

Artículo Original

# Aplicación de Modelos Matemáticos para Optimizar el Ciclo de Abastecimiento en la Recolección de Leche Cruda en la provincia del Azuay

Application of Mathematical Models to Optimize the Supply Cycle in the Collection of Raw Milk in the province of Azuay

Jorge Campoverde - Eulalia Beltrán - Freddy Naula - Armando Romero - Katherine Coronel

Grupo de Investigación Empresarial, Universidad de Cuenca

jorge.campoverde@ucuenca.edu.ec  
 eulalia.beltran@ucuenca.ec  
 freddybenja@gmail.com,  
 armando.romerog@ucuenca.edu.ec  
 katherine.coronelp95@ucuenca.edu.ec

## RESUMEN

El presente artículo presenta dos modelos matemáticos de optimización aplicados a los nodos de recolección en el ciclo de abastecimiento de leche cruda en la provincia del Azuay (Ecuador), con ello se analiza la estructura logística y el funcionamiento de los eslabones, con el objetivo de determinar los parámetros y variables que optimicen los costos logísticos y la cantidad óptima de pedido; esto permitirá encontrar los mecanismos que mejor se adapten a la realidad organizativa y funcional de los centros de acopio y de los transportistas del sector. Los principales hallazgos del estudio indican que la gestión y actividades en los centros de acopio que manejan inventarios, se lo realizan de manera empírica en aproximadamente el 57,14%; además, se pudo optimizar los costos logísticos en los centros de acopio y en los transportistas.

## Palabras Claves

cadena de abastecimiento, costos logísticos, leche cruda, optimización, selección proveedores

## ABSTRAC

The present article presents two mathematical models of optimization applied to the picking nodes in the raw milk supply cycle in the province of Azuay (Ecuador), with this, the logistic structure and the functioning of the links are analyzed, with the objective of determine the parameters and variables that optimize the logistics costs and the optimal order quantity. This will allow finding the mechanisms that best adapt to the organizational and functional reality of the storage centers and transporters of the sector. The main findings of the study indicate that the management and activities in the collection centers that handle inventories are performed empirically in approximately 57.14%; In addition, it was possible to optimize logistics costs in storage centers and in carriers.

## Keywords

supply chain, logistics costs, raw milk, optimization, suppliers selection

## I. Introducción

Ecuador es un país que posee una gran riqueza natural debido a su ubicación geográfica y a su clima variado. La población, cuando ha sabido aprovechar estas oportunidades, ha emprendido actividades productivas en los sectores agropecuario, forestal, pesquero, petrolero, minero y otros. De todos ellos, el sector agropecuario se ha convertido también en un actor importante que ha trascendido y ha crecido en la historia económica y social del país, ha mostrado una dinámica relevante en la economía nacional y ha logrado ser un sector significativo tanto en la zona rural como urbana, siendo parte de las cadenas de abastecimiento dentro de la industria alimentaria; en definitiva, se ha convertido en una de las principales fuentes de ingresos para las familias involucradas.

En efecto, el sector ganadero es partícipe de la trascendencia del sector agropecuario en la historia económica nacional, “aportando un 0,74% a la producción total del país” [1], involucrando dentro de sus actividades “alrededor de 1 millón de familias campesinas a nivel de todo el Ecuador” [2]; a su vez, para el caso de la provincia del Azuay, las familias partícipes suman aproximadamente 27 262 [3]. En este contexto la región Sierra se ha convertido en la principal productora de lácteos, con un 75,90% de participación nacional, seguida por la región Costa, con un 18,84%, la región Oriental y zonas no delimitadas complementan la producción total con un 5,26% [1]. La provincia del Azuay es la mayor productora [1], con aproximadamente 127 750 000 litros anuales de leche, es decir un 14,55% de la producción nacional [4]. Lo anterior es consecuencia de alianzas estratégicas entre los diferentes actores de cada nodo, lo que permite el flujo adecuado de la leche cruda, su conservación e inocuidad y garantizan el pago justo a los comercializadores.

Sin embargo, el desarrollo del sector lácteo en el Ecuador se ha visto afectado por una disminución del 7% en la producción de leche cruda al cierre del 2016, debido a que la industria láctea enfrentó una grave contracción en sus ventas [5], consecuencia de una menor capacidad de compra de los consumidores finales, lo que desencadenó una sobreoferta de leche cruda en el mercado e indujo a una reducción de precios por parte de los productores y recolectores, precios que fueron sustancialmente inferiores al promedio histórico de los últimos años; ésta respuesta del sector productivo busco no desechar el producto, lo que, como era de esperarse, ocasionó pérdidas relevantes en el sector [6] [7].

