

**Propuesta para la optimización de la cadena de suministros de la empresa Laktoland en el municipio de Cogua, mediante programación matemática considerando la disminución de impactos ambientales.**

Cristian Camilo Mayorga Malaver

Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIAGRARIA

Proyecto de grado

Jorge Forero

13 de febrero de 2023

## Contents

1.	Formulación del problema .....	4
2.	Justificación .....	8
3.	Objetivos .....	10
3.1	Objetivo general .....	10
3.2	Objetivos específicos .....	10
4.	Marco Referencial .....	11
4.1	Estado del Arte: .....	11
4.2	Marco Histórico y geográfico .....	17
4.3	Marco teórico: .....	20
4.3.1	Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo .....	21
4.3.2	Análisis de matriz DOFA. ....	22
4.3.3	Programación lineal.....	24
4.3.4	Mediciones de Co2 equivalente. ....	25
4.3.5	Modelamiento simplex.....	26
4.4	Marco Conceptual: .....	27
4.5	Marco Legal: .....	30
5.	Diseño Metodológico .....	35
5.1	Procedimiento metodológico.....	36
5.2	Desarrollo de los objetivos.....	38
5.2.2.4	Función objetivo .....	53
Sujeto a:.....		54
Capacidad de producción .....		54
Oferta .....		54
Demanda .....		55
Cantidad de referencias entregadas por cajas de 8 .....		61
Número de Viajes proveedores a planta.....		63
Número de Viajes de planta a destinos.....		64
Capacidad Utilizada en las etapas del proceso .....		65
5.2.3.2	Medidas de desempeño .....	66
6.	Conclusiones:.....	70
7.	Recomendaciones .....	71



8. Bibliografía..... 72

## 1. Formulación del problema

La canasta básica en Colombia está constituida por alimentos y utensilios necesarios para la supervivencia diaria de sus habitantes. Entre estos, y como uno de los más importantes, está la leche, un producto extraído de las vacas que es secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos y que, naturalmente, tiene como funcionalidad alimentar a las crías en los primeros meses de vida (García Gramo & Ochoa M, 1987); su carga nutricional y su delicioso sabor han hecho que a lo largo de la historia se haya convertido en un suplemento alimenticio para el desarrollo de niños y adultos.

Actualmente, es uno de los productos más consumidos en la canasta familiar y por ende es una de las industrias alimenticias más grandes y con más clientes del país. Según FEDEGAN, para 2021, se produjeron 7.821 millones de litros de leche cruda en todo el país, un aproximado que se mantiene desde hace varios años atrás. Por esta misma razón, la industria láctea es una de los mayores contaminantes del medio ambiente, ya que genera emisiones tanto en la explotación y producción de ella, como fuera, consecuencia de los procesos productivos implicados en los suministros a la ganadería. Como cita Fernando Mainar en su artículo “La huella de carbono de la producción de leche de vaca” (2019):

Según la FAO, los rumiantes contribuyen con el 18% del total de las emisiones antropogénicas, considerando toda la cadena alimentaria. El 5,1% proceden de la fermentación entérica y las deyecciones, y el resto se origina debido al uso de la maquinaria y los procesos de fabricación y transporte de alimentos, fertilizantes,

materiales, etc. que, por lo tanto, son objetivos clave de los esfuerzos para cuantificar las emisiones y los potenciales de mitigación. En contrapartida, la producción de rumiantes contribuye al secuestro de carbono mediante la incorporación al suelo de restos vegetales y de la fertilización orgánica en forma de estiércol y purín, especialmente con el pastoreo.

Por ejemplo, el transporte del producto es uno de los grandes generadores de CO<sub>2</sub>. Pero, ¿cómo funciona? El transportista de leche o el operador del centro de recolección/ refrigeración debería examinar la leche de cada productor para cerciorarse de que no muestra signos evidentes de mal o deterioro. Si se observaran tales signos, la leche no tendrá que recogerse. Los centros de recolección y de refrigeración, si se aplican, tienen que estar diseñados y funcionar de tal forma que se disminuya al mínimo o se evite la contaminación de la leche. En especial, el transportista de leche o el operador del centro de recolección tendrán que tomar las muestras de tal modo que se evite la contaminación de la leche y asegurar que esta esté a la temperatura idónea de almacenamiento e ingreso antecedente de su recogida.

El transporte, comúnmente, es propio de la empresa, se hace por medio de un sencillo, turbo y doble troque. El tiempo y temperatura de transporte deben ser tales que permitan transportar el producto a la Industria Láctea o al centro de recolección/refrigeración de una forma que reduzca al mínimo cualquier efecto nocivo para su inocuidad e idoneidad. Este proceso se hace en cada uno de los proveedores y esta leche cruda se lleva a la planta central.

A la llegada al establecimiento, es deseable se haga un proceso de lavado externo en el lavadero designado a su fin. Hablamos de borrar suciedad de las ruedas, barro, probables cuerpos extraños, etcétera. El objeto de este lavado es que toda esta suciedad no influya en el peso de la cisterna y hacer un buen proceso. Aquí también hay un consumo de agua considerablemente algo, en que hay que trabajar.

Luego se hace una pesada en la balanza: se solicita la información de aseo de la cisterna y hoja de ruta, se abren las bocas de hombre, se hace inspección visual (verificando entre otras cosas que la cisterna no haya sido manipulada, ausencia de olores, limpieza...), pre-esterilización o paso por el intercambiador de calor

Esta etapa se apoya en el calentamiento de la leche con una mezcla de tiempo/temperatura tal, que se genere la reducción del contenido en gérmenes. Además, y en su caso, ayuda a que el UHT sea más eficaz, facilitando a los microorganismos esporulados a realizarse e incrementar la efectividad en la supresión en UHT.

Por otro lado, dentro del proceso de UTH (ultrapasteurización), que consiste en calentar la leche cruda con el fin de eliminar posibles microorganismos, la generación de agua residual es bastante elevada, esto teniendo en cuenta que, segunda la fundación AQUAE, para la producción de un litro de leche, se necesitan al menos mil litros de agua. Condorchem Envitech, en su artículo “Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea” asegura que:

La mayor parte del agua que se utiliza acaba finalmente como efluente, ya que no existe aporte de agua al producto final. Por tanto, el agua residual generada en un proceso fabril será la resultante de descontar al consumo total la que se ha perdido por evaporación. [...]

Entre el 80-95% del agua total consumida forma parte del efluente final, salvo excepciones de fabricación de leche en polvo, etc. (2021)

Tras identificar las partes del proceso productivo que son atacables y las cifras antes mencionadas de materiales contaminantes, teniendo en cuenta la alerta ambiental que actualmente han hecho las diferentes organizaciones en defensa del medio ambiente y, de igual forma, reconociendo que esto podría reducir ciertos gastos en la producción y beneficiaría a los productores de leche, nos hemos propuesto descubrir ¿cómo disminuir la generación de CO<sub>2</sub> dentro de las rutas de distribución de Laktoland en la producción de la industria láctea y la generación de agua residual dentro de su proceso de UTH?

## 2. Justificación

Colombia cuenta con un extenso portafolio de organizaciones que se dedican a la producción, transformación y venta de productos lácteos, las cuales poseen enorme entendimiento del consumo y los diferentes canales y redes de repartición nacionales, entre este conjunto está Alpina, Colanta, Alquería, Algarra, entre otras (PROEXPORT, 2011)

Según información presentada en entorno ganadero (FEDEGAN, 2015), en el departamento de Cundinamarca hay numerosas regiones dedicadas a la lechería especializada, municipios como Gachancipá, Suesca, Sesquilé, Cogua, Zipaquirá y Nemocón, resultan muy activos referente a la producción láctea; no obstante, es el Valle de Ubaté y toda su provincia, la zona más lechera del área. Los municipios de Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Ubaté, aportan 2.4 millones de litros al día, pudiendo uno de los volúmenes más elevados de todo el territorio. Según las estadísticas agropecuarias de (Gobernación de Cundinamarca, 2014), para el 2013 el departamento contó con 349.933 cabezas para ordeño generando una producción de 3.706.428 litro de leche al día.

En uno de estos municipios, Cogua (vía Ubaté, kilómetro 16), podemos encontrar la empresa Laktoland S. A. S., la cual está constituida como una sociedad por acciones simplificada y se dedica a la fabricación de diferentes productos lácteos. Para 2021, Laktoland contaba con un patrimonio neto de 3.186.991.000 COP y en el ejercicio de este mismo año generó un rango de ventas entre 20.000.000.000 y 100.000.000.000 COP. Estas cifras parecen considerables, sin

embargo, las ventas han sido decrecientes respecto al año anterior y, por ende, los resultados de la empresa y el patrimonio lo han sido también (Informa, Directorio de Empresas, 2021).

Por esta razón, y favoreciéndonos de la cercanía de esta, la cual permite mejores estudios y generaría mejores resultados de ser aplicado el modelo que buscamos presentar, hemos elegido a Laktoland para plantear una cadena de suministro fuerte, que permita buena comunicación entre todos los integrantes del sistema y logre optimizar los recursos disponibles, y guiar a la empresa por un camino más sostenible.

De ser posible la implantación del modelo matemático que buscamos para optimizar la cadena de suministros, Laktoland lograría reducir en una cantidad significativa sus residuos de agua, lo que disminuirá el valor del comparendo ambiental que impone el municipio por la contaminación del agua y la afectación del entorno; de igual manera, la optimización del transporte del producto, tanto en la disminución del CO<sub>2</sub>, como en la cantidad de viajes que podrían hacerse al reorganizar de mejor forma esta parte del proceso, convertiría esta empresa en una más sustentable ambiental y económicamente, pues también reducirían costos, y, por ende, más provechosa para sus dueños y accionistas.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de mejora óptima para la red de suministro de una compañía de la industria láctea que incluya la disminución de CO<sub>2</sub> y del agua residual, a través de programación matemática.

