



EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ORDEÑOS MECÁNICOS EN LA CADENA LÁCTEA EN LA REGIÓN DE CUNDINAMARCA

EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF MILKINGS MECHANICS IN DAIRY CHAIN IN THE REGION CUNDINAMARCA

Enrique Estupiñan Escalante ¹

Luz-Angelica Rodríguez Bello ²

Omar Andres Parra Urrego ³

Darwin Antonio Baquero Sandoval ⁴

Sonia Alexandra Jaimes Suarez ⁵

Abstract: La cadena de suministro del sector lácteo está conformada por cuatro eslabones: el primario o ganadero, el industrial o de transformación, el comercializador y el de consumo. El primero, es el que ofrece mayor oportunidad para incrementar la productividad y así lograr mayor competitividad. En este sentido, se busca avanzar de 4,5 litros/día/vaca a 15,2 litros/día/vaca, valor que se registra en países como Nueva Zelanda. Dado que el costo del ordeño manual representa un 43% del costo de mano de obra y éste representa el 66% del total de los costos de producción por litro de leche, la automatización del ordeño ofrece una reducción en estos e incremento en la productividad, sin embargo, produce un aumento en el costo de maquinaria. Al compararlos con el precio de venta se obtienen beneficios que recibe el ganadero. Estos beneficios se reinvierten en equipos de automatización permitiendo el incremento en la productividad y competitividad del eslabón primario. Para tal efecto, se realiza un modelamiento, a través de dinámica de sistemas ajustado a los parámetros de producción, población y cabezas de ganado productivas. Se evalúan escenarios, en donde se evidencia la mejora en la productividad del ganado, los hatos y la demanda de productos lácteos, dando como resultado que las buenas prácticas de manufactura impactan las inversiones intensivas en tecnificación de los hatos.

Palabras clave: Automatización de ordeño, Industria láctea, dinámica de sistemas, cadena de suministro.

KEYWORDS: Milking automation, Milk industry, systems dynamics, supply chain.

¹ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - enrique.estupinan@escuelaing.edu.co

² Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - angelica.rodriguez@escuelaing.edu.co

³ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - omar.parra@escuelaing.edu.co

⁴ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - darwin.baquero@mail.escuelaing.edu.co

⁵ Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - sonia.Jaimes@escuelaing.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro de los lácteos en Colombia tuvo un relevante crecimiento en los últimos años. Desde el 2009 hasta la fecha, el acopio de leche se ha incrementado en un 49% pasando de recibir 2.200 a 3.290 millones de litros en la industria (Asociación Colombiana de Procesadores de Leche - ASOLECHE, 2016).

Sin embargo, en algunas zonas del país, como Cundinamarca, el crecimiento no fue continuo. Los primeros tres meses del año, el acopio de leche sufrió un descenso del 17 % con respecto al año 2015 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, 2016).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, *es evidente que esta cadena agroalimentaria implica varios riesgos, entre ellos, el fenómeno del niño. Este efecto ha logrado reducir la capacidad productiva del ganado, lo que ha generado un fuerte aumento en la variabilidad de los precios, incremento del 8,3 % (MADR, 2016), e incremento en la inflación 7 % (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2016); además de un desequilibrio entre la oferta y la demanda entre otros.*

Este tipo de negocio asume diferentes escenarios, debido a que depende fuertemente del cambio climático. La calidad del pasto así como las temperaturas en tiempos de lactancia afectan negativamente la productividad del ganado (Cross, 1994).

Algunos estudios sectoriales han concluido que el mercado de la leche se ha convertido en un oligopsonio; muchos oferentes y pocos compradores industriales (Federación Colombiana de Ganaderos – FEDEGAN, 2015). Así mismo, cerca del 44 % de la leche es administrada por canales informales.

En este sentido, el sector ha tenido que lidiar con más apuros en las actividades que componen su cadena de suministros, como los elevados costos de producción, el bajo poder de negociación de los proveedores del sector primario, la corta vida de la leche cruda, la relación estacionalidad-precio, la informalidad, el no desarrollo de la integración en la cadena de suministros, los tratados de libre comercio etc. (Superintendencia de Industria y Comercio – SIC, 2012).

Por lo tanto, el desempeño de esta industria, se aferra a la anticipación de la acción en la generación de sus productos con el objeto de incrementar su competitividad a partir de: una elección de partners, la ordenación de la red y el liderazgo (Kilger, 2005). Sin embargo, para mejorar la efectividad, debe haber un balance o ajuste estratégico entre las prioridades que se desean satisfacer en el mercado y las capacidades de la cadena que se desea construir teniendo en cuenta la configuración del riesgo (Chopra, 2013)

La complejidad de estas cadenas, aguas abajo, ha aumentado a tal punto que los centros de distribución están siendo ubicados cerca a los clientes. Los “Just in case” como los denomina el columnista del New York times, Matt Hudgins, permite a los mayoristas atender a sus clientes en un entorno competitivo y de alto riesgo.

Buena parte de esta práctica, se ha atribuido al incremento en el costo del transporte, que trae consigo ciertas ventajas en aprovisionamiento, bajos costos, flexibilidad, entre otros (Hudgins, 2013).

Entendiendo los tradeoff como un equilibrio entre las ventajas y desventajas de las actividades de esta cadena (Acopio, Stock, lead time, nivel de inventario etc.), para obtener un nivel deseado de servicio, se hace relevante determinar la dinámica de sus interacciones frente a los posibles escenarios (Jain, 2004).

De acuerdo a lo anterior, las diferentes interacciones se podrían estudiar utilizando dinámica de sistemas. Ésta es entendida como la comprensión de un sistema a partir de sus interacciones desde una situación inicial, que frente a estímulos externos logra evaluar el comportamiento de sus variables (Sterman, 2002).

II. ESTADO DEL ARTE

Como ítem relevante del Plan Nacional de Desarrollo del actual Gobierno, la cadena láctea se convierte en un mercado potencial de crecimiento dado su ubicación geoestratégica. La abundancia de planicies y valles, facilitan los procesos de producción de lácteos.

Con una participación del 24% del PIB pecuario de Colombia, el 38% de esta producción está situada en la región del Atlántico, seguida de un 30% en la región occidental (Antioquia y Eje Cafetero), un 20% en la zona central (Cundinamarca y Boyacá) y un 6% en la zona pacífica (Nariño) (ASOLECHE, 2016; FEDEGAN, 2015).

En la zona central, Cundinamarca cuenta con dos importantes Cuencas, la de Ubaté y la de Chiquinquirá, las cuales, a través de sus 8 centros de acopio reciben de 15.000 hasta 100.000 litros de leche en el día por Empresa (FEDEGAN, 2015). Sin embargo, poblaciones como el Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Ubaté, aportan 2.4 millones de litros al día.

Esta región se caracteriza por tener una fuerte asociatividad en el Clúster. Hace 11 años, eran pequeños productores con bajo nivel de negociación, pero, a raíz de un proyecto de la Gobernación de Cundinamarca hay un ejemplo de asociatividad y se conforman nuevas cooperativas (Contexto Ganadero, 2014).

Lamentablemente, el sector se ha visto golpeado por las altas temperaturas. Las 4 cuencas lecheras reportaron una reducción entre un 30 y 50 % en los primeros meses del 2016. En el caso de Cundinamarca, la ausencia de lluvias ha generado un descenso en la calidad de pastos, haciendo que la necesidad los insumos agropecuarios eleven sus precios (Contexto Ganadero, 2016).

Lo anterior, acompañado de un mal precio pagado al productor, el desinterés de algunos ganaderos por pagar impuestos y por acreditar sus fincas "Sin enfermedades", y la falta de proyectos Gubernamentales para cambiar la visión de la mayoría de productores, hace que el 50 % de la producción lechera siga en el campo de la informalidad (Contexto Ganadero, 2016).

Dada su compleja sinergia y problemática, el mercado lácteo en Cundinamarca fue escogido para ser evaluado y simulado mediante la Dinámica de Sistemas. Este concepto, como un método de simulación, es una herramienta práctica en la estructuración de sistemas dinámicos y complejos (Forrester, 1968).

Esta metodología fue diseñada por Jay Forrester en la década de los 50 en el Massachusetts Institute of Technology - MIT. Dicha herramienta, pretende un análisis exhaustivo de los sistemas complejos y no lineales con el objeto de lograr una dinámica de aprendizaje y la construcción de políticas para regular el sistema (Stermán, 2013).

El objetivo se basa en la búsqueda de situaciones que alteran la movilidad del sistema a partir de experimentación o escenarios para evaluar el comportamiento de sus variables. A partir de una respuesta evaluada por parte de las variables, se construye una toma de decisiones que logrará sortear algunas amenazas al desarrollo del sistema. Todo esto conlleva a que se presenten los resultados favorables y listos para ser aplicados en la realidad (Stermán, 2002).

La ventaja de esta herramienta se basa en la combinación de teoría, métodos y algunas filosofías para analizar patrones en diferentes campos, para este caso, un análisis productivo, económico y logístico del sector en particular (Forrester, 2007).

III. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR LÁCTEO EN CUENCA CUNDINAMARCA

En la cadena del sector lácteo se diferencian varias cuencas en la producción de leche en el país, las cuales se agrupan por regiones así: Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Santander, Caquetá y Nariño. Éstas tienen diferencias en: caracterización, productividad, organización,

comercialización, logística y márgenes de utilidad. Siendo Cundinamarca una de las cuentas más grandes y en la cual tenemos acceso de información, es el objeto de estudio de este proyecto.

Dicha cadena láctea tiene diferentes eslabones, el primario formado por los ganaderos, el eslabón industrial del cual hacen parte las empresas procesadoras, el eslabón comercializador formado por los comercializadores y finalmente el eslabón del consumidor.