Hay que mencionar que el abastecimiento y comercialización de leche cruda, dentro del sector ganadero ecuatoriano, ha sido una cuestión de baja relevancia en los estudios académicos. Ciertamente no existe profundización del tema en el ámbito científico relacionado con la gestión logística y administrativa, tan solo se ha presentado alguna información manejada por el sector agrícola respecto a su cadena de valor, la que estaría conformada por nodos de producción, recolección, almacenamiento, procesamiento y distribución.

Ante ello el estudio se centra especialmente en los nodos de recolección y almacenamiento; y están conformados por Transportistas y Centros de Acopio (CA), los últimos se ubican en zonas aledañas a los productores ganaderos, y en rutas de fácil acceso para la efectiva distribución a los clientes respectivos. Los nodos son considerados relevantes en el sector lácteo, debido a que actúan como intermediarios entre los productores ganaderos y las empresas procesadoras, y permiten que el flujo de leche cruda y su venta final se realice bajo estándares de calidad y a un precio relativamente justo.

En el sector bajo estudio, a nivel nacional se observa: una débil gestión de la integración de los eslabones que componen la cadena de suministro, el costeo por actividades es escasamente aplicado, se desconoce la capacidad disponible y requerida, tampoco se analizan proveedores, rutas de acopio ni el proceso de recolección [7]. Esta situación no es ajena en la provincia del Azuay, en donde, el ciclo de recolección de leche cruda presenta en sus procesos una planificación y administración empírica. Quizás por esta razón, justamente es uno de los temas de estudio y análisis en: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP), Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD) y demás Asociaciones relacionadas; sin embargo la academia nacional no ha profundizado de manera adecuada el tema.

Lo mencionado anteriormente sugiere que los procesos de los nodos de recolección requieren ser orientados hacia métodos que promuevan una mejora continua en su funcionamiento y toma de decisiones, lo que a su vez permitiría optimizar tanto sus costos como sus tiempos en el ámbito logístico, creando valor en la cadena de suministro.

El presente trabajo estudia la estructura logística y funcionamiento de los nodos de recolección, determinando parámetros y variables necesarias en la implementación de dos modelos matemáticos. Además plantea la coordinación de una red de proveedores heterogéneos, que aborda tanto la selección del proveedor como la decisión del tamaño del lote, minimizando los costos totales del sistema. Todo ello bajo la perspectiva de dos modelos matemáticos: el de EOQ tradicional y el de Christoph H. Glock [13]; aplicados en la jurisdicción de la Provincia del Azuay.

## II. Método

Según Krajewski, Ritzman y Malhotra, una cadena de suministro es “una red de servicios, materia prima, productos, fondos y flujos de información que vincula los procesos de relaciones con los clientes, proveedores, transportistas, almacenes, y minoristas” [9]; con el fin de generar flujos eficientes de materiales y servicios, mantener los inventarios en un nivel adecuado y desempeñar operaciones a bajo costo, de calidad consistente y entrega a tiempo[9].

Para Ballou, la logística es “la parte del proceso de la cadena de suministro que promueve la integración, y coordinación sistemática y estratégica de las funciones o actividades relacionadas con los proveedores, fabricantes, clientes, distri-

buidores y detallistas, para llevar los bienes o servicios adecuados al lugar y en el momento adecuados, y en las condiciones deseadas” [10], con un eficiente transporte, condiciones de almacenamiento apropiadas, así como una correcta preparación de pedidos, optimizando el proceso de transformación desde el aprovisionamiento de los insumos hasta la entrega a los consumidores respectivos. “El valor en la logística se expresa en forma de materia prima a producto terminado; y en tiempo y lugar, principalmente mediante el transporte, flujo de los inventarios” [10]. En el caso del ciclo de recolección, es adecuado crear valor de tiempo y lugar, ya que se requiere que la leche cruda sea transportada y almacenada en el menor tiempo posible, se mantenga en zonas de enfriamiento para conservar su inocuidad y calidad, se distribuya a costos adecuados y esté a disposición del cliente. Por lo tanto, la logística en la cadena de suministro, resulta de gran importancia para ejecutar procesos, cumplir el principio de disponibilidad en todo momento y responder adecuadamente a las interrogantes de ¿cuándo? y ¿dónde? Ellos [los clientes] desean adquirirlos [10].

La aplicación de modelos matemáticos de investigación operativa mejoran la efectividad de las operaciones y contribuyen en la determinación de políticas y directrices fundamentadas científicamente [11]. Hay que mencionar además que los inventarios suponen un tema altamente relevante en la administración de las cadenas de suministro y en la logística, ya que “después del transporte, los inventarios constituyen el principal componente de los costos totales logísticos en la mayoría de las organizaciones” [12]. En este artículo se implementan dos modelos matemáticos para su posterior comparación.