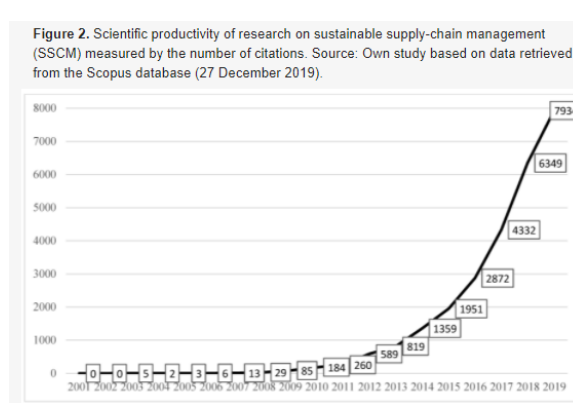
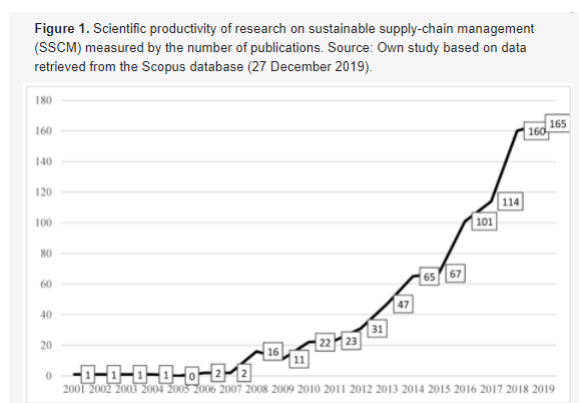
#### 3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la cadena logística actual de la compañía de industria láctea apoyado en herramientas de gestión de proyectos.
- Modelar matemáticamente la optimización de la cadena de suministro incluyendo las emisiones de Co<sub>2</sub> en el transporte y la generación de aguas en la producción de leche UTH.
- Formular la configuración de la red de suministro de la compañía, a partir de los resultados de la implementación computacional del modelo de programación lineal planteado para optimizar la cadena de suministro

## 4. Marco Referencial

### 4.1 Estado del Arte:

Czakon (s. f.) confirma que la dinámica de cambio en el número de publicaciones con respecto a cadenas de suministro sostenibles puede ser una manifestación de una fase en la esperanza de vida del campo de la investigación. Luego, en la segunda mitad de la década de 2010, se produjo un aumento dinámico de la productividad de la investigación, ya que el número de publicaciones aumentó de alrededor de 100 en 2016 a 165 en 2019. Una ilustración gráfica de la tendencia creciente del número de publicaciones en el ámbito de la investigación (en la Figura 1). La dinámica de crecimiento de la productividad de la investigación centrada en la gestión de la cadena de suministro sostenible es aún más visible una vez que se estima el número de citas (cf. Figura 2). Muy limitada en la década de 2000, esta medida se multiplicó por diez entre 2010 y 2015.



La cadena de abastecimiento se fundamenta en la interacción y participación entre comprador y abastecedor, así como el flujo de información sin barreras entre los mismos, creándose una unión

y compromiso a extenso plazo la cual es el corazón de la eficiencia en la cadena de abastecimiento (Evrard, Goury, Gunasekaran, & Spalanzani, 2011). Con la era, se ha visto que el desplazamiento sustentable es un comercio con resultados a extenso plazo, o sea, las mejoras en el rendimiento ambiental, las reducciones en los precios, la virtud competitiva, el cumplimiento con los requisitos gubernamentales, así como la conservación de los recursos naturales se verán reflejadas a extenso plazo (Despeisse, Ball, Evans, & Levers, 2012). En la actualidad, gracias a la disponibilidad de los recursos no renovables, las organizaciones se han visto forzadas a replantear sus tácticas con el propósito de garantizar las sustentabilidad de sus operaciones tomando en cuenta procesos como la evaluación del periodo de vida (LCA), estudio del circuito cerrado (Closed loop), la logística inversa, reducción de emisiones de carbono, entre otros; asimismo, necesitan del uso de herramientas que se manejan en zonas de la ecología industrial, producción limpia, prevención de contaminación y la manufactura sostenible (Chaabane et al., 2012; Despeisse et al., 2012).

Al tener en cuenta la cadena de suministro sustentable como la incorporación de prácticas del medio ambiente incluyendo la logística inversa en medio de las empresas de la cadena de abastecimiento se tiene como fin minimizar el efecto ambiental del producto durante todo su periodo de vida para la cual incluye ocupaciones como son el diseño verde, el ahorro de recursos, la reducción del uso de materiales dañinos, y el reciclaje o reutilización del producto (Eltayeb et al., 2011; Sarkis, Zhu, & Lai, 2011).

Gracias a esto, la utilización del desarrollo sustentable en las organizaciones se confronta a diversos inconvenientes como son el cambio de hábitos o prácticas en las ocupaciones, la carencia de cooperación y confianza de todos los relacionados (cliente, abastecedor, productor, etcétera.), la carencia de perspectiva estratégica en las ocupaciones operacionales; sin embargo, la más grande de las barreras es la decisión del precio beneficio de la utilización de la logística sustentable (Lambert, 2002), es por ello que se han desarrollado teorías organizacionales sobre la aplicación de la cadena de suministro sustentables (Sarkis et al., 2011). Asimismo, se realizaron diferentes estudios enfocados al beneficio del uso de las cadenas de suministro, como también cadenas de suministro sustentables y las múltiples maneras de medirlas e implementarlas, varias de ellas que aportan a este estudio se describen en la Tabla 1.

*Tabla 1. Revisión de literatura*

N°	Año	Autor	Título	Tipo Programación	Estudio Realizado
1	2018	Elvira Gómez-Verjel	Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano.	Programación lineal entera mixta	Se examina la administración de suministro e inventario en la cadena de abasto del sector lácteo en Colombia. Esto está enormemente influenciado por los fenómenos y cambios climáticos, los cuales inciden de manera negativa en el flujo constante o común de la cadena de abasto (proveedor – transformador – minorista), generando el posible daño del cumplimiento de los requerimientos de los consumidores. Por esto, muestra un modelo de mejora que estima los cambios más relevantes del sistema, las fronteras

					determinadas y las limitaciones que detallan la conducta de la cadena. Al final, se proponen escenarios de optimización.
2	2016	Lina María Tapia Barrera, Arcelio Pérez-Simanca, Martha Sofía Carrillo-Landazábal, Harold Cohen-Padilla	Diseño de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba, Colombia, mediante la integración del modelo SCOR y el enfoque de optimización.	Modelo de programación lineal entera mixta (MILP)	Se propone el diseño de un modelo de gestión operativa para la cadena de suministro de la berenjena en Córdoba haciendo uso del Supply Chain Operations Reference Model (SCOR) y el enfoque de optimización que permita la disminución de los costos y estimación de los beneficios del trabajo colaborativo.
3	2013	Pablo Hernández Mac-Donald	Modelo de programación lineal entera mixta para la planificación conjunta de la cadena de abastecimiento.	Modelo de programación lineal entera mixta	Este estudio presenta un modelo de programación lineal entera mixta, con el cual se puede realizar una planificación conjunta de la cadena de abastecimiento desde la adquisición de materiales, pasando por la producción y, finalmente, distribuyendo los productos terminados a cada uno de los respectivos centros de distribución, donde estos quedan disponibles para su venta.
4	2015	Jimmy Aldemar Alarcón, Juan Sebastián Acevedo	Diseño robusto de una cadena de suministro de ciclo cerrado mediante modelación matemática.	Programación lineal	Diseñar una cadena de suministros de ciclo cerrado aplicando robustez mediante el uso de la programación lineal, lo que permitirá analizar los procesos y factores de incertidumbre que se puedan presentar en la economía. Esta investigación evalúa y analiza la relación costo-robustez del proceso logístico que se genera en las compañías, generando una mayor capacidad de respuesta frente a los factores de incertidumbre presentes en estos procesos, para determinar cuál es la configuración de la cadena de suministro con el mejor desempeño al costo mínimo.

5	2014	Mauro González Fernández	Optimización de un modelo de cadena de suministro en el sector de hidrocarburos mediante programación lineal estocástica.	Programación Lineal.	Se propone desarrollar un modelo de programación lineal estocástica que, haciendo uso de datos reales de la industria de hidrocarburos en Colombia, asista en la toma de decisiones de la red logística de hidrocarburos planteada, de manera que se pueda optimizar el desarrollo de sus operaciones y cumpla con los requerimientos de todos los miembros considerados en la cadena de suministro.
6	2017	Baldramina Antonieta Velásquez Gómez 1, Héctor Arnulfo Chacha Armas 2, Henry Mauricio Chanatasig Toapanta 3, Brenda Elizabeth Oña Sinchiguano 4  Universidad Técnica de Cotopaxi.	Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de productos de consumo masivo.	Programación lineal	Se propone en este proyecto de investigación el uso de la modelación matemática y, en concreto, un modelo de programación lineal en donde se tienen en cuenta elementos y aspectos que conforman la cadena de abastecimiento de tipo regional, con el que se busca resolver un problema de producción y logística, para lograr la operación de la red de distribución y la producción a un costo mínimo.
7	2019	Juan Sebastián Manrique Fernández, María Angelica Cárdenas Muñoz	Modelo matemático para el diseño de redes de logística humanitaria en la ciudad de Cali.	Programación lineal	Proporciona un modelo matemático funcional que permite la configuración óptima de una red de logística humanitaria para Santiago de Cali en caso de que acontezca un terremoto. En este orden de ideas, este proyecto está direccionado hacia la efectividad, pues busca que, en teoría, todas las personas afectadas puedan acceder a las ayudas humanitarias.
8	2012	Roberto Romero Pimentel	Modelación de cadenas de suministro mediante	Programación lineal entera mixta	Se presenta un panorama general de las cadenas de suministro y su relación con la logística. Se brinda también una breve

			programación entera.		introducción a la programación entera que permite modelar diversos problemas de decisión en las redes de suministro. Asimismo, se presentan una serie de formulaciones estándar de programación entera que describen algunas de las decisiones más importantes dentro de las cadenas de suministro y pequeñas instancias de estas, a fin de mostrar cómo deben ser construidos los modelos.
9	2017	Natalia Robles, M.Sc	Sostenibilidad de la cadena de suministros mediante el control de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Programación lineal entera mixta	En esta investigación se desarrolla un modelo matemático de programación lineal entera mixta para la optimización de la configuración de la cadena de suministros mediante el control de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al controlar y reducir las emisiones de estos gases, se busca mitigar el cambio climático. El modelo está dirigido, por ende, a apoyar la gestión de la cadena de suministros en búsqueda de su sostenibilidad económica y ambiental.
10	2020	Julián Andrés Ariza Nieto	Modelo de programación lineal basado en la caracterización de la cadena de suministro de los productos bovinos con alta producción en la Provincia de Sabana Centro.	programación lineal	Su objetivo es proponer un modelo de programación lineal basado en la caracterización de la cadena de suministro de los productos bovinos con alta producción en la Provincia de Sabana Centro, que integre la primera y última milla. Para ello, se definió una investigación del tipo descriptiva, no experimental, transeccional, de campo.
11	2017	Natalia Robles-Obando	Optimización de la cadena de suministros mediante un modelo que incorpora su	programación lineal entera mixta	El propósito es desarrollar un modelo de optimización para la cadena de suministros, cuyo objetivo es apoyar la toma de decisiones para un desarrollo sostenible en términos de su impacto en el cambio climático.