El eslabón primario o ganadero, de la cadena lechera en Cundinamarca, cuenta con 918.460 cabezas de las cuales el 60,1% son hembras. De la totalidad de vacas el 50% son para producción exclusiva de carne y el otro 50% es para producción de leche, siendo el 38% de doble propósito (producción leche y carne) y el restante 12% para la producción exclusiva de leche.

La producción de leche proviene de ganado de doble propósito (40%) y producción exclusiva de leche (60%). Los litros producidos anuales son 960 millones Datos estos para 2010, año base del modelo de simulación (Corporación Colombiana Internacional - CCI, 2013).

Además, las fincas ganaderas tienen diferentes tamaños, para este estudio consideramos que el 45% de las fincas son pequeñas y tienen entre 1 y 10 cabezas de ganado, las fincas medianas representan el 36% y tienen entre 11 y 50 cabezas de ganado y cuando se poseen más de 51 cabezas de ganado son consideradas fincas grandes y representan el 19%. Estos tamaños influyen la distribución de los costos, pues entre más grandes, tienden a tener mayor cantidad de maquinaria y disminuir costos por mano de obra; pero, ya que el 81% son medianas y pequeñas fincas, estas tienen oportunidades de competitividad en la disminución de los costos de operación.

En el eslabón industrial, la industria procesa el 66% de la leche primaria producida, recibe leche de acopio formal y leche que va directamente a la industria. El 23% va a la industrial artesanal. El resto de leche se va para usos varios, los cuales incluye la leche que se procesa en finca, el autoconsumo y venta a vecinos (Corporación Colombiana Internacional - CCI, 2013; Superintendencia de Industria y Comercio, SIC, 2012). La producción industrial es variada siendo los principales productos: la leche líquida (la cual incluye leche pasteurizada, ultra-pasteurizada y UTH - ultra-high temperature), leche en polvo, quesos, leches ácidas (yogures, kumis) y mantequilla. Se estableció un porcentaje general de participación de estos productos en la producción industrial, pero realmente cada industria tiene un comportamiento específico de acuerdo al mercado que atiende, como se evidencia en la tabla. Ver Tabla 1.

TABLA 1.
PARTICIPACIÓN PRODUCTOS INDUSTRIALES [20].

Producción Industrial	Participación (%)
Leche (pasteurizada, ultra-pasteurizada y UTH)	49
Leche polvo	16
Quesos	19
Leches ácidas	13
Mantequilla	2
Leche concentrada	1

Fuente: (SIC, 2012)

A nivel artesanal, se vende leche cruda, leches ácidas y queso. El principal diferenciador entre el nivel artesanal y la industria, es el precio, siendo el queso el producto que deja una margen de ganancia mayor.

La producción nacional se ve complementada por las importaciones, que en su gran mayoría es: leche en polvo (53%), leches ácidas (36%), quesos (6%) y en cantidades menores leche líquida y leche concentrada (FEDEGAN, 2009).

De otro lado, para producir los diferentes productos se utiliza como insumo principal la leche, pero en diferentes proporciones como se muestra en la tabla, cabe anotar que cada industria puede tener eficiencias diferentes. Ver Tabla 2.

TABLA 2.
CANTIDAD DE LECHE ENTERA PARA PRODUCIR OTROS PRODUCTOS LÁCTEOS.

Para producir	Cantidad leche entera
Queso (1kg)	7 litros
Yogurt (100g)	1,25 litros
Leche polvo (1kg)	8,3 Kg
Mantequilla (1kg)	22 litros
Leche concentrada(1kg)	0,5 litros

Fuente: Varios autores

En el eslabón de comercialización, se usan diferentes canales como son: los minoristas, mayoristas, puntos directos, y canal institucional. Los minoristas son los más relevantes pues en la mayoría de los casos éste canal comercializa más del 70% de la producción. Los puntos directos ofrecen ventajas al consumidor por los descuentos que otorgan, así como los canales institucionales que tienen precios favorables porque llegan directo al cliente sin intermediarios.

Parte de la comercialización son las exportaciones. Colombia ha alcanzado una participación importante en la región y comercializa principalmente a países como Estados Unidos, Aruba, y otros en Centro América. Los productos que se exportan son: quesos (46%), leche en polvo (16%), leche ácida (16%), leche líquida (14%), mantequilla (6%) y leche concentrada (3%) (FEDEGAN, 2009; Grupo Éxito, 2013; La República, 2015; Revista Dinero, 2015; Canadian Dairy Information Centre. Consumption of dairy products)

El eslabón consumo, de leche en Colombia, es inferior al promedio determinado por la FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, pues en promedio el colombiano consume 141 litros/persona/año, mientras a nivel internacional se ha fijado una ingesta promedio de 170 litros/persona/año (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 2013).

En Colombia, los diferentes estratos socioeconómicos tienen acceso a la ingesta de productos lácteos, de acuerdo a sus condiciones socioeconómicas, por lo que el consumo en litros por persona año es diferente como se muestra en la tabla. Ver Tabla 3.

TABLA 3.
CONSUMO DE PRODUCTOS LÁCTEOS POR ESTRATO SOCIOECONÓMICO.

Estrato	Producto lácteo que consume	Cantidad (litros/persona/año)
Bajo	leche cruda	38
Medio	leche entera, queso, bebidas lácteas	89
Alto	Productos especializados y leches enriquecidas	179

Fuente: (SIC, 2012)

La cuenca de Cundinamarca abastece la población de Cundinamarca y Bogotá, la cual asciende a 2.477.036 y 7.363.782 respectivamente para 2010, año de inicio de simulación (Secretaría Distrital de Planeación, 2011).

De otro lado, el sector lácteo tiene tendencias específicas, en Colombia, por ejemplo, la ingesta se produce en su gran mayoría por niños y por eso la demanda tiende a ser estacional con mayor petición en temporada escolar (SIC, 2012). A nivel general y especialmente a nivel internacional, el factor determinante en el consumo es la condición socioeconómica, seguido por la preocupación de incorporar en la dieta más productos lácteos, donde el consumidor evalúa las condiciones nutricionales y de salud en su proceso de selección de productos a ingerir. Así mismo, se ve expuesto a una oferta más rica de diferentes marcas influenciada por las políticas de mercado y la urbanización (Kearney, 2010).

IV. MODELO DE FLUJO DE LECHE

El objeto de estudio del presente artículo es el comportamiento del flujo de leche en la cadena de abastecimiento del sector lácteo. Para lo anterior, se propone la caracterización de los diferentes eslabones y las relaciones existentes entre ellos, usando dinámica de sistemas.

Desde una mirada general, la cadena del sector lácteo está compuesta por 4 eslabones: sector primario o ganadero, producción industrial de leche, comercialización y consumo final. En la Fig. 1 se presenta el diagrama causal y en la Fig. 2 el diagrama de Forrester que representan la situación antes descrita.

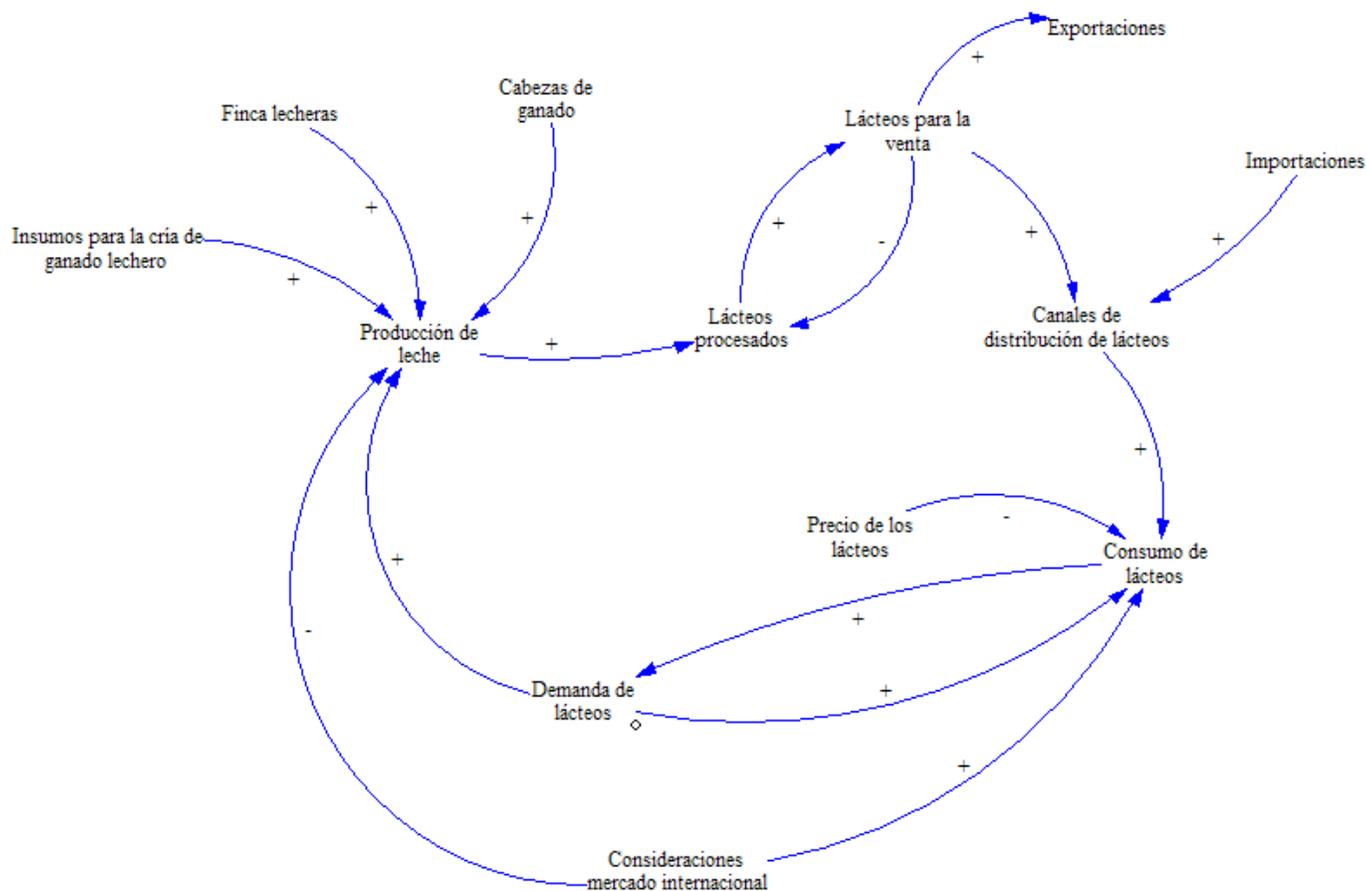


Figura 1. Diagrama Causal general del Flujo de Leche.

