la estructura actual de la cadena de abastecimiento de leche fresca en la provincia de Sugamuxi, se propone una metodología que permita la reducción del costo total de la red, mediante un proceso de coordinación de inventarios que asegure la satisfacción de la demanda del cliente y minimice las pérdidas que se presentan actualmente en el proceso por el desconocimiento de necesidades entre los nodos de la cadena. Se propone como política para el sector evaluado adoptar una metodología integral que busca dar el control de los inventarios a los centros de acopio, ya que, son quienes mayor poder tienen en la cadena y se compone de tres fases que se definieron de acuerdo al contexto tanto cultural como económico que envuelve a la zona objeto de estudio. Las tres fases son:a. Determinación de necesidades; b. Seguimiento y evaluación y c. Retroalimentación.

##### 4.1. Determinación de las necesidades

Se recomienda para esta fase contemplar el desarrollo de las siguientes actividades de manera periódica sin que se llegue a presentar una posible dificultad que entorpezca la operación normal del acopio.

- Generación de una base de datos de la demanda del acopio en medio magnético, soportando las entregas con un formato sencillo de cantidades, tiempo y calidad de las entregadas.
- Clasificación de los proveedores de acuerdo al volumen de producción y ubicación geográfica.
- Registro en cada recolección de las cantidades y precios que se concibieron en la ruta, así como del kilometraje recorrido en la ruta.
- Evaluación de la aplicación e impacto de los criterios de coordinación de inventarios bajo la óptica del VMI.
- Diseño de un sistema efectivo de recolección mediante la definición de medios de transporte y rutas óptimas para las visitas a los productores.

##### 4.2. Seguimiento y evaluación

En esta fase se plantea desarrollar la recolección en cada

punto de producción llevando, *in situ*, los registros respectivos que permitan la trazabilidad del proceso y la evaluación del efecto de la misma en campo. Para tal se proponen las siguientes actividades:

- i. Preparación de la ruta y alistamiento, previo conocimiento de la capacidad de responder de los productores a los cambios en la demanda, para esta caso se deben tener en cuenta los registros que se llevan de la operación diaria, dado que la recolección y acopio de leche fresca se realiza día a día los registros que se pueden llevar históricos no requieren una antigüedad considerable.
- ii. Evaluación de la situación del proveedor y realización de seguimiento a sus necesidades.

#### **4.3. Retroalimentación**

En esta etapa se realiza una retroalimentación acerca del funcionamiento de la operación, que se puede llevar a cabo una vez al mes por parte de los productores, en donde se indiquen sus sugerencias y comentarios acerca de la dinámica liderada por el centro de acopio.

Adicional a la metodología anteriormente descrita y gracias al algoritmo de Yao (\*) modificado, es posible modelar la situación de ordenamiento del centro de acopio mediante un modelo exacto, y así, determinar la cantidad óptima a pedir por parte del centro de acopio. La demanda del centro de acopio es constante a lo largo del año, así que algunas asunciones del modelo EOQ serán tenidas en cuenta.

#### **5. Conclusiones**

En el siguiente apartado se presentan los principales hallazgos del estudio en conjunto con las sugerencias para discusión y futuras investigaciones.

Estas conclusiones se derivan de las investigaciones que desarrolla el grupo SEPRO en el área logística, enmarcado en los actuales tópicos relevantes en este campo, por lo que se espera que el presente estudio sea utilizado como referente para la comunidad científica y el sector empresarial que puedan encontrar en estos resultados hechos relevantes y significativos para su análisis y consideración.

La implementación de una política permanente de acopio/distribución para la recolección y almacenamiento de leche cruda en la provincia del Sugamuxi, desde una metodología integral que incluya dentro de sus modos, medios, técnicas y herramientas, en asocio con estrategias bajo criterios VMI, logrará una disminución en los costos de la cadena, mejora del servicio, así como buscar un procedimiento que apunte a asegurar la inocuidad de la leche, esto bajo una implementación gradual que incluye la adopción de apropiados sistemas de comunicación y rastreo gobernados por los proveedores (centros de acopio), con la participación clara de los productores en un ambiente ganagana.

Dado que la información es un factor determinante en la adopción de la metodología, se propone la elaboración, seguimiento y control de medios (registros y formatos) para

llover un histórico que permita una evaluación, revisión y adopción de parámetros medidos con exactitud en la cadena de suministro del sector lácteos.

Los resultados en términos de costos, en promedio lograrían una reducción del 2.57 % en la operación diaria de almacenamiento en la red considerada. Este ahorro termina siendo significante y determinante de sostenibilidad, para una red de suministro donde los márgenes de rentabilidad son mínimos. La investigación determinó la importancia de hacer énfasis en las inversiones requeridas en mejorar infraestructura de información, donde además de los actores considerados (centros de acopio y productores), el estado juega un papel relevante promoviendo políticas públicas que propendan por la facilitación en la adopción de infraestructura adecuada de comunicaciones para este sector.

Se concluye también en la importancia de adoptar la metodología descrita en este artículo, asociada con líneas futuras de investigación en este sector y en el tema de logística sobre reubicación de los centros de acopio o evaluación de puntos crossdocking flotantes necesario para seguir mejorando los procesos de recolección de leche cruda.