			impacto en el cambio climático.		La metodología contempló la construcción de un modelo de programación lineal entera mixta, resuelto mediante la programación por metas, que tiene como novedad la incorporación del indicador ambiental de las emisiones de carbono asociadas a la configuración, para valorar y afrontar el cambio climático.
12	2012	Adriana Iveth Bermúdez Méndez, Martha Liliana Quecano Morales	Modelación matemática de la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia LTDA	Programación lineal	Realiza modelación matemática de la gestión logística del transporte para los productos de mayor rotación en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.
13	2019	José Luis Peñaranda Peralta	Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y el transporte de un producto determinado en una empresa de alimentos.	Programación lineal	Realiza, inicialmente, la caracterización de una cadena de suministro de una empresa de alimentos, con el objetivo de diseñar un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y el transporte; donde su finalidad es facilitar la toma de decisiones en el plan maestro de la producción, con un enfoque de reducción de costos, incluyendo una decisión de transporte que tiene en cuenta las posibilidades de envío de la empresa y que contribuye a la cadena de suministros.

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.2 Marco Histórico y geográfico

La industria colombiana en los últimos 20 años se ha desarrollado de forma rápida y creciente, pero también ha tenido grandes altibajos. Para 1998 los colombianos consumían 5384 millones

de litros de leche y por varios años decayó la cifra de consumo, sin embargo, en 2004 se equilibró en una cantidad aproximada y en 2007 aumentó a 6. 000 millones anuales

Para 2008 éramos el cuarto país con mayor producción de leche en sur América y entre 2013 y 2021, la producción creció hasta alcanzar 7.821 millones de litros. Durante este tiempo la necesidad de industrializar toda la mano de obra y producir en altas cantidades en poco tiempo, ha generado un desarrollo empresarial y estructural ejemplar para la industria de leches; sin embargo, el planeta hoy necesita empresas que logren hacer esto mejorando sus afectaciones ambientales y, sobre todo, que logren hacerlo al menor costo posible.

Como dijimos anteriormente, Laktoland está ubicado en Cogua, un municipio al norte de Cundinamarca que se caracteriza por su suelos fértiles y variedades de climas, por lo que el cultivo de alimentos como papa y verduras es una gran fuente de ingresos en el municipio; además, la buena productividad de los pastos también lo hacen un lugar idóneo para la producción de leche de vaca y cabra, lo que facilita generar productos frescos como cuajada, postres, quesos y demás.



*Figura 3. Gráfico de la Sabana central presentado por la Contraloría de Cundinamarca*

Sin embargo, Laktoland recibe leche de diferentes zonas de Cundinamarca como lo son: Chocontá, Madrid, Guasca, Lenguazaque, Rabanal, Sesquilé, Ubaté y Simijata, lugares del departamento que, de la misma forma, generan grandes cantidades de leche diariamente. Lo que no nos sorprende al reconocer que es el segundo departamento más productor de leche del país, con 4.800.000 litros diarios, de los cuales llegan a depender más 70.000 familias.

### 4.3 Marco teórico:

Se entiende por cadena de suministro como la solución a los problemas que involucran todo el contexto general del sistema, como transporte, almacenamiento, clientes, proveedores y demás elementos que pueden intervenir, así como cada uno de los costos que estos acarrearán, con el fin de cumplir los objetivos financieros o de satisfacción al cliente.

El objetivo de la cadena suministro es optimizar los resultados del proceso (maximizar utilidades, minimizar costos), teniendo en cuenta todos los factores involucrados en la misma, como son capacidades, oferta, demanda, tiempos, distancias, etc. (Molina, 2017).

Las cadenas de suministros agrícolas no están exentas de los problemas que se tratan de solucionar en la optimización de las cadenas de abastecimiento, incluso, poseen problemas puntuales dadas algunas características especiales como el ciclo de vida tan corto de algunos productos, problemas de abastecimiento, requisitos especiales en el transporte, niveles de calidad, entre otros. Por esta razón, toma suma importancia lograr definir cadenas fuertes que permitan buena comunicación entre todos los integrantes del sistema y así optimizar los recursos disponibles. (Tapia, 2016).

Para desarrollar estas cadenas de suministros se realiza un diseño de la misma, la cual va acompañada de los modelos matemáticos conformados por una función objetivo, restricciones y

variables (Molina, 2017); unas de las técnicas de modelación matemática para resolver este tipo de problemas es la programación lineal entera mixta, esta herramienta se utiliza con el objetivo de hallar resultados óptimos para la toma de decisiones mejorando la eficiencia del sistema evaluado. (Peña y Rodríguez, 2018).

#### **4.3.1 Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo**

La leche es un producto secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, su funcionalidad es alimentar a las crías en los primeros meses de vida (García Gramo & Ochoa M, 1987). El elemento primordial de la leche fresca es el agua en un 88%, le siguen los carbohidratos con un 4,7% siendo la lactosa el primordial hidrato de carbono, 3,4%, de grasas, 3,2% de proteínas y moderadas porciones de vitaminas y minerales los cuales representan alrededor de un 0,7% (Ávila Curiel & Shamah Levy, 2002). La estructura de la leche cambia según componentes como la raza del animal, la ingesta de alimentos, el estado de lactación, la era del año, el clima y el estado de salud del animal (Unión Ganadera Regional de Jalisco, 2014).

Mundialmente, la leche puede considerarse como uno de los productos más relevantes, ya que se consume en bastante más de 200 territorios. Su trascendencia radica en el elevado costo nutricional que tiene y que por consiguiente la transforman en un producto primordial en la dieta, en particular para los niños.

Como explicamos anteriormente, Colombia tiene grandes organizaciones que se dedican a la producción y venta de productos lácteos. Sabemos que ellos poseen enorme conocimiento del consumo y los diferentes canales y redes de repartición nacionales, así como de los lugares de producción. Entre estos están: Alpina, Colanta, Alquería, Algarra, etc...

Así mismo, como informamos en páginas anteriores, y lo repetimos aquí por la necesidad de traer a colación estas cifras en este marco teórico, en el departamento de Cundinamarca hay numerosas regiones dedicadas a la lechería especializada, municipios como Gachancipá, Suesca, Sesquilé, Cogua, Zipaquirá y Nemocón, resultan muy activos referente a la producción láctea, no obstante, es el Valle de Ubaté, y toda su provincia, la zona más lechera del área (FEDEGAN, 2015). Los municipios de Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque, Simijaca, Susa, Sutatausa, Tausa y Ubaté, aportan 2.4 millones de litros al día, pudiendo uno de los volúmenes más elevados de todo el territorio. Según las estadísticas agropecuarias de (Gobernación de Cundinamarca, 2014), para el 2013 el departamento contó con 349.933 cabezas para ordeño generando una producción de 3.706.428 litro de leche al día.

#### **4.3.2 Análisis de matriz DOFA.**

Sus inicios nacen de la necesidad de encontrar por qué fracasa la organización corporativa. La averiguación ha sido financiada por las organizaciones del Fortune 500, para consultar qué se podría hacer frente a dichos fracasos. Los equipamientos de indagación eran fruto de Marion Doshier, Dr Otis Benepe, Albert Humphrey, Robert Stewart y Birger Lie. Todo empezó como una

tendencia, la idealización corporativa que aparentemente se dio por primera ocasión en DuPont, en 1949. Para 1960, cada una de las organizaciones del Fortune 500 tenían un “gerente de organización corporativa” (o cargo equivalente); asociaciones de “planificadores corporativos a extenso plazo” empezaron a surgir por todo USA y Gran Bretaña.

No obstante, se desarrolló una crítica unánime en cada una de las organizaciones sobre como la organización corporativa, en la planeación a extenso plazo, no estaba en funcionamiento, no se recuperaba la inversión y era una gasto costoso y fútil. La verdad seguía siendo que, pese a los planificadores a extenso plazo, el exclusivo eslabón faltante era cómo conseguir que los equipamientos gerenciales aprobaran y se comprometieran con una secuencia de programas de acción.

Stewart de SRI en Menlo Park, California, lideró un equipo de estudiosos para intenta hallar que estaba mal en la organización corporativa y lograr alguna solución, o generar un sistema que permitiera a los conjuntos gerenciales aprobar y comprometerse en el trabajo de desarrollo, algo que en la actualidad denominamos “manejo del cambio”. 7 hallazgos clave llevaron a la conclusión de que, en las corporaciones, los jefes ejecutivos debían ser los jefes de organización y que sus directores inmediatos funcionales, debían ser su equipo de organización.

### 4.3.3 Programación lineal.

La programación lineal es fundamentalmente la batalla o discusión de una proporción de ocupaciones (productos) por unos recursos de carácter reducido, de tal forma que se obtenga un mayor de rendimiento. Una vez que se refiere a rendimiento, se está hablando de la mejora del sistema que podría ser de 2 maneras:

- Maximización: una vez se sigue el mayor precio de utilidad o ingreso.
- Minimización: una vez que se sigue un mínimo de precios o egresos de una organización.

La programación lineal es una de las técnicas más útiles de la indagación de operaciones en una vasta gama de inconvenientes empresariales, como, por ejemplo: económicos, industriales, financieros, productivos, hospitalarios, etc.