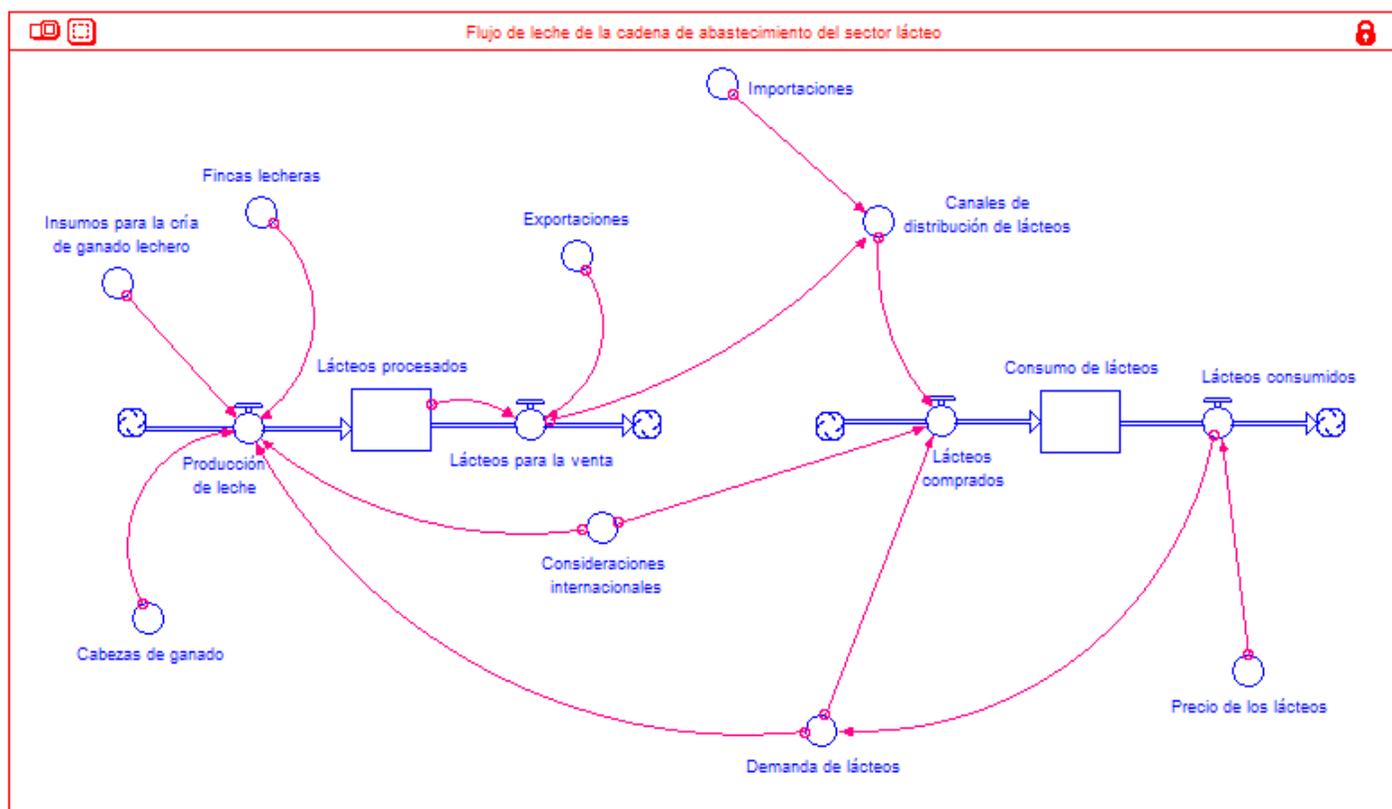


Figura 2. Diagrama de Forrester general del Flujo de Leche.

El eslabón primario o sector ganadero es el encargado de producir la leche cruda, ya sea en fincas con vacas de leche especializadas o en fincas con vacas de doble propósito. Para la caracterización de este eslabón se estudia la cantidad de leche producida, que depende del número de cabezas de ganado (especializado o doble propósito) y la disponibilidad de los insumos para la cría del ganado. La leche producida en este eslabón es enviada a la industria lechera, teniendo en cuenta la demanda nacional de lácteos.

En éste eslabón es donde hay mayor oportunidad para incrementar los niveles de productividad, reduciendo costos. En la Fig.3 se presenta el diagrama causal de este eslabón y se aprecia como los costos afectan la producción de leche de vacas especializadas y vacas de doble propósito, ya que en los costos de producción de leche, el 66% corresponde a mano de obra, 27% a insumos y 7% a maquinaria. Además, dentro de la mano de obra el ordeño es la actividad que representa mayor porcentaje con un 43% (FEDEGAN, 2015). De tal manera, que si éste se automatiza, se logrará mayor productividad y menores costos; lo cual genera un beneficio mayor que permite tomar la decisión de seguir invirtiendo en equipos de automatización con el propósito de disminuir los costos de mano de obra, incrementar la productividad en los litros de leche producida por vaca por día y así lograr mayor competitividad de este eslabón.

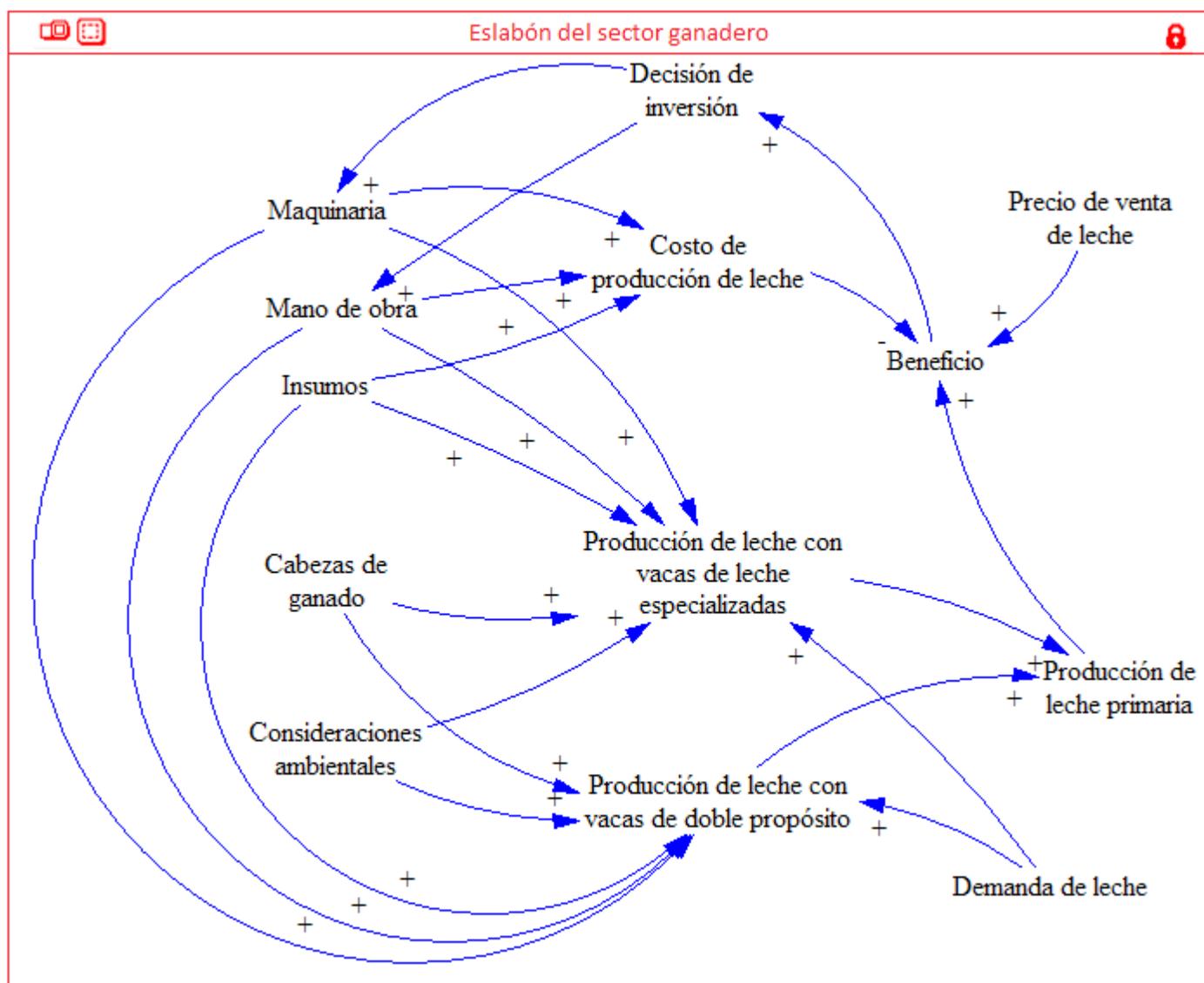


Figura 3. Diagrama causal del Eslabón del Sector Ganadero

El eslabón de producción industrial de leche tiene gran variedad de productos lácteos, pero en este estudio se considerarán los siguientes: leche líquida, leche ácida, leche en polvo, leche concentrada, queso y mantequilla. La variable en estudio en este eslabón es la producción industrial de cada uno de los productos antes mencionados, que se ve afectada por la leche enviada desde el sector primario o ganadero para procesamiento y que a su vez determina los productos enviados a comercialización en los mercados nacionales e internacionales. En la Fig. 4 se presenta el diagrama de Forrester general de este eslabón.