Se recomienda el desarrollo de la relación comercial coordinada entre centros de acopio y productores, soportada en un sistema de información integral gobernada por el centro de acopio que permite una toma de decisiones que apunten a disminuir costos de operación, mejores niveles de servicio asociados a la operación logística.

Se hace énfasis en la importancia de adoptar estrategias VMI, dirigidas por el centro de acopio, en armonía con la revisión de los modos y medios utilizados en las prácticas logísticas relacionadas con el manejo de la leche cruda, donde las incidencias fueron evaluadas en esta investigación con los resultados que anteriormente fueron explicitados.

#### **Referencias**

- [1] Yao, Y. and , M., The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory. *Transportation Research Part E, Logistics and Transportation Review*, 44 (3), pp. 361-378, 2008.
- [2] Proexport., Sector lácteo en Colombia 2011 [en línea]. Obtenido de <http://www.proexport.com.co>. [mayo 2014]
- [3] FEDEGAN., Informe de las MIPYMES del sector ganadero 2008-2011 [en línea]. Obtenido de <http://www.fedegan.org.co>. [mayo 2014].
- [4] Colombia. Documento CONPES 3675. Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano, 19 de Julio de 2010, 50 P.
- [5] Sarmah, S., Acharya, D. and Goyal, S.K., Buyer vendor coordination models in supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 105 (1), pp. 1-15, 2006.
- [6] Sucky, E., A bargaining model with asymmetric information for a single supplier single buyer problem, *European Journal of Operational Research*, 171 (2) pp. 516-535, 2006.
- [7] Vidal, C., Fundamentos de Gestión de Inventarios, 1<sup>a</sup> edición, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2009. 364 P. ISBN: 978-958-670-863-0.

- [8] Jammerlegg, W. and Reiner, G., Performance improvement of supply chain processes by coordinated inventory and capacity management, International Journal of Production Economics, 108 (1-2), pp. 183–190, 2007.
- [9] Disney, S., Potter, A. and Gardner, B., The impact of vendor managed inventory on transport operations, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 39 (5) pp. 363-380, 2003.
- [10] Huang, W., Kulkarni, V., Swaminathan, J., Optimal EOQ for announced price increases in infinite horizon, Operations Research, 51 (2), pp. 336-339, 2003.
- [11] Goyal, S. and Gupta, Y.P., Integrated inventory models: The buyer vendor Coordination, European Journal of Operations Research, 41 (3), pp. 261-269, 1989.
- [12] Glock, C., A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors, Computers & Industrial Engineering, 60 (1), pp. 173-182, 2011.
- [13] Van der Vlist, P., Kuik, R. and Verheijen, B., Note on supply chain integration in vendor-managed inventory, Decision Support Systems, 44 (1), pp. 360-365, 2007.
- [14] Martínez, M., Suarez, C., Pérez, J., et al., Metodología de análisis del potencial de integración productiva y desarrollo de servicios logísticos de valor agregado de proyectos IIRSA[en línea]. Enero 2003. Obtenido de: [http://www.iirsa.org/admin\\_iirsa\\_web/Uploads/Documents/Analisis%20de%20la%20Cartera%20de%20Proyectos.pdf](http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/Uploads/Documents/Analisis%20de%20la%20Cartera%20de%20Proyectos.pdf).> Mayo 2014.

**C.H. Guzman-Camacho**, es MSc. en Ingeniería con énfasis en logística de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como Profesional de Planta de la empresa Sab Miller Bavaria, Bogotá, Colombia como Superintendente de Distribución. Es Investigador en Logística. Grupo Sociedad, Economía y Productividad (SEPRO).

**H.F. Salazar-Sanabria**, es Ing. Industrial, Esp. en Gerencia de la Producción, Mejoramiento Continuo, Esp. en Informática y MSc. en Ingeniería con Énfasis en logística de la Universidad Distrital. Actualmente se desempeña como profesor de planta en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, Seccional Sogamoso, Colombia. Es investigador en Logística del Grupo Sociedad, Economía y Productividad (SEPRO). Ha dirigido investigaciones sobre logística para diferentes sectores de la economía colombiana.

**W. Adarme-Jaimes**, es Ing. Industrial, Esp. en Gerencia de la Producción, Mejoramiento continuo, MSc. en Ingeniería con énfasis en logística y Dr. en Ingeniería Industria y Organizaciones con Énfasis en logística. Actualmente se desempeña como profesor asociado en el Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Colombia. Es director del Grupo de investigación en Logística Sociedad, Economía y Productividad (SEPRO) de la Universidad Nacional de Colombia. Ha dirigido investigaciones sobre logística para diferentes sectores de la economía colombiana, con publicación de resultados en revistas indexadas. Consultor en política pública sobre logística para los Ministerios de Comercio, Transporte y Salud de en Colombia y la Alcaldía mayor de Bogotá. Director de tesis de maestría y doctorado en Logística. Ponente en congresos internacionales sobre logística en Alemania, México, Panamá, Venezuela y Colombia.