Cornejo (2005) define un modelo de programación lineal completa como aquel donde las cambiantes son números completos no negativos. En las situaciones reales, el analista se confronta a “decisiones sí o no”, ingenieros desarrollan un papel importante y, por esto, cada vez más su capacitación científica debería orientarse a puntos sociales y a la manera en que los inconvenientes impactan en la tecnología; es decir, debería aprender a pensar estratégicamente en el reto que expone el cambio tecnológico a la sostenibilidad. Las que tienen la posibilidad de representarse con una variable, llamadas binarias.

Es así que, cuando solamente se necesita que varias de las cambiantes sean completas y las demás sucesivas, el modelo obtiene el nombre de problema de Programación Lineal Completa Mixta. Esta categorización incluye modelos que tienen cambiantes completos no negativos y cambiantes sucesivos. Los inconvenientes de programación con completos, se formulan de la misma manera que los inconvenientes de programación lineal, empero, añadiendo la condición de que por lo menos alguna de las cambiantes de elección debería tomar valores completos.

#### **4.3.4 Mediciones de Co2 equivalente.**

Los datos conseguidos fueron analizados en 2 fases. La primera de ellas ha sido un estudio detallado de cómo los métodos de transporte, los motivos de desplazamientos, la época, sitio de procedencia y las cambiantes socioeconómicas poblacionales del AMVA, contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub>. En una siguiente fase, se hizo un estudio multivariable tomando solo las cambiantes socioeconómicas. Para eso, se analizó en primera instancia una matriz de correlación bivariante, permitiendo ver de esta forma varias tendencias alrededor de qué componentes socioeconómicos perjudicaban en más alta y menor medida la generación de emisiones por la utilización del transporte.

Después, estas tendencias fueron exploradas con más detalle por medio de un árbol de elección de Tipo CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection). El procedimiento CHAID está siendo utilizado extensamente en los estudios de transporte, con el objetivo de comprender las respuestas de colectivos relacionadas con una variable dependiente (criterio), conforme con la

mezcla de una secuencia de cambiantes predictoras (Marquet y Miralles-Guasch, 2014). Este procedimiento usa un grupo de algoritmos estadísticos, que determinan qué cambiantes predicen más algunos comportamientos y, para eso, divide la muestra original en subgrupos más pequeños, a través de pruebas Chi cuadrado (Horner et al., 2010).

A diferencia de otros procedimientos, la metodología CHAID hace las predicciones a un grado local, analizando solo la interacción en la subpoblación en aquel nodo (punto donde se hace la división). El resultado es una representación jerárquica a modo de árbol, que podría ser usada tanto para la exploración, como para la predicción (Sullivan y van Zyl, 2008; Pitombo, Kawamoto y Sousa, 2011). En esta situación, este procedimiento permitió conocer cuáles son los equipos de población que emiten más altas porciones de CO<sub>2</sub> en su movilidad cotidiana dentro del AMVA.

#### **4.3.5 Modelamiento simplex.**

Es un método para un proceso algebraico mostrado en forma canónica. Al igual que un método gráfico que luego debe realizarse en forma canónica, este proceso consiste en sumar una variable de holgura si el signo es menor o igual que y si es mayor que o igual a. Agregamos una variable redundante y una variable ficticia, luego, tabulamos sus coeficientes para cada variable, encontramos el vector de entrada, si es el número más pequeño para maximizar o el número más grande si es a minimizar. El vector de salida se obtiene dividiendo la disponibilidad y el coeficiente.

El pivote será la intersección de los dos vectores, por lo que se multiplica el valor por el punto de pivote, para obtener un resultado que es la misma columna que el resultado de "0". Luego, se realiza el mismo proceso para el resto de las tablas, hasta que, si el objetivo es aumentar filas  $Z_j$ , el valor de  $C_j$  debe ser positivo y para reducirlo, el valor debe ser negativo, indicando que el patrón se crea allí.

#### **4.4 Marco Conceptual:**

A continuación, haremos claridad de la definición de algunos conceptos claves para el desarrollo del proyecto, conceptos que son esenciales a la hora de entender cada parte de este.

**DOFA:** La matriz DOFA (conocido por algunos como FODA, y SWOT en inglés) es una herramienta de gran utilidad para entender y tomar decisiones en toda clase de situaciones en negocios y empresas. DOFA es el acrónimo de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Los encabezados de la matriz proveen un buen marco de referencia para revisar la estrategia, posición y dirección de una empresa, propuesta de negocios, o idea.

**Programación lineal:** La Programación Lineal (Optimización lineal), es el nombre que se le da al cálculo de la mejor solución, a un problema modelado como un grupo de colaboraciones lineales. Dichos inconvenientes emergen en muchas disciplinas de la ciencia y la ingeniería.

Es usualmente usada en el ejercicio de la ingeniería, para abordar inconvenientes de productividad, según la satisfacción de determinadas limitaciones – ejemplificando: recursos, primordialmente los limitados y costosos -, según un criterio de mejora: maximizar un beneficio o reducir un precio. La finalidad fundamental de la Programación Lineal es optimizar, o sea, maximizar o reducir funcionalidades lineales, en algunas cambiantes lineales, con limitaciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una funcionalidad objetivo además lineal (Salazar B., 2019).

**Diagrama de Ishikawa:** El diagrama de Ishikawa es un método de análisis de problemas y control de la calidad aplicado al ámbito empresarial. Evalúa potenciales incidencias con base en sus posibles causas. (Sánchez J., 2021)

**Logística:** En economía, la logística son todas las operaciones llevadas a cabo para hacer posible que un producto llegue al consumidor desde el lugar donde se obtienen las materias primas, pasando por el lugar de su producción (Sevilla A., 2012).

**Logística sustentable:** Las prácticas logísticas sustentables son actividades que se integran al desarrollo de las operaciones logísticas de una empresa con la finalidad de reducir el impacto que el desarrollo de las mismas tiene en el medio ambiente (Vargas D. et al., 2017).

**Cadena de suministro:** Una cadena de suministro es el conjunto de actividades, instalaciones y medios de distribución necesarios para llevar a cabo el proceso de venta de un producto en su totalidad. Esto es, desde la búsqueda de materias primas, su posterior transformación y hasta la fabricación, transporte y entrega al consumidor final (Roldán P., 2017).

**CO<sub>2</sub>:** El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un compuesto de carbono y oxígeno, el cual es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020 han sido de 90,252 megatoneladas, con lo que Colombia es el país número 144 del ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes (Datos macro, 2020)

**Agua residual:** Las aguas residuales son aguas con impurezas procedentes de vertidos de diferentes orígenes, domésticos e industriales, principalmente. De esta forma, tenemos que las aguas residuales pueden contener elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales (Fundación Ecomar, 2020)

**Cadena de abastecimiento:** También llamada la cadena de suministro o supply chain, es una función estratégica y logística que involucra todas las operaciones que son indispensables para que un producto o mercancía llegue al cliente final (AR Racking Colombia, 2021).

**Modelo matemático:** Un modelo matemático es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables. La rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las cualidades y estructura de los modelos es la llamada “teoría de los modelos” (Roldán P., 2020)

**GAMS:** El Sistema General de Modelado Algebraico (GAMS) está diseñado específicamente para suplir dos necesidades: modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales y mixtos, y realizar programación matemática. Es especialmente útil para solucionar problemas que sean grandes y complejos, permite construir modelos de gran tamaño que se pueden adaptar rápidamente a nuevas situaciones (software shop, 2021)

#### 4.5 Marco Legal:

A continuación, enunciaremos las normas que podrían tener relevancia a lo largo del proyecto, ya que por una u otra razón rigen y normativizan la producción de leche en Colombia,

Cundinamarca y Cagua:

**Ley 155 de 1959:** donde se limita el comercio indiscriminado, favoreciendo el sector de la producción.

**Ley 101 de 1993:** cuyo objetivo es proteger el desarrollo de las actividades agropecuarias y pesqueras y promover el mejoramiento del ingreso y calidad de vida de los productores rurales.

**Ley 811 de 2003:** que es una modificación de la ley 101, donde se crean las organizaciones de cadena.

**Acuerdo de competitividad de la Cadena Láctea Colombiana Julio de 1999 y Acuerdo de competitividad de la Cadena Láctea Colombiana Julio de 2010:** creado por el comité de Competitividad de la Cadena Láctea Colombiana, donde se presenta los resultados del proceso de discusión y concertación entre productores ganaderos, cooperativas, industriales y gobierno, en torno a los grandes problemas, objetivos, estrategias y líneas de acción para avanzar en la modernización del sector lácteo Nacional.

**Acuerdo de competitividad de la Cadena Láctea de Antioquia Julio de 2010:** creado por el comité de Competitividad de la Cadena Láctea Colombiana, donde se presenta los resultados del proceso de discusión y concertación entre productores ganaderos, cooperativas, industriales y gobierno, en torno a los grandes problemas, objetivos, estrategias y líneas de acción para avanzar en la modernización del sector lácteo Nacional.

**Acuerdo 008 –CNL de 2004:** por el cual se acuerda adoptar un sistema de certificación de laboratorios de las plantas de procesamiento, acopio de leche y demás laboratorios, a través del Sistema Nacional de Análisis de Leche Fresca – SISLAC al cual deberán acogerse todos los compradores de leche fresca.

**Decreto 2513 de 2005:** donde se reglamenta la ley 155, y dice que la producción láctea constituye una actividad fundamental para la dinámica y recuperación agropecuaria nacional y se debe vigilar la competencia desleal.

**Decreto 3280 de 2005:** en la que se reglamenta la ley 155, donde se pueden generar acuerdos para la estabilización de un sector.

**Decreto 616 de 2006:** donde se establecen los requisitos que debe cumplir la leche para consumo humano.

**Decreto 2838 de 2006:** en el que se modifica el decreto 616, adicionando las definiciones de los tipos de leche.

**Decreto 3800 de 2006:** en la cual se reglamenta la ley 811, y se establece la representatividad de los integrantes de las organizaciones de cadena.

**Decreto 2478 de 1999:** donde se establece que el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) tendrá a cargo la orientación, control y evaluación del ejercicio de las funciones de las entidades adscritas y vinculadas, participará en la formulación de la política en la elaboración de los programas sectoriales.