#### A. Modelo de Glock (Modelo 1)

El primer modelo intitulado “A Multiple-vendor single-buyer integrated inventory model whit a variable number of vendors”, fue desarrollado por Christoph H. Glock de la Universidad de Wuerzburg, Alemania [13], dicho modelo estudia la coordinación de una red de proveedores de manera integral; específicamente considera un solo producto y un solo comprador, no obstante los proveedores no se ven limitados ( $N > 1$ ); además pueden ser heterogéneos. El modelo aborda tanto la selección del proveedor como la decisión del tamaño del lote, el objetivo final es minimizar los costos totales del sistema [13]. También considera dos tipos de subproblemas interdependientes: la selección de proveedores y el tamaño del lote para este conjunto seleccionado de proveedores, según se aprecia en la Fig. 1.

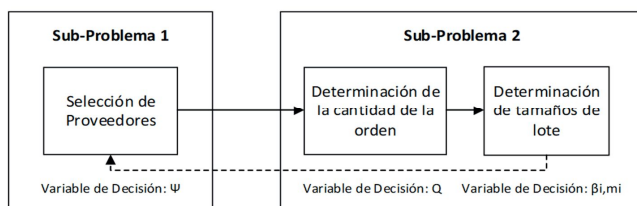


Fig. 1. Selección de proveedores y asignación de cantidades de órdenes, Proceso de Decisión

Fuente: Christoph H. Glock [13]

El modelo busca solucionar el problema de inventario en el cual el tamaño de lote económico por ordenar  $Q$ , la proporción del tamaño de lote  $\beta_i$  y la frecuencia de envío  $m_i$ , son variables a ser determinadas, a la vez que se minimizan los costos totales del sistema. Lo anterior considerando un subconjunto de proveedores  $\psi$  del conjunto de proveedores preseleccionados  $\Omega$ . Por su parte los elementos de  $\psi$  son establecidos utilizando algoritmos que simulan la construcción de un árbol de decisiones para cada proveedor (o proveedores) preseleccionado(s). Si en la selección se presentan combinaciones duplicadas, estas son descartadas como posible conjunto de proveedores factibles. Éste algoritmo permite determinar cuáles son los proveedores adecuados en base al criterio de optimización de costos.

La selección y combinación de proveedores mantienen una relación directa con la determinación de las variables  $Q_{opt}, \beta_i$ , y  $m_i$ , siempre en base a la fundamentación matemática de Glock. La que se describe sucintamente a continuación:

El costo total del comprador se expresa en la ecuación (1) [13].

$$TC^{(b)} = \sum_{i \in \psi} \frac{q_i^2 h^{(b)}}{2m_i Q} + \frac{AD}{Q} + R \sum_{i=1}^N \delta_i \quad (1)$$

El costo total del proveedor se expresa en la ecuación (2).

$$TC_i^{(v)} = q_i^2 \lambda_i \frac{D h_i^{(v)}}{Q} + (S_i + F_i m_i + c_i q_i) \frac{D}{Q} \quad (2)$$

en donde:

$$\lambda_i = \left( \frac{1}{2P_i} + \left[ \left( 1 - \frac{1}{m_i} \right) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P_i} \right) \right]^+ \right) - \frac{m_i - 1}{2m_i D} \quad (3)$$

A su vez la cantidad óptima de pedido del sistema se expresa mediante la ecuación (4).

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{D\chi}{\sum_{i \in \psi} \beta_i^2 \left( \frac{h^{(b)}}{2m_i} + D\lambda_i h_i^{(v)} \right)}} \quad (4)$$

En donde:

$$\chi = \sum_{i \in \psi} (S_i + F_i m_i) + A \quad (5)$$

La función de costo total del sistema se expresa por la ecuación (6).

$$TC^{(s)} = (2) \sqrt{D\chi \left( \sum_{i \in \psi} \beta_i^2 \left( \frac{h^{(b)}}{2m_i} + D\lambda_i h_i^{(v)} \right) \right)} + \sum_{i \in \psi} c_i \beta_i D + R \sum_{i=1}^N \delta_i \quad (6)$$

En donde:

$A$  = costo de ordenar por pedido

- $A$  = costo de ordenar por pedido
- $C_i$  = costo por unidad ordenada del proveedor  $i$
- $R$  = costos de gestión administrativa.
- $S_i$  = costo de preparación del proveedor  $i$
- $F_i$  = costos de transporte por entrega del proveedor  $i$
- $D$  = cantidad demandada por el comprador
- $h^{(b)}$  = costos de almacenamiento diario del comprador  $i$ .
- $h_i^{(v)}$  = costos de almacenamiento diario del proveedor  $i$ .
- $N$  = número de proveedores del conjunto pre-seleccionado de proveedores,
- $P_i$  = tamaño recolección del proveedor  $i$ , con

$$\sum_{i=1}^N P_i > D$$

Los componentes que integran estas formulaciones están expresados en valores diarios. Las variables de análisis consideradas en la toma de decisiones son:

- $\beta_i$ : Proporción del tamaño del lote ideal de recolección del proveedor  $i$ , ( $\sum_{i=1}^N \beta_i = 1$ )
- $Q$ : Tamaño del lote por ordenar, ( $Q = \sum_{i=1}^N q_i$ )
- $m_i$  = Frecuencia de envío por lote del vendedor  $i$

Variables que pueden ser obtenidas implícitamente de las variables de decisión.

- $\delta_i$ : Variable binaria, la cual es 1 si el proveedor es seleccionado, ( $\beta_i > 0$ ); y es 0 si el proveedor no es seleccionado, ( $\beta_i = 0$ )

- $q_i$ : Tamaño del lote de producción del vendedor  $i$  con  $q_i = \beta_i Q$

Una aplicación apropiada del modelo requiere de varios nodos heterogéneos e independientes entre sí, preferentemente de cuatro o más proveedores pre-seleccionados; en donde la suma de las cantidades producidas por el conjunto de proveedores preseleccionados debe ser mayor o igual a la cantidad demandada por el comprador.

En la cadena de suministro del sector lácteo, los diferentes eslabones facilitan un contexto aceptable para la aplicación del modelo tratado[13].

### B. EOQ Tradicional (Modelo 2).

El segundo modelo, intitulado Cantidad Económica de Pedido EOQ, planteado por Ford Whitman Harris y R. H. Wilson [14], y analizado por autores como Krajewski, Ritz-

man, y Malhotra, determina la cantidad óptima de pedido, al optimizar los costos totales de las actividades en los CA. Específicamente, se centra en los costos de almacenamiento y de pedidos. Considerando lo anterior, el costo total puede ser expresado mediante (7) [14].

$$CT^* = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S \tag{7}$$

Donde:

$Q$ = cantidad óptima de pedido.

$D$ = demanda anual.

$H$ = costo anual por mantener una unidad en inventario.

$S$ = costo por pedido por lote.

El tamaño de lote óptimo se obtiene al derivar la ecuación de costos totales (7), con respecto a  $Q$ , obteniendo la EOQ (9).

$$\frac{\partial CT(Q)}{\partial Q} = -\frac{D}{Q^2}S + \frac{H}{2} \tag{8}$$

$$EOQ^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \tag{9}$$

El modelo minimiza los costes totales, bajo los supuestos de: demanda constante, tiempo de espera conocido y constante, no existe quiebres de inventario y no se consideran descuentos por volumen [15].

### C. Procesamiento De La Información

En el proceso de levantamiento de información se pudo encuestar a 17 CA y 166 transportistas. En general, se recurrió a la siguiente metodología:

Determinación de Modelos a utilizar: De los modelos planteados anteriormente se determinó cual es el más adecuado para cada uno de los distintos CA, y sus respectivos proveedores.

Caracterización de los Parámetros: Acorde al modelo a utilizar en cada uno de los CA, se levantó información pertinente ya sea para el modelo de Glock (Modelo 1) o el EOQ tradicional (Modelo 2).

Costeo: De acuerdo al caso de cada uno de los CA, se costearon las distintas actividades, la cuales son necesarias para los respectivos modelos. Para esta fase se utilizaron los parámetros brutos obtenidos en la fase de Caracterización.

Para la estructuración de los costos logísticos, se consideró la clasificación propuesta por Ballou [10] y C. Portal [16]; ciertos parámetros como por ejemplo cantidad de envío y almacenamiento, fueron tomados de forma diaria, debido a que es con ésta frecuencia con la que por lo común funciona el sector lácteo.

La implementación de los modelos matemáticos, y en especial el modelo 1, consideran la mayor cantidad de variables del problema principal, en un intento por capturar lo mejor posible las condiciones reales. Los costos operacionales incluyen los costos de aprovisionamiento, almacenamiento y administración. También se contemplaron los costos de trans-

porte, que incluyen: remuneración del personal involucrado, combustible, mantenimiento, depreciación y costos varios (insumos de limpieza, pruebas de calidad, lavado de los camiones o camionetas, entre otros).