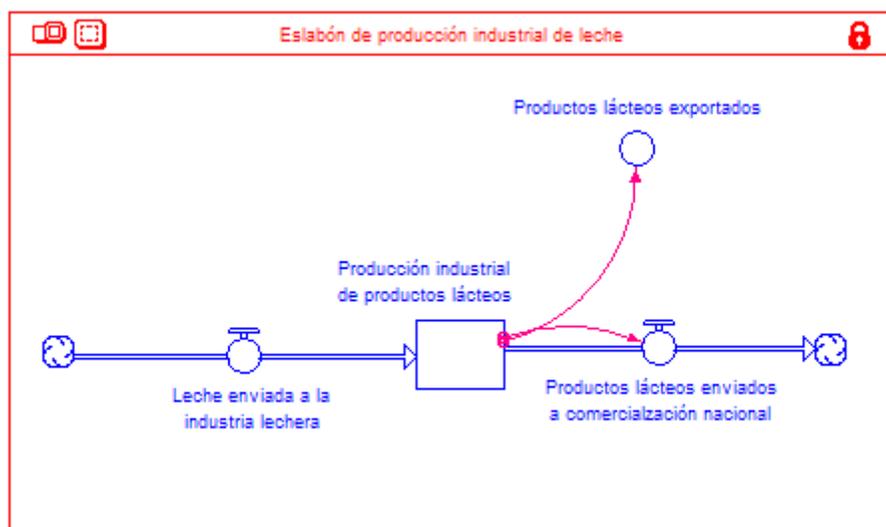


Figura 4. Diagrama de Forrester del Eslabón de Producción Industrial de Leche

El eslabón de comercialización de leche contempla 4 canales de distribución: mayoristas, minoristas, puntos directos de venta y canal institucional. La variable a analizar es la cantidad de productos lácteos distribuidos por cada uno de estos canales, que es afectada por los productos lácteos enviados del eslabón de producción industrial para el mercado nacional y además ayuda a determinar los productos lácteos enviados al eslabón de consumo, como también, aquellas devoluciones que ingresan nuevamente al eslabón de producción industrial de leche. En la Fig. 5 se presenta el diagrama de Forrester general de este eslabón.

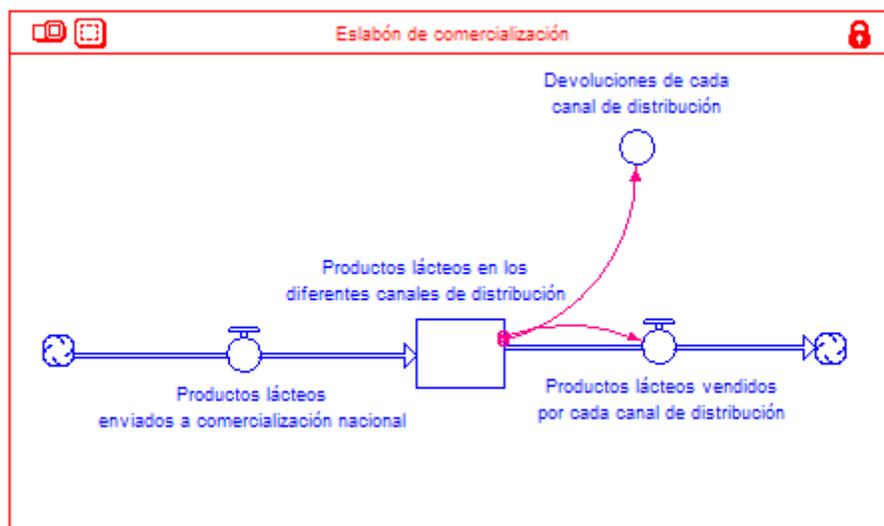


Figura 5. Diagrama de Forrester del Eslabón de Comercialización

Finalmente, encontramos el eslabón del consumo final de lácteos. En éste, la variable de mayor interés es la cantidad de productos lácteos para consumo que se ve determinada por los productos lácteos enviados desde el eslabón de comercialización (afectada por las consideraciones del mercado internacional y por la demanda de lácteos). A su vez los lácteos consumidos se ven afectados por la población de consumidores y el precio de los lácteos. En la Fig. 6 se presenta el diagrama de Forrester general de este eslabón.

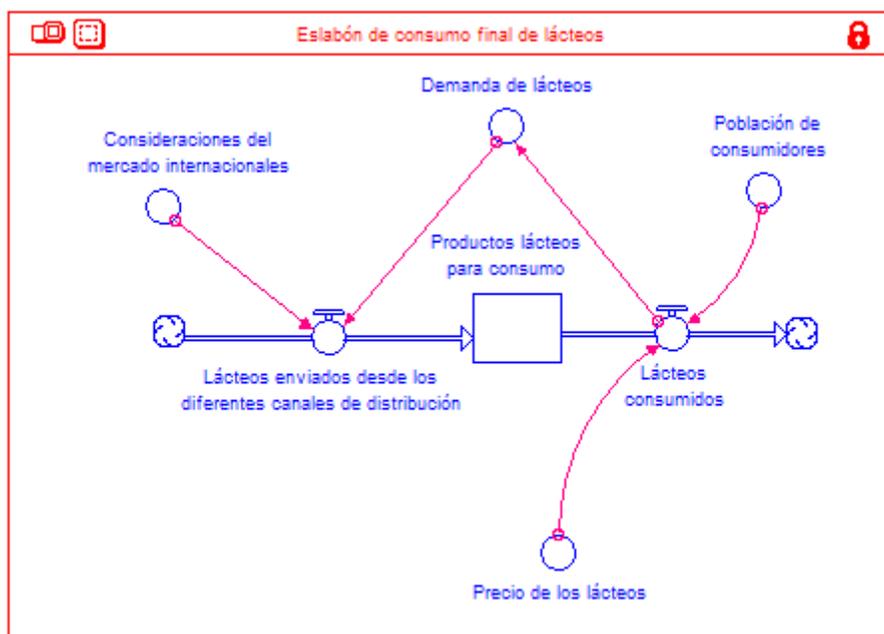


Figura 6. Diagrama de Forrester del Eslabón de Consumo Final de Leche

V. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para garantizar que el modelo refleja el comportamiento de la cadena láctea, se realizan validaciones de las variables: cantidad de vacas, producción de leche primaria y población de habitantes anual, en Cundinamarca. Tomando como referencia para las dos primeras estimaciones, un estudio técnico realizado por la Corporación Colombiana Internacional CCI en la cuenca lechera de Cundinamarca y, para la última, las estadísticas de la gobernación de Cundinamarca (ASOLECHE, 2016; Revista Dinero, 2015). Las Tablas 4, 5 y 6 muestran las variaciones porcentuales de la información arrojada por el modelo con respecto a las referencias.

TABLA 4.
COMPARACIÓN CANTIDAD DE VACAS POR AÑO.

Año	Cantidad de vacas CCI	Cantidad de vacas Modelo	Variación %
2010	459.230	493.327	7%
2011	604.435	490.893	-19%
2012	613.861	489.193	-20%

TABLA 5.
COMPARACIÓN PRODUCCIÓN DE LECHE PRIMARIA POR AÑO.

Año	Producción de Leche CCI	Producción de Leche Modelo	Variación %
2010	960.198.185	1.018.500.000	6%
2011	900.098.851	1.000.820.000	11%
2012	900.510.860	985.597.000	9%

TABLA 6.

COMPARACIÓN POBLACIÓN POR AÑO

Año	Población Cundinamarca	Población Modelo	Variación %
2010	9.840.818	9.981.384	1,43%
2011	9.985.019	10.123.967	1,39%
2012	10.128.968	10.268.597	1,38%

De acuerdo con esto, el modelo presenta una variación promedio del 11% por debajo y 9% por arriba de la estimación de cantidad de vacas y producción de leche primaria de la CCI respectivamente. En cuanto a la población en Cundinamarca, la cual incluye Bogotá, el modelo presenta una variación del 1.4% por encima de la estimación de la gobernación de Cundinamarca. Las variaciones pueden tener relación con errores en las estimaciones y con variables adicionales que se incluyen en el modelo.

Buscando validar el modelo usando casos extremos, cuando el consumo de lácteos es 0% y la producción de leche primaria es 0%, se obtiene los resultados de la Tabla 7, donde todas las variaciones se vuelven negativas, siendo este un resultado coherente a lo esperado.

TABLA 7.

VALIDACIÓN CON CASOS EXTREMOS

Consideración	Variación promedio % en producción de leche primaria	Variación promedio % en producción industrial	Variación promedio % en la comercialización de lácteos	Variación promedio % en consumo de lácteos
Consumo de lácteos 0%	-100,00%	-68,95%	-62,84%	-62,47%
Producción de leche primaria 0%	-100,00%	-68,95%	-62,84%	-62,47%

VI. RESULTADOS

Los resultados se presentan desde, el primer eslabón de la cadena, el eslabón de transformación, finalizando en el eslabón de consumo.

El modelo considera en el primer eslabón la producción en litros de leche, como se ve en la Fig. 7, esta variable presenta un comportamiento asintótico, estabilizándose alrededor de $6,2e+8$ litros, con un transiente asociado y un valor inicial alto.

Este dato inicial es estimado a partir de la productividad por día/vaca y cabezas productivas.