**Res 00076 de 1999:** en la cual se conforma el Consejo Nacional Lácteo como organismo asesor del Gobierno en materia de política lechera.

**Res 0321 J de 10 de 1999:** donde se deroga la resolución 0427 y se adopta el sistema de precios, calidades y funcionamiento de los mercados lácteos establecidos en el acuerdo de competitividad.

**Res 00051 de 2003:** por la cual se dictan medidas para regular el mercado de la leche, precio mínimo al productor, cuota excedente, índice de precios al consumidor. Adoptar el acuerdo 07 del CNL.

**Res 00186 de 2004:** por la cual se toman medidas para regular el mercado de la leche, y se adopta el acuerdo 08 del CNL.

**Res 00082 de 2005:** por el cual se fija el precio mínimo de referencia para el pago de la leche al productor.

**Res 00322 de 2005:** se revoca la Res 00082.

**Res 00331 de 2005:** por la cual se establecen los criterios para determinar el pago de un precio inequitativo a un productor del sector lácteo.

**Res 0337 de 2005:** modifica la resolución 00331.

**Res 00163 de 2006:** donde se fija el precio base del pago de la leche al productor.

**Res 2338 de 2006:** en la cual se modifica el decreto 616 y se dan otras disposiciones<sup>28</sup>.

**Res 00255 de 2006:** por el cual se otorga un incentivo al almacenamiento de leche.

**Res 000012 de 2007:** por el cual se establece el sistema de pago de la leche cruda al productor.

**Res 186 de 2008:** reglamenta parcialmente la ley 811 y el decreto 3800, regula condiciones y requisitos para la inscripción y cancelación de las organizaciones de cadena.

**Resolución número 115708 de 2021:** por la cual se establecen los requisitos para obtener la Autorización Sanitaria y de Inocuidad en los predios productores de animales destinados a la producción de carne y/o leche para el consumo humano.

**Ley 1259 de 2008:** por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.

**Decreto 3695 de 2009:** Por medio del cual se reglamenta la Ley 1259 de 2008 y se dictan otras disposiciones.

**Acuerdo N° 2:** por medio del cual se reglamenta las sanciones y el procedimiento para la aplicación del comparendo ambiental en el municipio de Cogua.

## 5. Diseño Metodológico

José Luis Abreu (2012) describe cómo se lleva a cabo una investigación, qué parámetros se determinarán y qué estadísticas se utilizarán para evaluar los datos recopilados. Este enfoque describe si se trata de un estudio exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. El tipo de investigación realizada para este trabajo es correlacional debido a que es necesario diseñar la cadena de suministro de leche en Lacktoland utilizando Programación Matemática Lineal Mixta y su dependencia con los indicadores de CO<sub>2</sub> y agua residual.

Para el enfoque del estudio A.M.García Díaz, S.PértegaDíaz, S.Pita Fernández, C.Santos García, J.Vázquez Vázquez (2006) refieren que un estudio cuantitativo es aquel en el que se recopilan y analizan datos cuantitativos sobre las variables. La investigación cualitativa evita la cantidad, los investigadores cuantitativos utilizan métodos como la observación participante y las entrevistas no estructuradas para hacer registros descriptivos de los fenómenos que se estudian. La principal diferencia entre los dos métodos es que el método cuantitativo examina la asociación o relación entre variables cuantitativas y el método cualitativo, la examina en contextos estructurales y situacionales. La orientación del estudio estará en el cuantitativo. Para el desarrollo del trabajo se propone calcular y disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> y aumentar el ahorro de agua a través de ecuaciones matemáticas para que los resultados se cumplan en el análisis.

El diseño adoptado es un estudio no experimental, ya que se lleva a cabo sin manipular intencionalmente las variables. Es decir, este es un estudio donde no cambiamos intencionalmente las variables independientes; lo que hacemos en la investigación no

experimental es observar los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural y luego analizarlos (Agudelo V et al., 2008).

## **Población**

La población considerada para este trabajo es la empresa Lacktoland S.A., teniendo como punto de análisis la cadena de transporte y suministros de la leche dentro y entorno a la compañía.

## **Técnicas de recolección de información**

La técnica de recogida de datos es una entrevista estructurada, también llamada formal o de cuestionario, dado que existe una guía con preguntas predeterminadas (pueden ser abiertas o cerradas) en forma de cuestionario, que es entregado por el entrevistador y contestado oralmente o por medio de un formato por el entrevistado, siguiendo el procedimiento y completando todos los componentes de la guía (**José Alberto Yuni, Claudio Ariel Urbano 2014**).

Después de tener esta información se procede a hacer el análisis correspondiente para hacer el modelamiento matemático aplicando programación lineal mixta.

### **5.1 Procedimiento metodológico**

A continuación, se describen las actividades que se llevarán a cabo para realizar la investigación:

Tabla 2. Metodología objetivo específico 1

<b>OBJETIVO:</b> Caracterizar la cadena logística actual de la compañía de industria láctea apoyado en herramientas de gestión de proyectos.	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Recopilación de información, crear base de todo el proyecto por medio de un diagrama de Gant.	<b>A1.</b> Realizar una investigación en bases de datos, artículos científicos y antecedentes acerca de las cadenas de suministro sustentables
<b>A2.</b> Revisar literatura del proceso de producción de leche.	
<b>B.</b> Caracterización del sistema	<b>B1.</b> Realizar estudio de la cadena logística actual apoyado en espina de pescado y DOFA.
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Obtener información para el diseño de la cadena de suministro sustentable de la leche caracterizando su cadena de abastecimiento actual.	

Fuente Elaboración propia

Tabla 3. Metodología objetivo específico 2

<b>OBJETIVO:</b> Modelar matemáticamente la optimización de la cadena de suministro incluyendo las emisiones de Co2 en el transporte y la generación de aguas en la producción de leche UTH.	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Diseño del modelo	<b>A1.</b> Determinar la estructura del modelo de programación lineal entera mixta en el que se propone realizar el plan de producción de la planta partir del análisis de la capacidad de producción, oferta, demanda, capacidad de carga de los camiones, límites de consumo de agua y generación de Co2 de los camiones para la cadena logística de la leche.
<b>A2.</b> Considerar información pertinente para el diseño del modelo matemático de PLEM mediante análisis de información.	
<b>A3.</b> Diseñar el modelo de programación lineal entera mixta	
<b>B.</b> Modelación y validación de datos del modelo	<b>B1.</b> Ingreso de datos al software GAMS para realizar modelación
<b>B2.</b> Verificar los cálculos de las características de desempeño del sistema.	
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Modelo de diseño de cadena de suministro para la configuración de la cadena logística de la leche.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Metodología objetivo específico 3

<b>OBJETIVO:</b> Formular la configuración de la red de suministro de la compañía, a partir de los resultados de la implementación computacional del modelo de programación lineal planteado para optimizar la cadena de suministro	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Obtención de resultados	<b>A1.</b> Revisar resultados arrojados por el software y analizarlos para identificar oportunidades de mejora en la cadena de logística, basados en los impactos de Co2 y generación de aguas residuales sin afectar la demanda.
	<b>A2.</b> Documentar conclusiones parciales.
<b>B.</b> Entrega de información del diseño de la cadena logística específicamente de leche UTH.	
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Diseño final de la configuración de la cadena logística de la leche UTH y análisis teniendo en cuenta las consideraciones ambientales (Co2 y agua residual) para la solucionar el problema planteado.	

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Desarrollo de los objetivos

### 5.2.1 Primer objetivo específico: Caracterizar la cadena logística actual de la compañía de industria láctea apoyado en herramientas de gestión de proyectos.

#### 5.2.1.1 DOFA:

Utilizando la información obtenida de la aplicación del análisis y encuesta externa, se pudo conocer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la empresa, a través de las cuales se desarrollan a continuación.

Tabla 4. DOFA

Debilidades	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de software para llevar a cabo la logística de transporte en la empresa.</li> <li>• No existe una metodología clara para la cadena logística de la compañía.</li> <li>• Desconocimiento en metodologías para implementación en cadenas logísticas.</li> <li>• Mal aprovechamiento de los procesos subutilizados.</li> <li>• Escaso seguimiento a la realización de los procesos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oportunidad de mejora interna al tener una amplia gama de herramientas técnicas (hardware y software) en todas las áreas y sobre tres pilares: personas, procesos y tecnología.</li> <li>• Oferta en la formación técnica y logística para el manejo de la cadena logística</li> <li>• Creciente demanda en el consumo de productos lácteos.</li> <li>• Afianzamiento en la cadena logística del sector lácteo.</li> <li>• Aprovechar la oportunidad de crecer más en la participación del mercado con la experiencia ya adquirida en el sector lácteo</li> </ul>
Fortalezas	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicio de flota propia.</li> <li>• Cadena de suministro clara.</li> <li>• Experiencia en el negocio de lácteos, tanto en manejo de proveedores como clientes.</li> <li>• Buen clima laboral.</li> <li>• Procesos de almacenamiento propios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desabastecimiento de materia prima.</li> <li>• Entrada de nuevos competidores.</li> <li>• Dependencia de los proveedores.</li> <li>• Productos sustitutos.</li> </ul>

Una vez completada la matriz DOFA, se conocerá más a fondo el proceso interno de la logística de transporte en cuanto a seguimiento, trazabilidad, novedades y gestión de clientes, fortalezas, debilidades y amenazas. y oportunidades que afectan el proceso logístico, por lo que obliga a la búsqueda de estrategias y planes de mejora que permitan a Laktoland. reducir los impactos negativos para cumplir con los tiempos de entrega teniendo en cuenta los objetivos planteados.

Las debilidades identificadas en la matriz DOFA permiten obtener un panorama más claro de las falencias actuales del proceso logístico de la empresa, las cuales inciden directamente en la parte tecnológica y metodológica, pues si no se brinda un excelente servicio mediante el manejo de las tecnologías de información, es un riesgo tanto para el cliente como interno de la compañía.