Además, se recurrió a S. Noega [17] para la determinación de los costos de preparación de pedido, necesarios para el cálculo del modelo 1. Éste costo conlleva las actividades del transportista, las cuales permiten la recolección y entrega de la leche cruda a su lugar de destino; parámetro conformado por el costo del conductor y del auxiliar, desglosado en las fases de preparación, manipulación, entrega y verificación de la calidad del producto.

**Programación:** Los dos modelos fueron calculados en Excel. Sin embargo, para el caso del modelo 1 fue necesario utilizar la herramienta *Visual Basic*, esto debido a la dificultad relativamente mayor de los bucles de cálculos.

**Validación:** Se evaluaron las utilidades operacionales reales y las hipotéticas en caso de utilizar los modelos planteados.

El modelo 1 se implementó en cuatro CA y en 31 transportistas, quienes cumplieron los requisitos para su aplicación; mientras que el modelo 2 se aplicó al resto de los CA encuestados.

### III. Análisis de resultados

A nivel general, la gestión y las actividades en los centros de acopio que manejan inventarios se realiza de forma empírica en aproximadamente el 57% de los CA encuestados. Por otro lado, en caso de implementar los modelos propuestos en este estudio, potencialmente podrían ser optimizados un 35% de los costos logísticos de los CA, así como el 19% para el caso de los costos de transporte.

Los resultados del modelo 1 se presentan en la tabla I. En la primera columna de esta se presentan los distintos CA, el Q óptimo para el sistema, y la demanda del comprador; en la segunda columna se enumeran los transportistas; en la tercera columna se especifica el total de litros de leche que recolecta diariamente cada proveedor. En la columna contigua se presentan las variables binarias, siendo 1 cuando el proveedor ha sido seleccionado y 0 en caso de no serlo. Como se observa para el presente estudio, todos los proveedores fueron seleccionados (variable binaria igual a 1).

Los resultados se obtuvieron luego de 524 287 combinaciones ( $2^N-1$ ), en el caso de estudio CA2, y 15 combinaciones en cada uno de los tres casos de estudio restantes. Los valores presentados en las columnas quinta y sexta, muestran los porcentajes de la demanda así como las cantidades ideales correspondientes a cada proveedor, de tal manera que se satisfaga la demanda del comprador (CA).

Para la aplicación del modelo 2 se utilizó el programa informático Microsoft Excel, con el cual se determinó la EOQ, según lo establecido por Lee Krajewski, Larry Ritzman y Manoj Malhotra. Este modelo se aplicó únicamente en los CA que no fueron considerados dentro del primer modelo.

En las tablas II y III se presentan los valores de las cantidades y costos optimizados así como los costos reales para el caso del modelo Glock.

Los resultados del modelo 2 se presentan en la tabla IV, en donde también se observan las diferencias de costos entre las cantidades reales y las optimizadas.

Es evidente que en algunos casos, tanto dentro del modelo 1 como del 2, los costos son optimizados de manera significativa. No obstante para corroborar el beneficio de los resultados en la toma de decisiones, se calculó el ratio financiero margen de utilidad bruta. Las utilidades brutas: del sistema sin optimizar, así como del sistema optimizado, se presentan en la tabla V.

En la tabla V se puede observar que casi todos los CA se benefician con la optimización propuesta, es decir, obtienen mejores resultados marginales (no consideran los costos de compra del producto sino tan solo los ya descritos. Se asume que no hay descuento por cantidad) que en las condiciones actuales. Las excepciones son los CA6 y CA8, en los cuales conviene mantener sus demandas actuales. Es posible que en estos centros la información necesaria para el modelo no haya sido capturada de manera adecuada.

Tabla I. Resultados del modelo implementado a los proveedores de los Centros de Acopio