Dado que la demanda de los productos lácteos influye en el comportamiento, es probable que el valor inicial este un poco sobreestimado, pues son valores inferidos de mediciones de una finca y extrapolados a los restantes productores primarios. (ASOLECHE, 2016)

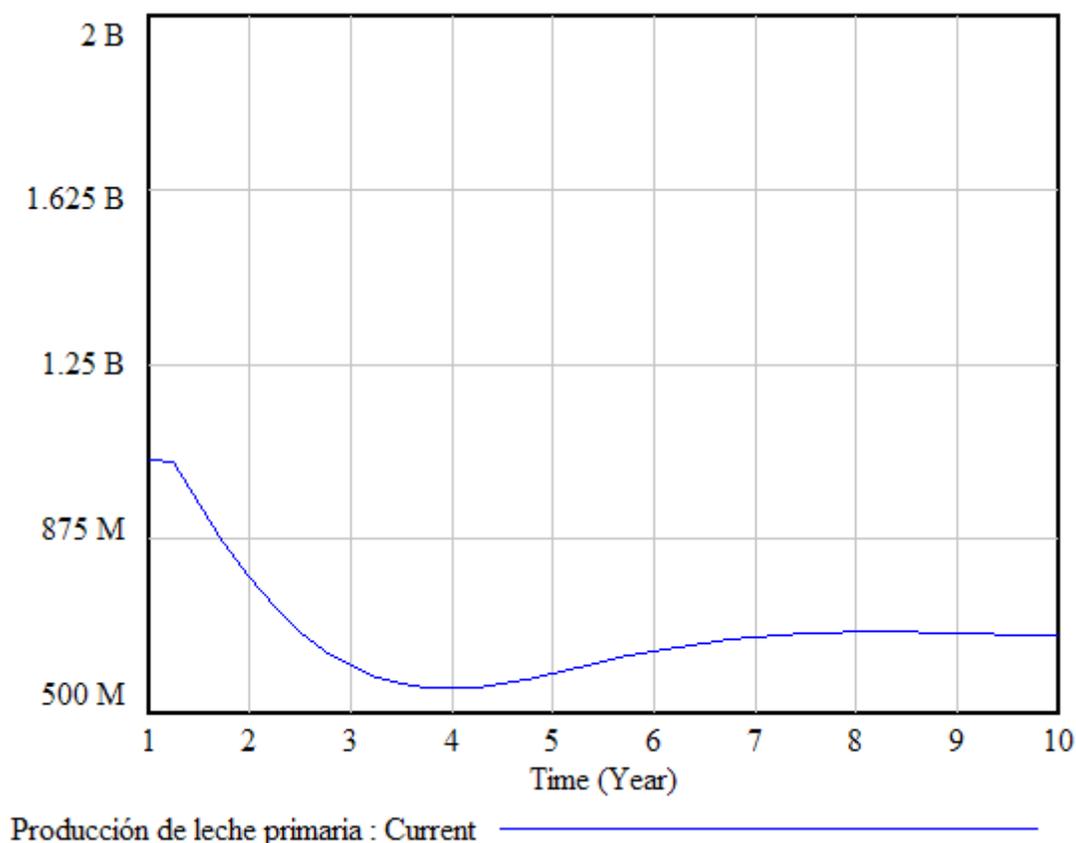


Figura 7. Producción de leche Primaria.

Para el segundo eslabón, se observan dos comportamientos distintos de acuerdo a la Fig. 8. que agrupan las variables de acuerdo a su demanda. El primer grupo está formado por las leches líquidas, las ácidas y la leche en polvo, correspondiente a los productos que pesan más en la cadena y cuya producción crece los primeros cinco años con un pico entre los 3 y 3.5 años aproximadamente. Posteriormente, tiende a estabilizarse a los siete años; el crecimiento se debe al valor inicial alto en la leche primaria producida.

El otro grupo incluye a los quesos, la leche concentrada y la mantequilla. Para el primero, el comportamiento presenta mayores oscilaciones y, en los siguientes, un crecimiento constante. El comportamiento de la variable de los quesos corresponde al comportamiento de los consumidores quienes no lo consideran como un producto esencial y deciden consumirlo de forma estacional o de acuerdo a la capacidad de compra. El valor al que tiende la variable es $3.32e+7$ Kg. La mantequilla y las leches concentradas tiene participación en mercados como la gastronomía, la repostería y en menor porcentaje en las exportaciones, lo que contribuye a que las variables crezcan constantemente. Por otra parte, sugiere que los valores iniciales están sub-estimados.

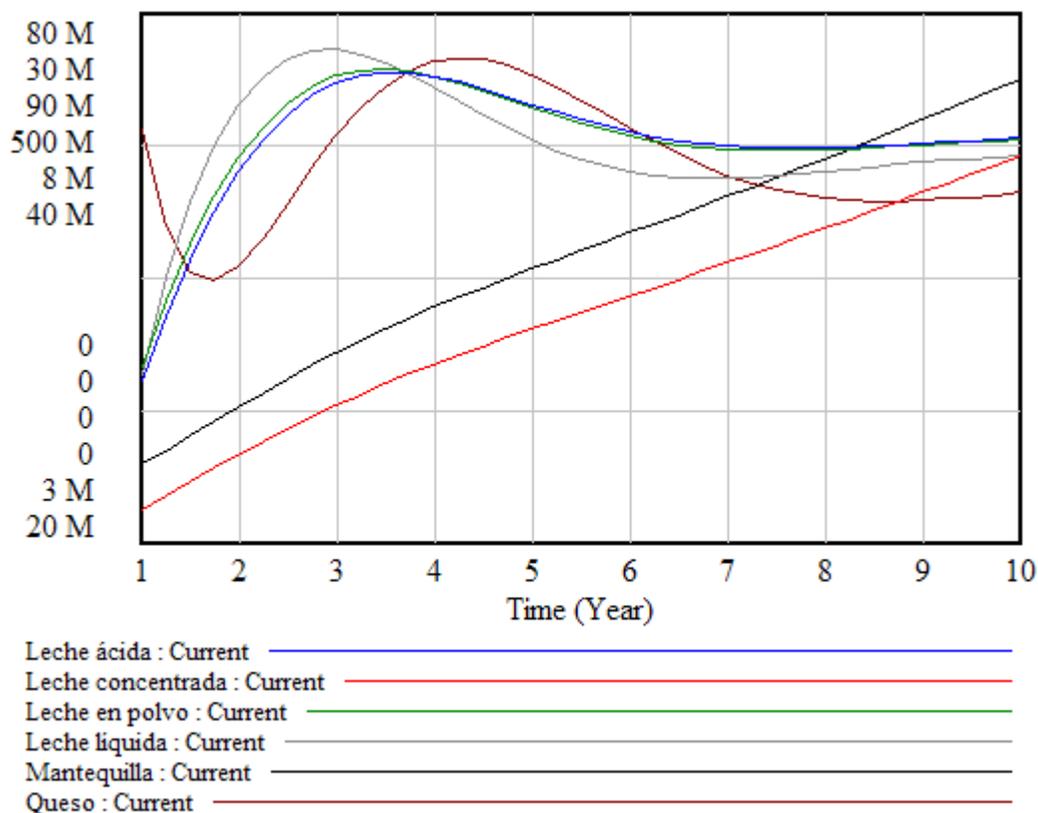


Figura 8. Productos Lácteos producidos por la industria formal.

En la Fig. 9 se adiciona la producción artesanal de lácteos, donde se incluye la leche cruda, los quesos y las leches ácidas artesanales.

En este caso se comportan de forma decreciente con una pequeña diferencia en el caso de la leche ácida artesanal, en la que se presentan cambios en la concavidad de la curva que estarían asociados con la producción industrial de lácteos, esto es a donde se destina la leche primaria que ya no se usa en la producción artesanal. El primer cambio se observa entre el primer y segundo año, que corresponde a la oscilación del queso industrial y el segundo después del tercer año, en el que ocurren los picos de las curvas de leche líquida industrial, leche en polvo y leche ácida industrial. La leche ácida artesanal tiende a $3.05e+7$ Kg y los quesos artesanales tienden $1.42e+7$.

En resumen, los lácteos artesanales tienden a disminuir mientras los lácteos industriales tienden a aumentar desde su valor inicial.

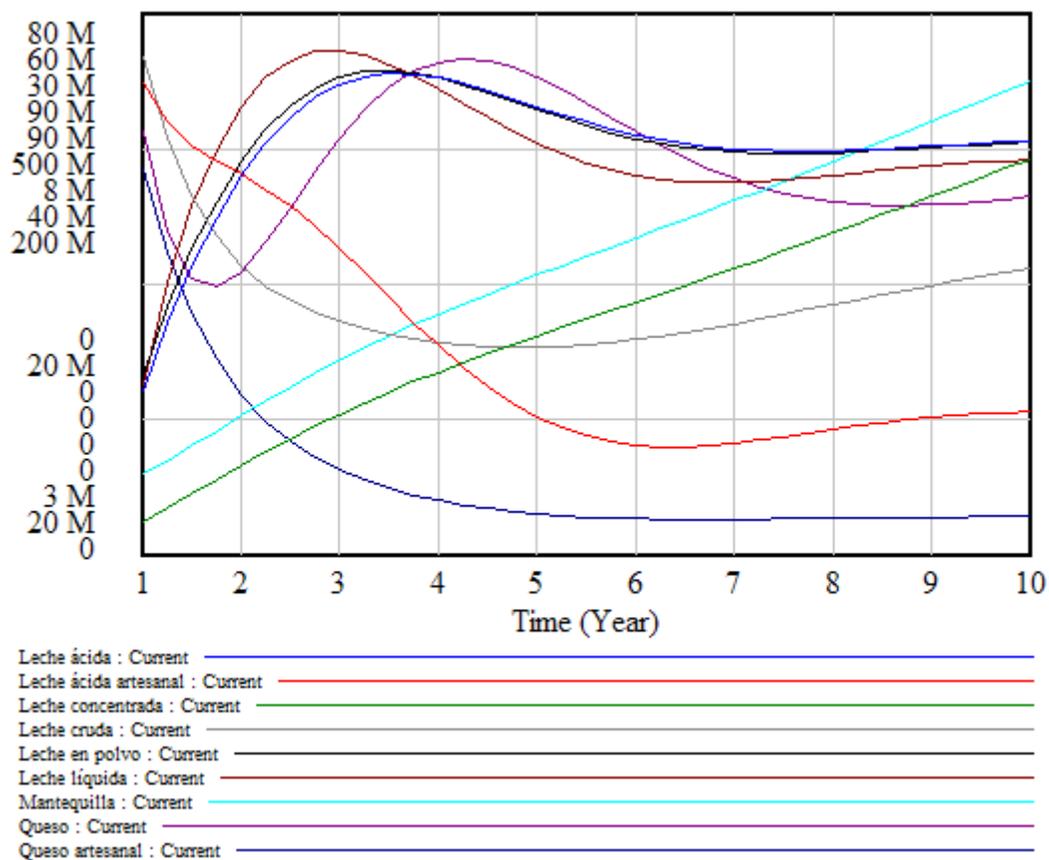


Figura 9. Productos Lácteos.