Las oportunidades identificadas en la matriz DOFA nos permiten saber exactamente qué oportunidades Laktoland. tiene con los recursos que la empresa puede utilizar actualmente para captar nuevos clientes, desde el área comercial hasta el departamento de logística. que está en el mercado, ofreciendo un servicio flexible y de alta calidad.

Las fortalezas señaladas en la matriz DOFA permiten que los respectivos campos participen en el seguimiento, trazabilidad y procesamiento de la leche desde el momento que se hace la recolección de la misma (medios), como la entrega del producto final (flota).

Las amenazas identificadas en la matriz DAFO permiten a la empresa implementar estrategias para enfrentarlas y reducir su impacto, mejorándolas día a día para convertirlas en fortalezas.

#### **5.2.1.2 Espina de pescado:**

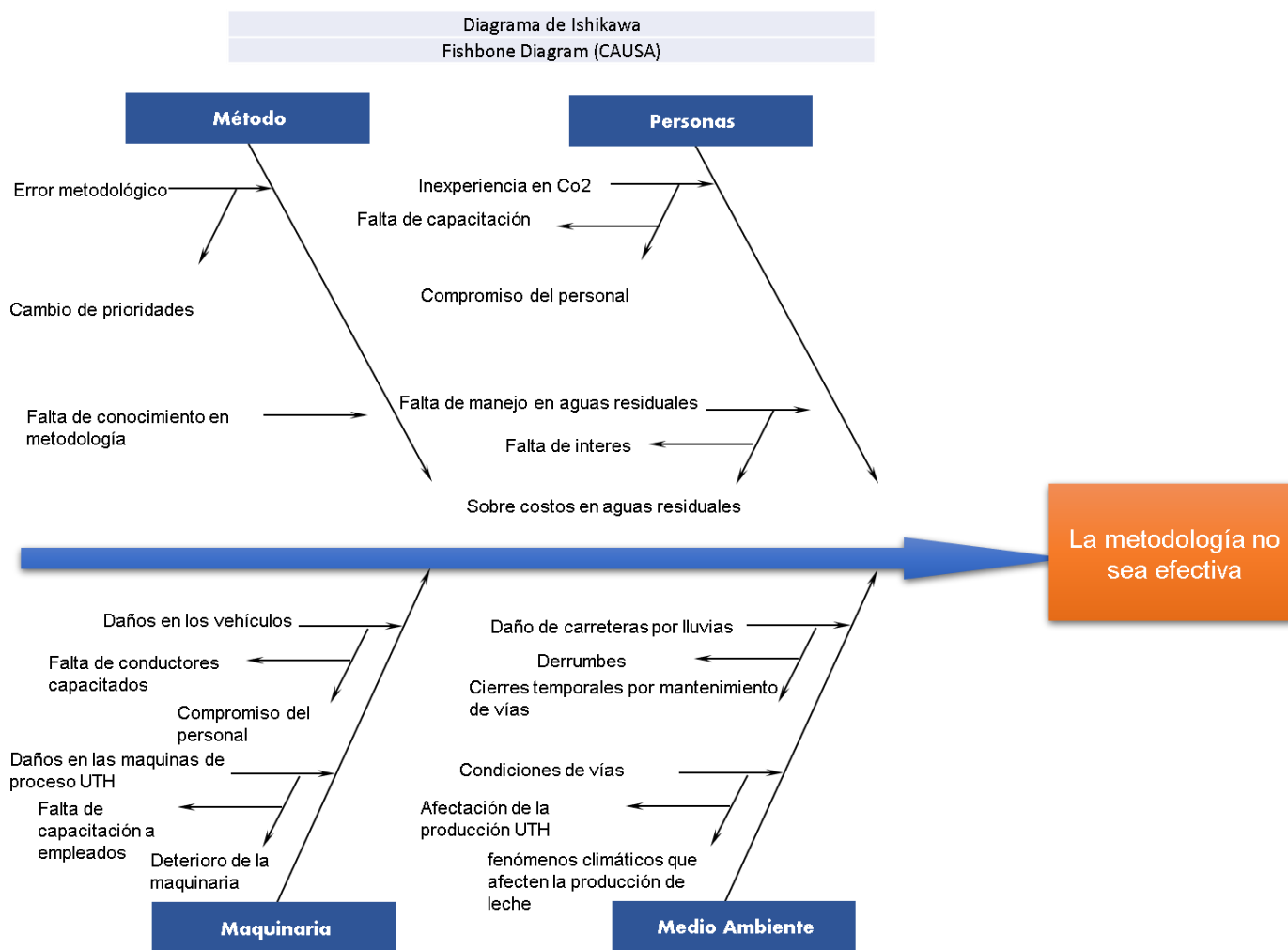
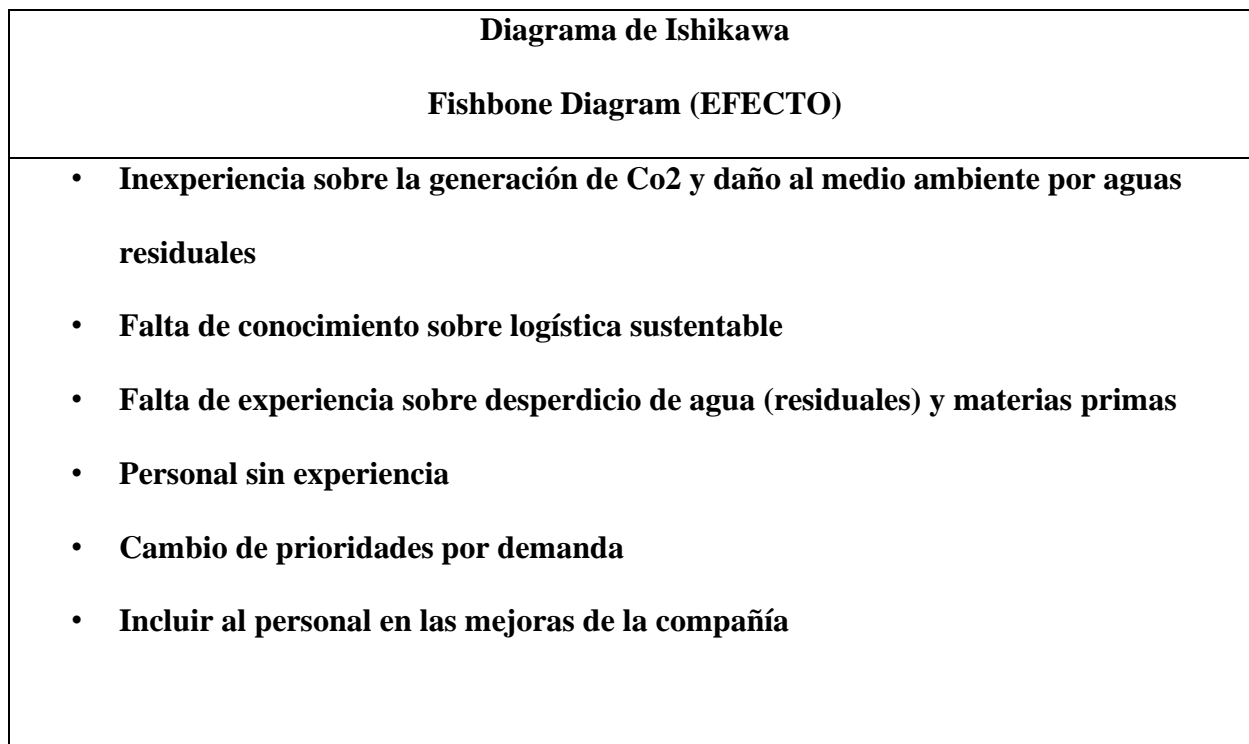


Figura 4. Diagrama de Ishikwa

Tabla 5. Diagrama de Ishikwa



### 5.2.1.3 Diagrama de Gant:

#### Cronograma de proyecto

Proyecto: Propuesta para la optimización de la cadena de suministro

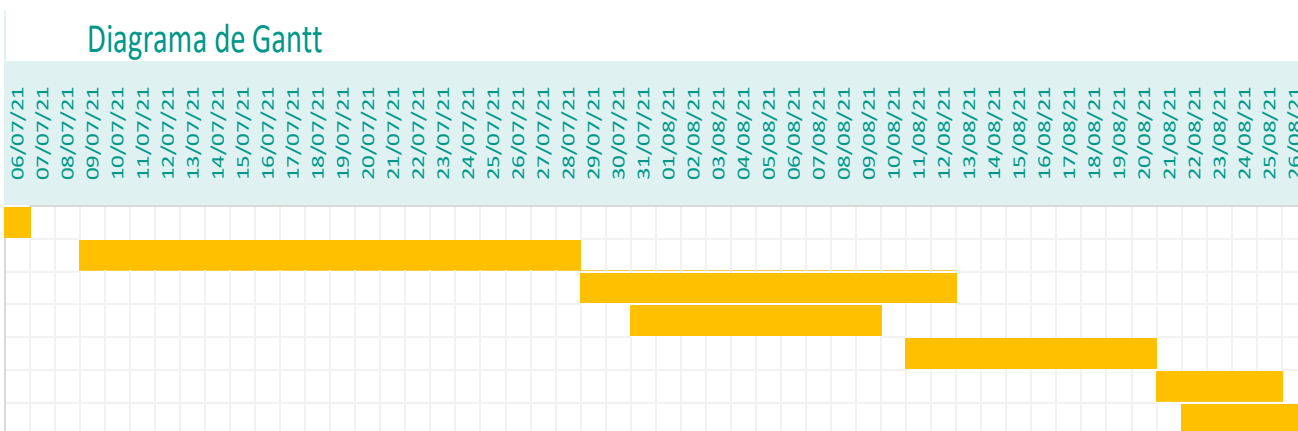
Fecha de inicio: 06/07/2021

Días planeados de trabajo: 51

Fecha de fin: 26/08/2021

*Si se completó*

N°	Descripción de la etapa	Duración de la etapa (días)	Tarea dependiente	Tipo de Dependencia	Días de dependencia	Comienzo	Fin	Responsable	Estatus	Fecha de finalización	Días que efectivamente llevó la etapa
1	Reunión Inicial	1	No Aplica	No Aplica	+0	06/07/21	06/07/21	Cristian-Camila	Completado	06/07/21	1
2	Recolección de información	20	1	CC	+3	09/07/21	28/07/21	Cristian-Camila	Completado	23/07/21	15
3	Aalisis de información	15	2	FC	+1	29/07/21	12/08/21	Cristian-Camila	Completado	12/08/21	15
4	Modelamiento Matematico	10	3	CC	+2	31/07/21	09/08/21	Cristian-Camila	Completado	14/08/21	15
5	Formulacion a programa GAMS	10	4	FC	+2	11/08/21	20/08/21	Cristian-Camila	Completado	20/08/21	10
6	Resultados y analisis	5	5	FC	+1	21/08/21	25/08/21	Cristian-Camila	Completado	25/08/21	5
7	Conclusiones	5	6	CC	+1	22/08/21	26/08/21	Cristian-Camila	Completado	26/08/21	5



#### 5.2.1.4 Recogida y Transporte

Antecedente de la recolección: el transportista de leche o el operador del centro de recolección/refrigeración debería examinar la leche de cada productor para cerciorarse de que no muestra signos evidentes de mal o deterioro. Si se observaran tales signos, la leche no tendrá que recogerse. Los centros de recolección y de refrigeración, si se aplican, tienen que estar diseñados y funcionar de tal forma que se disminuya al mínimo o se evite la contaminación de la leche. En especial, el transportista de leche o el operador del centro de recolección tendrán que tomar las muestras de tal modo que se evite la contaminación de la leche y puedan asegurar que esté a la temperatura idónea de almacenamiento e ingreso antes de su recogida.