Lugar de destino (CA)	No. de proveedor	Pi	Mi	Bi	Qi	Comprobación (βi)
		Cantidad de recolección diaria del proveedor (actual) [ltrs]	No. Entregas por lote del proveedor	Proporción de tamaño de lote pedido del proveedor [%]	Tamaño de lote ideal de recolección del vendedor i (qi=β*Qopt) [ltrs]	0≤β≤(Pi/D)
CA2 Q óptimo: 17 572 Demanda: 20 000	1	320	1	0,02	281	0,02
	2	950	1	0,05	835	0,05
	3	1 000	1	0,05	879	0,05
	4	6 800	1	0,18	3 090	0,34
	5	1 300	1	0,07	1 142	0,07
	6	1 500	1	0,08	1 318	0,08
	7	1 200	1	0,06	1 054	0,06
	8	480	1	0,02	422	0,03
	9	380	1	0,02	334	0,02
	10	580	1	0,03	510	0,03
	11	1 352	1	0,07	1 188	0,07
	12	400	1	0,02	352	0,02
	13	400	1	0,02	352	0,02
	14	1 200	1	0,06	1 054	0,06
	15	1 140	1	0,06	1 002	0,06
	16	900	1	0,05	791	0,05
	17	1 480	1	0,07	1 300	0,08
	18	400	1	0,02	352	0,02
	19	1 500	1	0,08	1 318	0,08
R//		23 282		1,00	17 572	
CA6	1	1 500	1	0,32	669	0,42
Q óptimo:	2	1 300	1	0,31	648	0,36
2 089,09	3	1 300	1	0,28	585	0,36
Demanda:	4	300	1	0,09	188	0,10
3 600	R//	4 400		1,00	2 089	
CA8	1	1 170	1	0,22	565	0,29
Q óptimo:	2	1 200	1	0,21	540	0,30
2 569,15	3	1 500	1	0,26	668	0,38
Demanda:	4	1 600	1	0,31	796	0,40
4 000	R//	5 470		1,00	2 569	
CA15	1	750	1	0,24	420	0,38
Q óptimo:	2	600	1	0,24	420	0,30
1 749,65	3	1 500	1	0,36	630	0,75
Demanda:	4	300	1	0,16	280	0,20
2 000	R//	3 150		1,00	1 750	

Fuente: Cálculos ejecutados por el Modelo 1 y por los autores, con base en los datos del estudio realizado a los transportistas proveedores.

Tabla II. Resultados del modelo 1 implementado a los Centros de Acopio

CENTROS DE ACOPIO	D (CA) Demanda del comprador CA (ltrs)	Datos Actuales			Datos Optimizados			
		CTc Costo Total CA (actual) (\$)	CTp Costo Total recolector (actual) (\$)	CTs Costo Total del Sistema (actual) (\$)	Qopt Cantidad óptima de pedido del Sistema (ltrs)	CTc* Costo Total CA (Óptimo) (\$)	CTp* Costo Total Recolector (Óptimo) (\$)	CTs* Costos Totales del Sistema (Optimizados) (\$)
CA2	2 000	\$ 175,82	\$ 571,98	\$ 747,79	17.572	\$ 120,51	\$ 559,60	\$ 680,10
CA6	3 600	\$ 41,73	\$ 67,94	\$ 109,67	2.089	\$ 31,13	\$ 57,99	\$ 89,12
CA8	4 000	\$ 33,97	\$ 110,78	\$ 144,74	2.569	\$ 22,44	\$ 91,87	\$ 114,30
CA15	2 000	\$ 37,24	\$ 94,58	\$ 131,82	1.750	\$ 23,09	\$ 54,08	\$ 77,18

Fuente: Autores

Tabla III. Resultados del modelo 1 implementado a los Centros de Acopio

CENTROS DE ACOPIO	Diferencias							
	Diferencia Costos Totales del Sistema (\$)		Diferencia Qopt del Sistema (ltrs)		Diferencia Costos Totales de CA (\$)		Diferencia Costos Totales de Recolectores (\$)	
		%		%		%		%
CA2	\$ (67,69)	-9,05%	-2 428	-12,14%	\$ (55,31)	-31,46%	\$ (12,38)	-2,16%
CA6	\$ (20,55)	-18,74%	-1 511	-41,97%	\$ (10,61)	-25,41%	\$ (9,94)	-14,64%
CA8	\$ (30,44)	-21,03%	-1 431	-35,77%	\$ (11,53)	-33,95%	\$ (18,91)	-17,07%
CA15	\$ (54,64)	-41,45%	-250	-12,52%	\$ (14,15)	-37,99%	\$ (40,49)	-42,81%