Los resultados del tercer eslabón, ver Fig. 10, muestran que los canales mayorista y exportador presentan una menor oscilación, posiblemente, debido a una estimación de los valores iniciales más cercana respecto a la demanda. El pico en el canal exportador ocurre entre el segundo y tercer año mientras el del mayorista ocurre entre el cuarto y quinto año, lo que está relacionado con la participación de la variable quesos industriales que representa casi el 20 % del total de los lácteos comercializados por este canal.

Los canales minoristas y el institucional presentan un comportamiento muy similar, con una oscilación suave y con un valor estable entre el séptimo y octavo año.

El canal correspondiente a puntos directos presenta un comportamiento similar al minorista, pero la oscilación es mayor y reacciona con una dinámica más rápida.

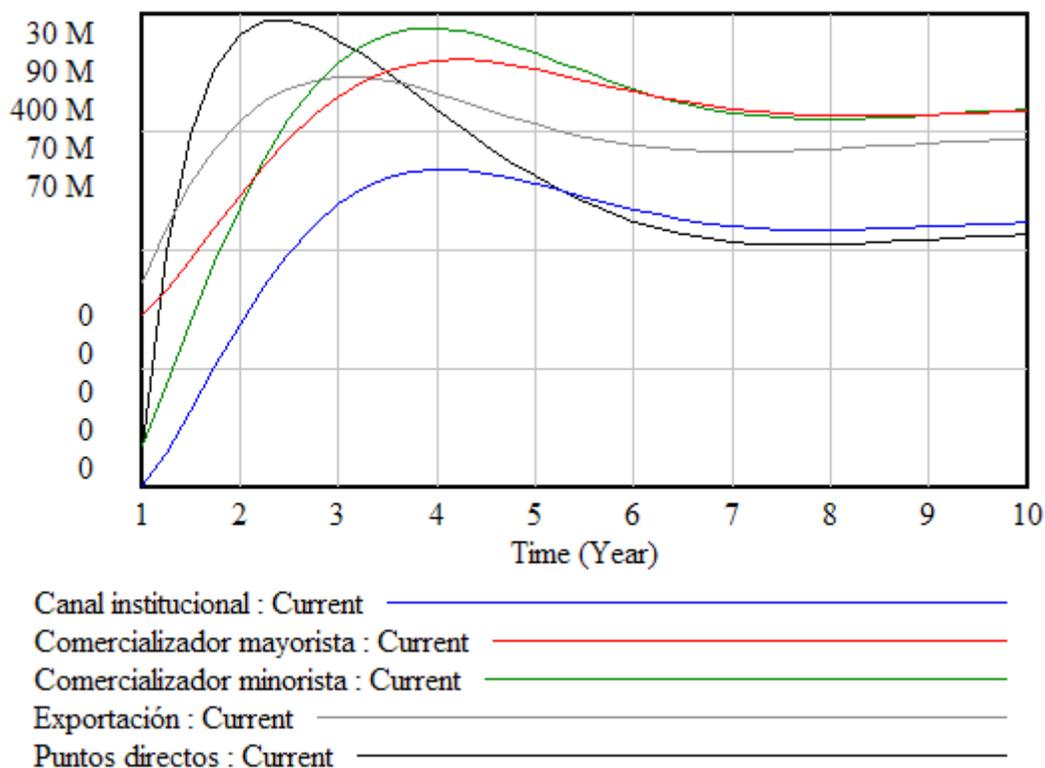


Figura 10. Canales de comercialización.

VII. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para evaluar la sensibilidad del modelo, se evaluaron los escenarios presentados en la Tabla 8.

TABLA 8.
ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

Escenario	Descripción
1	Implementación de ordeño mecanizado.
2	Implementación de buenas prácticas de ordeño.
3	Implementación de ordeño automatizado y buenas prácticas.
4	Aumento en la productividad media de las vacas a 7 Litros/vaca/día
5	Formalización de canal informal de leche cruda.
6	Aumento del consumo de lácteos en 25% por persona.
7	Implementación de ordeño automatizado y buenas prácticas y aumento en el consumo de lácteos en 25% por persona.

El escenario 1 implica que el ordeño se haga de forma automática con máquinas de ordeño mecánico para aumentar la productividad de las vacas en un 25% (Statista, 2000). El escenario 2 implica la capacitación de los involucrados en el ordeño con buenas prácticas que mejoren la eficiencia del proceso como: delimitar el acceso del ganado a la sala de ordeño, amarrado y desamarrado de la vaca y, principalmente, disminución de tiempos en el desplazamiento del ganado de la pastura al ordeño y viceversa. Lo anterior, puede aumentar la productividad de las vacas un 20% (Caria et al., 2011). El escenario 4 implica la mejora de la raza de las vacas con las que se cuenta actualmente, mediante cruces o la adquisición de razas con una productividad más alta (Bejarno, 2013). El escenario 5 implica que no se venda leche cruda a los consumidores, sino que se venda a la industria. El escenario 6 se realiza para observar que sucedería si el consumo de lácteos estimado se incrementara en un 25%.

La tabla 9 muestra los resultados para la variación porcentual en la producción de leche primaria, producción industrial, comercialización y consumo de lácteos para los diferentes escenarios planteados.

TABLA 9.
RESULTADO DE ESCENARIOS EVALUADOS

Escenario	Variación promedio % en producción de leche primaria	Variación promedio % en producción industrial	Variación promedio % en la comercialización de lácteos	Variación promedio % en consumo de lácteos
1	15,21%	10,91%	10,14%	10,14%
2	12,37%	8,87%	8,25%	8,25%
3	28,06%	20,18%	18,73%	18,75%
4	26,06%	18,73%	17,39%	17,41%
5	3,94%	3,03%	3,78%	-9,50%
6	10,38%	7,44%	6,96%	6,93%
7	44,41%	31,90%	29,77%	29,75%

Con el propósito de mirar la sinergia o combinación de escenarios, se modeló el escenario 3 que involucra la automatización del ordeño y las buenas prácticas incrementándose la producción de leche primaria en un 28%.

Así mismo, el escenario 7 combina el escenario 3 antes mencionado y el escenario 6 que implica un aumento en el consumo de lácteos per cápita, que afecta la cadena en la oferta y demanda a la vez, arrojando una variación en la producción de leche primaria de 44% y aumento en las otras variables como se aprecia en la Tabla 9.

Lo anterior, permite ver que los mejores escenarios individuales son: el escenario 1 que involucra ordeño mecánico y el escenario 4 que propone la mejora de las razas de las vacas, para aumentar la productividad media. El mejor resultado se da cuando se mezclan 3 escenarios, representado en el escenario 7.

Dado que el escenario 1 implementa el ordeño mecánico y bajo el cual se obtienen buenos resultados, se evalúa si el beneficio obtenido por los ganaderos permite cubrir los costos de

producción por litro de leche cuando el precio de venta tiene fluctuaciones. Se implementa un criterio de valoración de la razón beneficio/costo para determinar la tasa de incremento de la inversión en maquinaria para el ordeño mecánico. Los precios de venta del litro de leche se varían considerando lo que recibe una finca mediana, que representa el 36% de los hatos de Cundinamarca, mientras que el 45% de las fincas son pequeñas, y el 19% grandes. Las fincas medianas tendrían mayor interés, capacidad y disposición para realizar la inversión de los ordeños y, a su vez, son representativas del eslabón de la cadena primaria. El precio varía desde COP \$800/L hasta COP \$1.050/L, para el modelo base se usa \$900/L.

En la Fig.11, se muestra el comportamiento de las variables en el modelo base, y se ve un cambio abrupto en todas las variables durante el año 1. Esto implica que se genera el cambio esperado de ordeño manual a mecánico, a razón de la suficiencia de los beneficios para estimular el cambio, pero la tasa a la que se invierte refleja que es la más baja posible, esto hace que el cambio no se difunda lo suficientemente rápido en todas las fincas y probablemente no se produzca un estímulo en las pequeñas.