El transporte es propio de la empresa, se hace por medio de un sencillo, turbo o doble troque. El tiempo y temperatura de transporte deben permitir transportar el producto a la Industria Láctea o al centro de recolección/refrigeración de una forma que reduzca al mínimo cualquier efecto

nocivo para su inocuidad e idoneidad. Este proceso se hace en cada uno de los siguientes proveedores: Chocontá, Guasca, Lenguazaque, Madrid Cundinamarca, Rabanal (cerca a Ubaté) Sesquilé, Simijaca y Ubaté, esta leche cruda se lleva a la planta central que queda en COGUA.

#### **5.2.1.5 Recepción en planta**

A la llegada al establecimiento, es deseable que se haga un proceso de lavado externo en el lavadero designado a su fin. Hablamos de borrar suciedad de las ruedas, barro, probables cuerpos extraños, etcétera. El objeto de este lavado es que toda esta suciedad no influya en el peso de la cisterna y producir proceso.

Luego se hace una pesada en la balanza, se solicita la información de aseo de la cisterna y hoja de ruta, se abren las bocas de hombre, se inspecciona visualmente (verificando entre otras cosas que la cisterna no haya sido manipulada, ausencia de olores, limpieza...), pre-esterilización o paso por el intercambiador de calor. Esta etapa se apoya en el calentamiento de la leche con una mezcla de tiempo/temperatura tal, que genere la reducción del contenido en gérmenes. Además, y en su caso, ayuda a que el UHT sea más eficaz, ayudando a los microorganismos esporulados a realizarse e incrementar la efectividad en la supresión en UHT.

#### **5.2.1.6 Material de envasado**

Esta etapa comprende la recepción y almacenamiento del material de envasado. Por objeto, identificar cualquier deficiencia que logre exponer de procedencia comentado material y evitar su deterioro o contaminación antes de ser usado. En la situación de todos esos materiales que entren en contacto o logren entrar en contacto con la leche (envase, tapones, etcétera.) y materias primas auxiliares es indispensable. Debido a dichos materiales, tendremos la posibilidad de determinar la proporción de producto culminado sobre la que tengamos que actuar.

Estos materiales deberán almacenarse separados de los productos finales. Mantenimiento deberá proveer unas condiciones higiénicas, de humedad y temperatura, que no favorezcan la contaminación de dichos materiales.

#### **5.2.1.7 Leche UHT**

Es el procedimiento por medio del crecimiento de la temperatura, en esta situación entre 135°C y 150°C a lo largo de 1 segundo (mínimo legal exigido) hasta los 4 segundos comúnmente, luego se baja la temperatura y se envasa en condiciones asépticas.

#### **5.2.1.8 Envasado:**

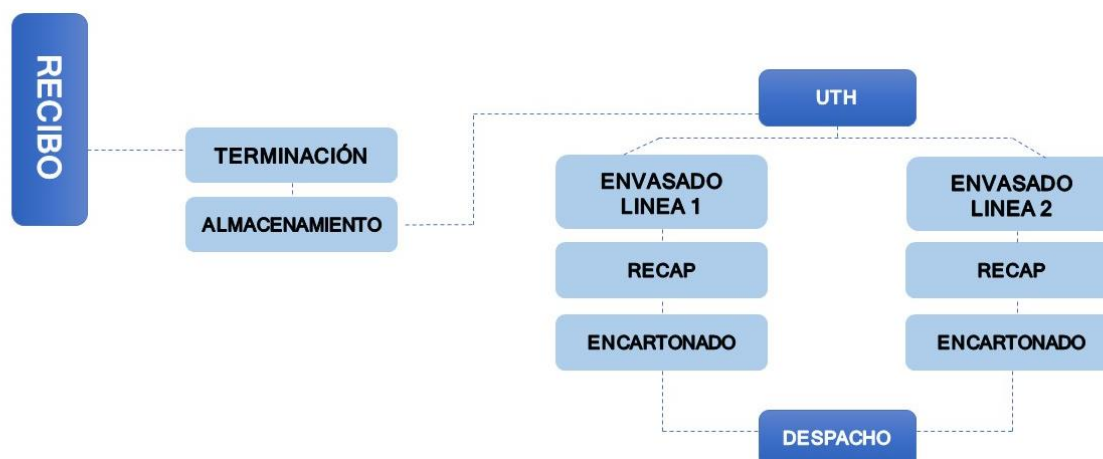
Esta operación se realizará en envases higiénicos, que se cerrarán herméticamente, con el fin de asegurar la calidad y estabilidad del producto durante toda su historia eficaz. Según el tipo de producto y envase (por ejemplo: leche U.H.T., meter el envase, anterior a su formación, en un

baño de sanitizante, con el objeto de asegurar su conservación, generalmente se labora con un baño de peróxido, a una temperatura los restos de peróxido sobre el papel del envase se eliminan). En la empresa el envase es de 900ML (0.9 litros) los cuales se empacan en cajas de 8 unidades.

### **5.2.1.9 Distribución Industrial**

Esta etapa corresponde a la expedición del producto a partir de su almacenamiento hasta la llegada al cliente. Las propiedades de su repartición industrial no originarán peligros relevantes, las operaciones de carga de vehículos y repartición de la leche tienen que desarrollarse desde el punto principal que se encuentra en Cogua, hacia los alrededores; las operaciones de carga de los camiones se realizarán de la manera más inmediata posible, con la ayuda de precámaras en los muelles de carga que mantengan la temperatura de esta región en un rango que no afecte al producto.

Los vehículos para el transporte de dichos productos deben tener las propiedades idóneas y los conjuntos de gélido que corresponden para el mantenimiento de la temperatura y aguantar las rutas que se tienen desde Cogua a cada uno de los clientes, los cuales son Funza, Mosquera, Medellín, Lebrija y Cúcuta.



*Figura 5. Diagrama de flujo de producción de la Leche*

#### 5.2.1.10 Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo

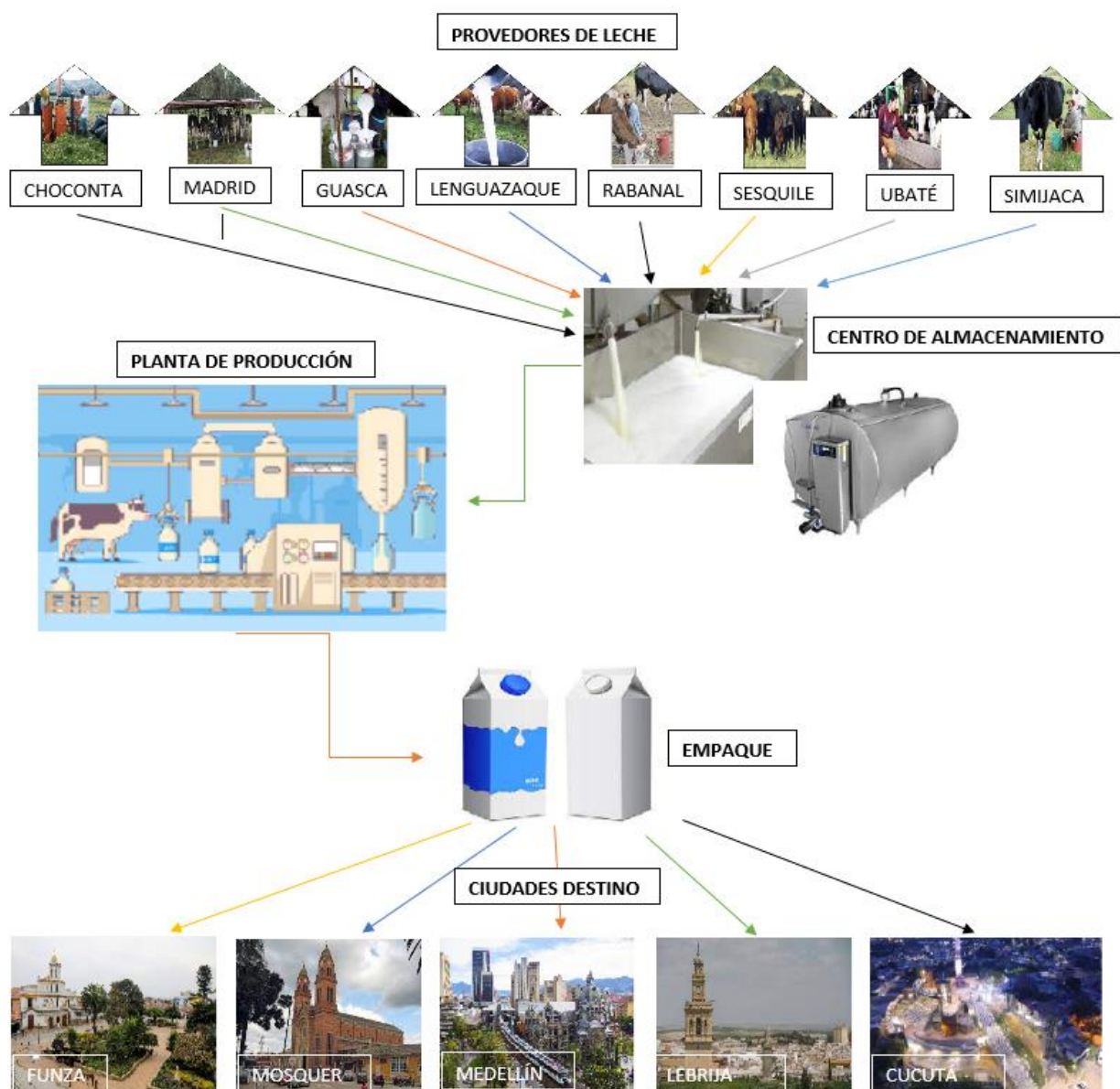
La leche es un producto secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, su funcionalidad es alimentar a las crías en los primeros meses de vida (García y Ochoa, 1987). El elemento primordial de la leche fresca es el agua en un 88%, le siguen los carbohidratos con un 4,7%, siendo la lactosa el primordial hidrato de carbono: 3,4%, de grasas, 3,2% de proteínas y moderadas porciones de vitaminas y minerales los cuales representan alrededor de un 0,7% (Ávila y Shamah, 2002). La estructura de la leche cambia según componentes como la raza del animal, la ingesta de alimentos, el estado de lactación, la era del año, el clima y el estado de salud del animal (Unión Ganadera Regional de Jalisco, 2014).