Fuente: Autores

Tabla IV. Resultados del modelo 2 implementado a los Centros de Acopio

CENTROS DE ACOPIO	Costo Actual		Costo Óptimo		Diferencias			
	D (CA)	CTc	EOO *	CTc*	Diferencia			
	Demanda del Comprador CA (ltrs)	Costo Total CA Actual (\$)	EOO (Óptimo) (ltrs)	Costo Total CA (Óptimo) (\$)	Diferencia Costo Total (\$)	%	Diferencia Demanda y EOO (lts)	%
CA1	10 000	\$ 108,74	8.070	\$ 78,98	\$ (29,76)	-27,37%	-1.930	-19,30%
CA3	20 000	\$ 128,65	14.783	\$ 81,35	\$ (47,30)	-36,77%	-5.217	-26,08%
CA4	2 000	\$ 98,22	1.842	\$ 77,91	\$ (20,32)	-20,69%	-158	-7,88%
CA5	4 000	\$ 160,91	3.682	\$ 123,96	\$ (36,95)	-22,96%	-318	-7,94%
CA7	3 800	\$ 39,30	2.128	\$ 19,03	\$ (20,28)	-51,59%	-1.672	-44,00%
CA9	1 700	\$ 25,12	894	\$ 11,60	\$ (13,52)	-53,82%	-806	-47,44%
CA10	1 500	\$ 36,33	719	\$ 15,62	\$ (20,71)	-57,01%	-781	-52,07%
CA11	1 800	\$ 33,27	906	\$ 14,86	\$ (18,41)	-55,33%	-894	-49,68%
CA12	1 600	\$ 82,79	1.154	\$ 56,50	\$ (26,29)	-31,76%	-446	-27,90%
CA13	1 500	\$ 83,61	960	\$ 49,84	\$ (33,77)	-40,39%	-540	-36,01%
CA14	1 800	\$ 83,99	1.460	\$ 61,73	\$ (22,26)	-26,50%	-340	-18,90%
CA16	1 700	\$ 26,90	885	\$ 12,34	\$ (14,57)	-54,15%	-815	-47,93%
CA17	25 000	\$ 162,66	17.439	\$ 95,89	\$ (66,77)	-41,05%	-7.561	-30,25%

Fuente: Autores

Hay que mencionar que al analizar los costos logísticos, se encontró que los valores monetarios que prevalecen en los eslabones del sector, son los costos variables, en especial el costo de la mano de obra directa y el de transporte, debido a su impacto en los procesos de recolección, almacenamiento y despacho; mientras que los costos fijos, al parecer, tendrían una importancia marginal, excepto en los casos en los cuales se cuenta con personal administrativo adicional; aunque inclusive en estos casos, su importancia no es mayor. En este sentido, los costos fijos, en todos los casos contemplan los rubros de depreciación de maquinaria, de vehículos y de bidones de acero inoxidable, aunque cabe mencionar que muchos de aquellos, o están próximos a terminar su vida útil o ya lo hicieron.

Adicional se determinó que no toda la leche cruda producida y recolectada en el sector se destina solamente a los CA de la provincia del Azuay, sino que además se derivan a CA o Empresas Industriales ubicadas en otras provincias, a vendedores de "leche de balde" (venta de leche informal), a mercados y a procesadoras de derivados lácteos locales.

Tabla V. Resultados Marginales pre y post-optimizados Q.

CENTROS DE ACOPIO	Ventas Diarias Reales CA (\$)	Ventas Diarias Optimizadas (\$)	Resultados Marginales (Reales)	Resultados Marginales (Optimizadas)
CA1				
CA2				
CA3				
CA4				
CA5	\$ 5 000	\$ 4 034,99	97,83%	98,04%
CA6	\$10 000	\$ 8 786,08	98,24%	98,63%
CA7	\$ 9 000	\$ 6 652,53	98,57%	98,78%
CA8	\$ 920	\$ 847,52	89,32%	90,81%
CA9	\$ 2 000	\$ 1 841,11	91,95%	93,27%
CA10	\$ 1 656	\$ 960,98	97,48%	96,76%
CA11	\$ 1 805	\$ 1 010,77	97,82%	98,12%
CA12	\$ 1 840	\$ 1 181,81	98,15%	98,10%
CA13	\$ 808	\$ 424,41	96,89%	97,27%
CA14	\$ 705	\$ 337,93	94,85%	95,38%
CA15	\$ 846	\$ 425,72	96,07%	96,51%
CA16	\$ 752	\$ 542,16	88,99%	89,58%
CA17	\$ 713	\$ 455,94	88,27%	89,07%
	\$ 855	\$ 693,44	90,18%	91,10%
CA15	\$ 1 040	\$ 909,82	96,42%	97,46%
CA16	\$ 808	\$ 420,44	96,67%	97,07%
CA17	\$11 875	\$ 8 283,35	98,63%	98,84%

Fuente: Autores.

#### IV. Conclusiones

A pesar del involucramiento de organismos estatales de control y de empresas privadas en la dinámica del ciclo de abastecimiento y recolección de leche cruda, la gestión en el sector lácteo, y en su cadena de suministro, parece ser ejecutada de manera empírica.

La aplicación y ejecución de estos modelos, carece de incentivos necesarios, más aún si se considera la tendencia a la baja en los precios.