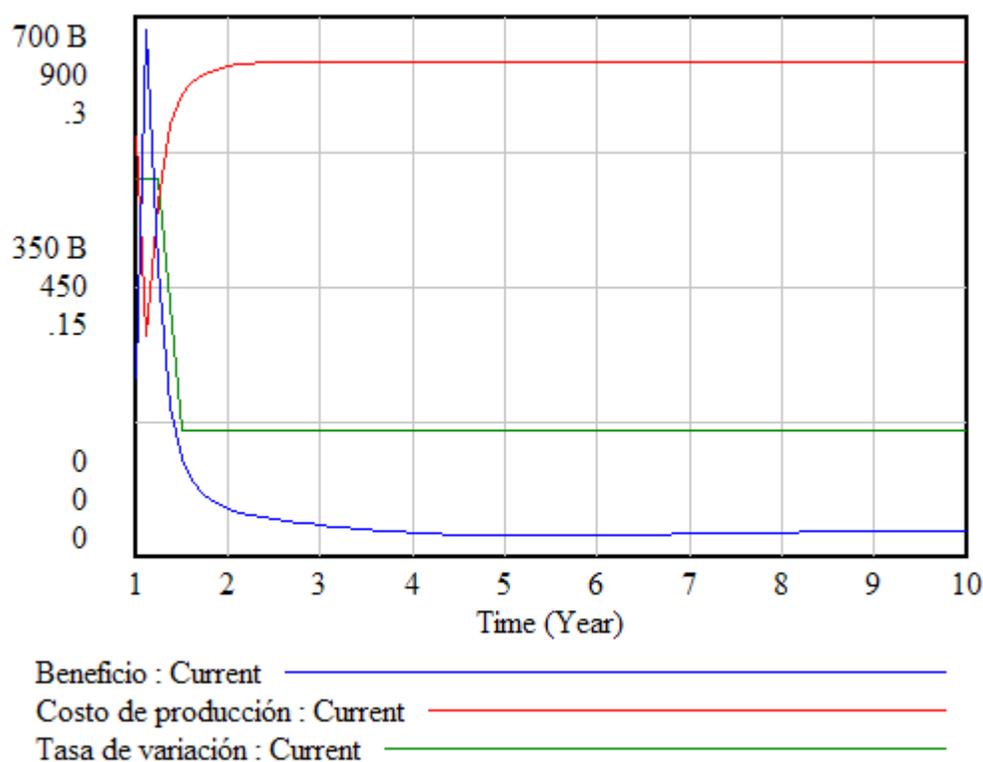


Figura 11. Productos Lácteos.

Cuando se evalúa la sensibilidad del instrumento de cambio de forma de ordeño con relación al precio de venta de la leche en la finca, se observa, ver Fig. 12 que cuando es de \$800/L el beneficio se elimina, es decir, es imposible que el productor invierta en ordeños mecánicos, mientras que, cuando la leche alcanza el precio máximo, el pico de inversión en el primer año es mayor pero el valor de estabilidad no es muy diferente al precio base \$900/L y es igual al logrado cuando el precio es \$1000/L.

Beneficio por venta de leche

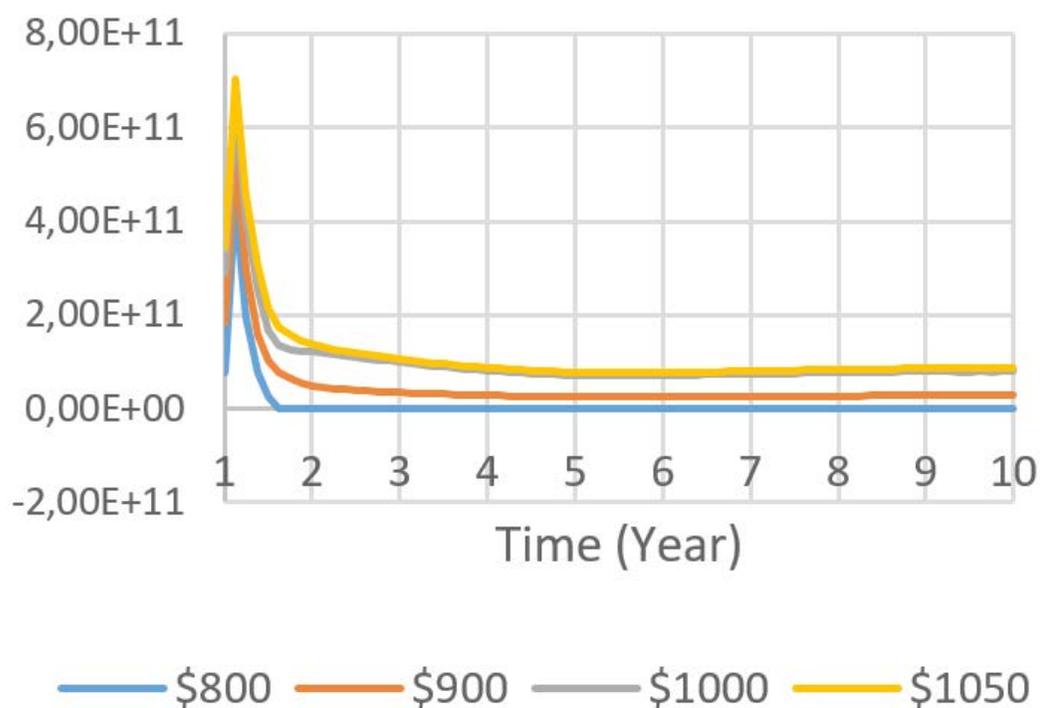


Figura 12. Beneficio obtenido por la venta de leche.

En cambio, los costos de producción por litro de leche, presentan un mayor valor cuando el precio se incrementa, Fig.13, incluso cuando solo se incrementa en un 5% como es el caso de \$1.050/L.

Lo anterior, se ve reflejado en la tasa de variación de la inversión en ordeños mecánicos, ver Fig.14, donde la inversión del año 1 comienza en su máximo valor pero cae para el año 2, y permanece constante, es decir ni se estimula, ni vuelve a decrecer. El precio más alto de venta de leche, no logra llevar la tasa de inversión hasta el máximo nivel, en cambio el precio más bajo, reduce la inversión a cero.

Costo de producción/litro de leche

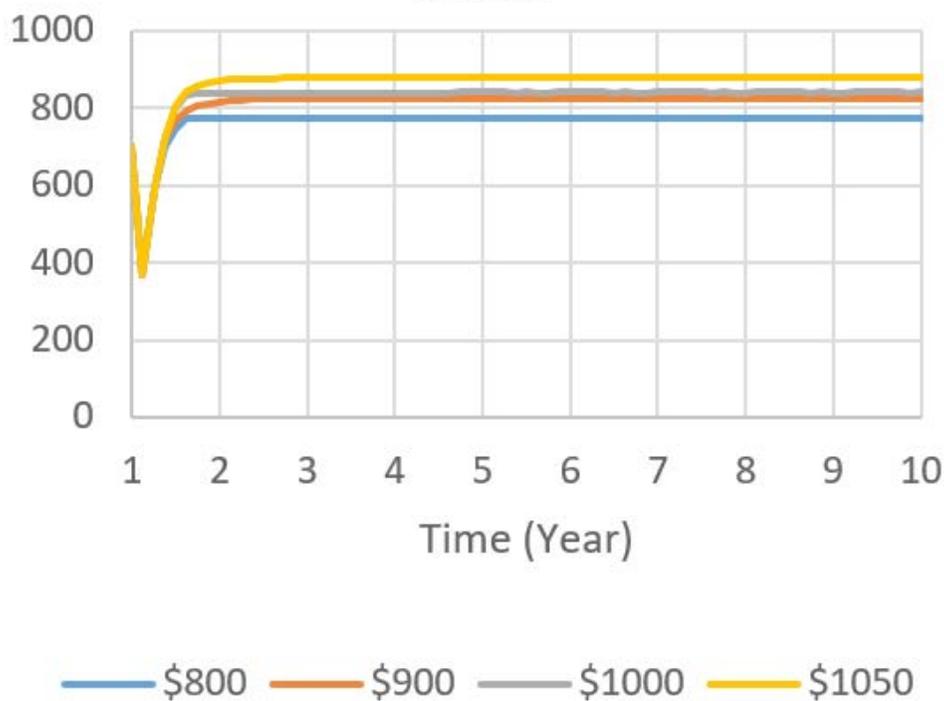


Figura 13. Costo de producción por litro de leche.

Tasa de Inversión

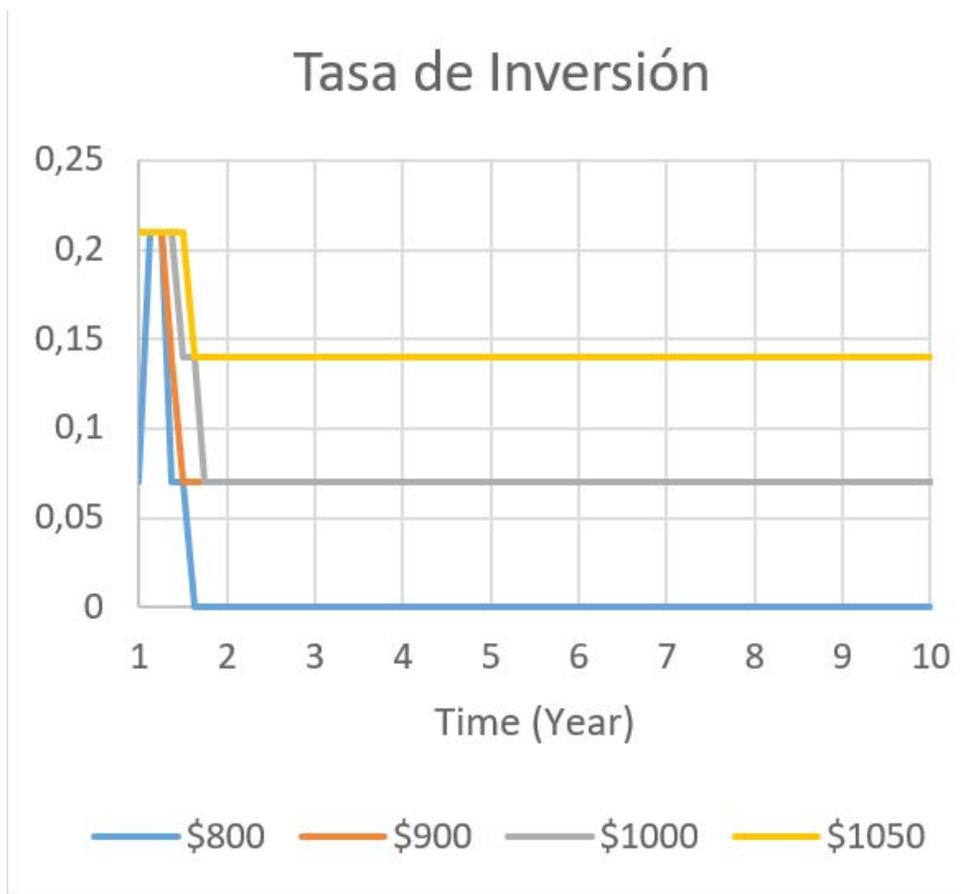


Figura 14. Tasa de variación para inversión en ordeño automático.

VIII. CONCLUSIONES

Se obtuvo un modelo que refleja el comportamiento en los eslabones de la cadena. La validación del modelo se ajusta a los datos de referencia de buena manera. El modelo se probó en condiciones extremas teniendo respuestas razonables.

En el modelo base, las variables tienen comportamiento ajustado a las condiciones del mercado en Cundinamarca y a las de producción primaria. El cual es sensible a los valores iniciales que fueron determinados de fuentes diversas. Este proceso requiere de una evaluación más exhaustiva de estos valores.

A través del modelo se puede analizar el efecto del cambio de ordeño manual a mecanizado (escenario 1) y el efecto de implementar buenas prácticas de ordeño (escenario 2). En particular, la segunda logra casi los mismos beneficios en la cadena, requiriendo menor inversión de capital pero requiere de una política coherente y mejores instrumentos de divulgación en la región de Cundinamarca.

El modelo permite comparar el efecto de invertir en equipos de ordeño mecánico sumado a las buenas prácticas de ordeño (escenario 3) y la inversión en razas de vacas más productivas (escenario 4), obteniendo resultados equiparables, pero, la segunda implica mayor inversión y mayor tiempo para su implementación.

Sin embargo, en relación a los costos generados por la inversión en ordeños mecánicos, se observa la alta sensibilidad a variaciones no muy grandes en el precio de venta, disminución del 11% y aumento de 16%, hacen que la inversión sea nula o que a pesar de su aumento no logren incentivar la adquisición de ordeños mecánicos a la mayor tasa estimada.

El impacto de la eliminación de la venta de leche cruda (escenario 5) es muy reducido para toda la cadena. Cualquier recurso invertido en el control de esta actividad arrojaría mejores resultados en cualquiera de los otros escenarios.

Se observa que los mejores resultados ocurren cuando se interviene en toda la cadena, con modificaciones tanto en demanda como en la oferta (escenario 7).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a la Escuela Colombiana de Ingeniería por la patrocinar este proyecto dentro de la Convocatoria interna de investigación

Originais recebidos em: 24/02/2017
Aceito para publicação em: 16/05/2018

REFERENCIAS

- [1] Asoleche. (06 de Junio de 2016). Colombia: Crece en un 50% el acopio de la leche fresca. [En línea]. Disponible: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/10002/1/innova.front/colombia:-crece-en-un-50-el-acopio-de-la-leche-fresca.html>
- [2] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (23 de Junio de 2016). Acopio de leche disminuyó durante primer trimestre de 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/10107/1/innova.front/acopio-de-leche-disminuyo-durante-primer-trimestre-de-2016.html>
- [3] DANE. (1 de Mayo de 2016). DINERO. Obtenido de DINERO: <http://www.dinero.com/economia/articulo/la-inflacion-alta-ultimos-anos/217685>
- [4] Cross, J. A. (1994). Agroclimatic hazards and dairy farming in Wisconsin. *Geographical review*, 277-289.
- [5] FEDEGAN. (16 de Julio de 2015). Revista Dinero. Obtenido de Dinero: <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-del-sector-lechero-colombia-2015/211145>
- [6] Superintendencia de Industria y Comercio, SIC (2012). Estudio de Mercados. Análisis de mercado de la leche y derivados lácteos en Colombia. [En línea]. Disponible: http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudio_Sectorial_Leche1.pdf
- [7] Kilger, C., Meyr, H., & Stadtler, H. (2015). Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software, and case studies. Springer. pp. 161–175.
- [8] Chopra, S., Supply Chian Management. New Jersey: Pearson, 2013, pp. 19 - 30.
- [9] Hudgins. (2013). New Hubs Arise to Serve 'Just in Case'. *New York Times*, 2-5.
- [10] Jain, S. (2004, December). Supply chain management tradeoffs analysis. In Proceedings of the 36th conference on Winter simulation (pp. 1358-1364). Winter Simulation Conference.
- [11] Sterman, J. D. (2002). All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18(4), 501-531.
- [12] FEDEGAN. (Junio de 2015). Cuencas Lecheras más importantes de Colombia. [En línea]. Disponible: <https://www.thinglink.com/scene/670324748017729537>
- [13] Contexto Ganadero (4 de Abril 2014) Cuencas lecheras, motores de la producción nacional. [En línea]. Disponible: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-cuencas-lecheras-motores-de-la-produccion-nacional>
- [14] Contexto Ganadero (4 de Marzo de 2016) Colombia produce 2,4 millones de litros de leche menos al día por El Niño. [En línea]. Disponible: <http://www.contextoganadero.com/regiones/colombia-produce-24-millones-de-litros-de-leche-menos-al-dia-por-el-nino>
- [15] Contexto Ganadero (6 de abril de 2016) Industria solo acopia 50 % de la producción láctea de Colombia. [En línea]. Disponible: <http://www.contextoganadero.com/regiones/industria-solo-acopia-50-de-la-produccion-lactea-de-colombia>
- [16] Forrester, J. W. Principles of Systems. 1968. Wright-Allen Press, Cambridge, MA. [17] Sterman, J (2003) System Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, MIT, 2003 Working Paper Series ESD-WP-2003-01.13. pp. 4 -15. [En línea]. Disponible: <https://esd.mit.edu/WPS/internal-symposium/esd-wp-2003-01.13.pdf>
- [18] Forrester, J. (2007). System dynamics; the next fifty years, 2007. *System Dynamics Review* Vol. 23, No. 2/3, p.p. 362 – 364.
- [19] Corporación Colombiana Internacional- CCI, (2013). Caracterización de la Comercialización de cuatro cuencas lecheras.
- [20] Superintendencia de Industria y Comercio, SIC (2012). Estudio de Mercado. Análisis del Mercado de la Leche y Derivados Lácteos en Colombia (2008-2012).

- [21] Federación Colombiana de Ganaderos, FEDEGAN, (2009). Lo que usted necesita saber sobre la leche en Colombia. [En línea]. Disponible: <http://conectarural.org/sitio/material/lo-que-usted-necesita-saber-sobre-la-leche-en-colombia>
- [22] Grupo Éxito, (2013). El 49% del queso consumido por los colombianos se vende en almacenes de cadena. [En línea]. Disponible: <http://www.grupoexito.com.co/es/noticias/ultimas-noticias/25-eventos/853-el-49-del-queso-consumido-por-los-colombianos-se-vende-en-almacenes-de-cadena>
- [23] La República, (2015). El mercado del yogur movió \$1,2 billones y se espera un aumento. [En línea]. Disponible: http://www.larepublica.co/el-mercado-del-yogur-movió-12-billones-y-se-espera-un-aumento_248241
- [24] Revista Dinero, (2015). ¿Cómo está el sector lechero?: un llamado a mejorar. [En línea]. Disponible: <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-del-sector-lechero-colombia-2015/211145>
- [25] Canadian Dairy Information Centre. Consumption of dairy products. [En línea]. Disponible: http://www.dairyinfo.gc.ca/index_e.php?s1=dff-fcil&s2=cons&s3=conscdn&s4=consmclc&page=consmclc
- [26a] Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO- (2013). Milk and dairy products in human nutrition.
- [26 b] Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO- (1989). Milk and dairy products: production and processing costs. [En línea]. Disponible: www.fao.org/docrep/003/x6931e/X6931E04.htm
- [27 a] Secretaria Distrital de Planeación, (2011). Población de Bogotá y sus localidades. [En línea] Disponible: <http://www.sdp.gov.co/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/ProyeccionPoblacion>
- [27 b] Secretaria Distrital de Planeación, (2011). 21 monografías de las localidades Distrito Capital. [En línea]. Disponible: <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Documentos/An%E1lisis/DICE081-MonografiaCiudadBolivar31122011.pdf>
- [28] Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2793-2807.
- [29] Maison Du Lait. The dairy sector. How much milk is needed to make 1 kg of butter?. [En línea]. Disponible: <http://www.maison-du-lait.com/en/faqs>
- [30] Condensed milk sweetened amounts converter. [En línea]. Disponible: <http://convert-to.com/734/sweetened-condensed-milk-conversion-nutrition-facts.html>
- [31] Statista. The Statistics Portal. Per capita consumption of buttermilk in the United States from 2000 to 2013 (in gallons). [En línea]. Disponible: <http://www.statista.com/statistics/184298/per-capita-consumption-of-buttermilk-in-the-us-since-2000/>
- [32] Caria, M., Murgia, L., & Pazzona, A. (2011). Effects of the working vacuum level on mechanical milking of buffalo. *Journal of dairy science*, 94(4), 1755-1761.
- [33] Rediseño del proceso agroindustrial del ordeño para el mejoramiento de la productividad en la finca Gabeno, Tenjo Cundinamarca. Bejarano Carlos, (2013). Tesis de Maestría, Pontificia universidad Javeriana.