La escasez de capital humano que pudiese materializar cualquier sugerencia de mejoramiento operativo y de gestión a nivel general y particular, es un obstáculo, aún difícil de sortear.

El modelo 1 considera la integración de los actores en la cadena de suministro, optimizando la cantidad de demanda y considerando los costos, tanto del comprador como del proveedor. El modelo 2 optimiza la demanda y costos, exclusivamente desde el enfoque del comprador.

Cuantitativamente, los mejores incrementos en resultados marginales, obtenemos en los CA4, CA5 y CA15, los cuales incrementan un 1,49%, 1,32%, y 1,04% respectivamente. Los dos primeros corresponden al modelo EOQ tradicional, mientras que el tercero, al modelo GLOCK. En general los incrementos en los resultados marginales pudiesen parecer minúsculos. No obstante, al considerarlos en un contexto anual, dichos incrementos podrían marcar, sino una ventaja competitiva, si una fuente de recursos significativa.

Finalmente, esta investigación encontró limitantes que dificultaron una caracterización precisa de datos, influyendo en la implementación estricta del modelo. Por

ejemplo, algunos transportistas se negaron a proporcionar información. En el caso de los Centros de Acopio, algunos proporcionaron información inexacta, debido a que no existen registros. En todo caso si bien el entorno estudiado es extremadamente cambiante, debido al ingreso y egreso espontáneo de participantes en la cadena de suministro, el presente estudio sirve como directriz general, para una mejora paulatina en la gestión de los eslabones estudiados.

#### V. Referencias

- [1] I. de P. de E. e I. PROECUADOR, "Perfil Sectorial de Lácteos y Cárnicos," Quito, Ecuador, 2016.  
[http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/07/proec\\_psi2016\\_lacteos.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/07/proec_psi2016_lacteos.pdf)
- [2] D. El Telégrafo, "Leche, producto sensible entre la UE y Ecuador," El Telégrafo. Guayaquil, 2015.  
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/leche-producto-sensible-entre-la-ue-y-ecuador-infografia>
- [3] S. Ochoa, "Ganaderos reciben hasta \$0,30 por litro de leche," El Universo, no. Ecuador, 2016.  
<https://www.eluniverso.com/noticias/2015/01/18/nota/4447796/ganaderos-reciben-hasta-030-litro-leche>
- [4] MAGAP-DPA-AZUAY, "Información Solicitada," Cuenca, MAGAP-DPAZUAY-2017-0096-OF, 2017. (Información primaria)
- [5] D. El Comercio, "Un menor consumo impacta en la industria láctea y el sector ganadero.," Diario El Comercio, Quito, p. A2, 23-Feb-2016.  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/menor-consumo-impacta-industria-lactea.html>
- [6] El Mercurio, "Productores lecheros crearán microempresa acopiadora," Diario el Mercurio, Cuenca, p. 3B, 07-Jan-2016. (Documento físico)
- [7] H. P. Castillo y J. P. Bermeo, "Propuesta de Sistemas Inteligentes para la Implementación de un Modelo de Gestión Triple A en la cadena de suministro de Centros de Acopio de Leche Cruda en la Provincia del Azuay," Universidad Politécnica Salesiana, Escuela de Administración de Empresas, 2013.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3677/1/UPS-CT002573.pdf>
- [8] A. E. de A. de la C. del A. AGROCALIDAD and M. de A. G. A. y P. MAGAP, Manual de Procedimientos para la vigilancia y control de la inocuidad de leche cruda. Ecuador, 2013.  
<http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Resolucion%20Leche%20Cruda-opt.pdf>
- [9] L. J. Krajewski, L. P. Ritzman, and M. K. Malhotra, Administración de operaciones, Procesos y Cadenas de valor, Pearson Ed. México, 2008.
- [10] R. Ballou, Logística, Administración de la Cadena de Suministro, Pearson Ed. México, 2004.
- [11] A. Ramos, P. Sánchez, J. M. Ferrer, J. Barquín, and P. Linares, "Modelos Matemáticos de Optimización," Madrid, España, 2010.
- [12] C. J. Vidal Holguín, Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios. Santiago de Cali, Colombia, 2010.
- [13] C. H. Glock, "A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors," Germany, 2011.
- [14] D. Erlenkotter, "Ford Whitman Harris and the Economic Order Quantity Model," 1990.
- [15] L. J. Krajewski, L. P. Ritzman, and A. González, Administración de Operaciones: Estrategia y Análisis, Pearson Ed. México, 2000.
- [16] C. A. Portal, "Costos Logísticos," Asunción, Paraguay, 2015.
- [17] S. Noega, "Picking: Preparación de pedidos en el Almacén," 2015.