Mundialmente, la leche puede considerarse como uno de los productos más relevante, se consume en bastante más de 200 territorios. Su trascendencia radica en el elevado costo

nutricional que tiene y que por consiguiente la transforman en un producto primordial en la dieta, en particular para chicos.

**5.2.2 Segundo objetivo específico: Modelar matemáticamente la optimización de la cadena de suministro incluyendo las emisiones de Co2 en el transporte y la generación de aguas en la producción de leche UTH.**

Se presenta en detalle la estructura del modelo de PLEM en el que se propone realizar el plan de producción de la planta, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Cogua (Cundinamarca), cuenta con 8 puntos de recolección de leche cruda o proveedores ubicados dentro del departamento de Cundinamarca y hace entrega de su producto terminado en 5 ciudades como se muestra en la figura 6.



*Figura 6. Estructura de la cadena logística de suministro para el plan de producción de leche*

Para el desarrollo de este modelo se identificaron los conjuntos que detallan los elementos básicos en la estructura de la cadena.

### 5.2.2.1 Conjuntos

**i:** Proveedores: {Choconta, Guasca, Lenguazaque, Rabanal, Madrid, Ubaté,

Sesquile, Simijaca}

**j:** Planta de producción {Cogua}

**k:** Clientes {Funza, Mosquera, Medellín, Lebrija, Cúcuta}

**p:** Referencia del producto {Entera, Deslactosada, Semidescremada}

**v:** Tipo de Camión {Sencillo, Turbo, Minimula, Tractomula}

**t:** Procesos de producción {Recibo, Termizacion, UTH, Envasado, RECAP,  
Encartonado}

**M:** Materia prima {Leche cruda}

**e:** Insumos {Tetra pack, cartón corrugado}

**r:** Residuos Generados {Agua residual, CO2}

### 5.2.2.2 Parámetros

**OFMIN**(i) Oferta Mínima de Proveedores

**DEM**(p,k) Demanda de los clientes

**PV**(p) Precio de venta



<b>CPP(t)</b>	Capacidad en cada proceso de producción (t)
<b>CTMO(t)</b>	Costo de mano de obra
<b>CAPMO(t)</b>	Capacidad de mano de obra (t)
<b>CMP(i)</b>	Costos de Materia Prima en cada proveedor
<b>CTIN(e)</b>	Costo de los insumos
<b>CCM(v)</b>	Capacidad de los camiones Proveedores a la planta
<b>CAPVCL(v)</b>	Capacidad de los camiones de la planta a los Clientes
<b>DCMPP(k,v)</b>	Camiones Disponibles Proveedores a planta
<b>DCMPCL(v)</b>	Camiones Disponibles Planta a Clientes
<b>TCPP(v)</b>	Tipo de camiones de proveedores a planta
<b>DISPP(i,j)</b>	Distancias de proveedores a la planta
<b>DISPCL(j,k)</b>	Distancia de la planta de producción a los Clientes
<b>CTKMPP(i,v)</b>	Costos por Km de los proveedores a la planta
<b>CTPCL(k)</b>	Costo de transporte de la planta a los clientes
<b>CTPPCL(k,v)</b>	Costo de peajes de planta a clientes
<b>CTCPCL(k,v)</b>	Costo de combustible de planta a clientes
<b>OCTT(v)</b>	Otros costos de transporte

<b>GCO2(v)</b>	Generación de CO2 de los camiones
<b>GAR</b>	Generación de Agua residual
<b>CTF</b>	Costos fijos
<b>CTUA</b>	Costo de uso de agua
<b>MEPA</b>	Multa por exceso en el permiso de agua
<b>PCCA</b>	Permiso de captación y consumo de agua
<b>PRP</b>	Presentación de las referencias del producto
<b>ACR</b>	Almacenamiento en las cajas del producto
<b>EPR</b>	Estibado

### 5.2.2.3 Variables

<b>X (j,k,v,p)</b>	Cantidad de leche por cada presentación a elaborar y enviar a los clientes en los camiones de las diferentes referencias
<b>NVPP (i,j,v)</b>	Numero de viajes de la proveedores a planta
<b>NVPCL (j,k,v)</b>	Numero de viajes de la planta a cada destino
<b>Y (j,p)</b>	Cantidad de leche a procesar
<b>W (i,v)</b>	Cantidad de leche cruda a transportar de cada proveedor a la planta

**D(r)**           Holgura que se tiene para cumplir con la norma

**F(r)**           Exceso de Residuo contaminante

Se proponen dos modelos matemáticos de este diseño de red mediante programación lineal, los cuales difieren en la función objetivo, uno de ellos busca maximizar la utilidad, mientras que el otro busca minimizar la generación de agua residual y CO<sub>2</sub>.

En la ecuación del modelo se busca la optimización mediante la maximización de la utilidad de la cadena de suministro, para esto, se le resta a los ingresos obtenidos (precio por cantidad distribuida a los destinos) los diferentes costos que se van a tener en cuenta, esto es los costos de los fletes desde los proveedores a la planta en las diferentes modalidades de vehículos e igualmente los costos de transporte (peajes, combustible, otros) de la planta a las ciudades destino, al igual que los costos de producción, los cuales son multiplicados por la variable “ $Y_{jp}$ ”, la cual representa la cantidad de leche a procesar y, por último, los costos de operación de la planta y los costos fijo de operación.

#### **5.2.2.4 Función objetivo**

$$\begin{aligned}
 \text{Max Utilidad} = & \left( \sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c \sum_{v=1}^b \sum_{p=1}^s PV_p * X_{jkvp} \right) \\
 & - \left\{ \left( \sum_{i=1}^d \sum_{v=1}^b \sum_{j=1}^f CTKMPP_{iv} * \underline{NVPP}_{ijv} * CCM_v * 2 \right) \right. \\
 & + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c \sum_{v=1}^b (CTCPCL_{kv} + CTPPCL_{kv} + OCTT_v) * NVPCl_{jkv} * 2 \right) + CTF \\
 & + \left( \sum_{i=1}^d \sum_{v=1}^b CMP_i * W_{iv} \right) + \left( \sum_{e=1}^g \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s CTIN_e * Y_{jp} \right) \\
 & + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s \sum_{t=1}^u \left( \left( \frac{CTM}{O_t} \right) * PRP \right) * Y_{jp} \right) + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s CTUA * GAR * Y_{jp} * PRP \right) \\
 & + \left( \sum_{r=1}^l E_r * MEPA \right) \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

### Sujeto a:

#### Capacidad de producción

La ecuación 2 representa la restricción en la cual la cantidad de leche en proceso multiplicada por la cantidad de la presentación en una caja no puede ser mayor a la capacidad de cada una de las etapas del proceso de producción.

$$\sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s Y_{jp} * PRP \leq \quad \forall \quad t \quad (2)$$

#### Oferta

La ecuación 3 representa la restricción en la cual la cantidad entregada desde los proveedores a la planta, por lo menos, debe cumplir con la oferta mínima de leche cruda.

$$OFMin_i \leq \sum_{v=1}^b W_i \quad \forall \quad i \quad (3)$$

### **Demanda**

La ecuación 4 representa la restricción en la cual la cantidad de leche por cada presentación a elaborar y enviar a los clientes no puede superar la demanda de cada uno de ellos, esto representado en cajas por 8 unidades.

$$\sum_{j=1}^f \sum_{v=1}^b X_{jkvp} \leq DEM_{kp} \quad \forall \quad k,p \quad (4)$$

### **Capacidad de carga de los camiones de proveedores a planta y de planta a los clientes**

Las ecuaciones 5 y 6 muestran que en cada viaje de los camiones no se puede superar la capacidad de carga, tanto de los proveedores a la planta, como de esta última hacia los destinos.

$$W_{iv} \leq \sum_{j=1}^f (CCM_v * NVPP_{jv} * DCMPP_{iv}) \quad \forall \quad i,v \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s \frac{\Lambda_{jkvp}}{R} \leq \sum_{j=1}^f CAPVCL_v * NVPCL_{jkv} \quad \forall \quad v,k \quad (6)$$

### **Número de viajes de planta a destinos (clientes)**

La ecuación 7 representa la capacidad máxima que tiene la planta para enviar vehículos durante un mes, la cual no se puede superar.

$$\sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c NVPCL_{jkv} \leq (DCMPCL_v * MAXVPCL_v) \quad \forall v \quad (7)$$

### Límite de consumo de agua residual

La ecuación 8 representa la generación de agua residual en el procesamiento de la leche UHT durante las actividades de lavado y limpieza de los tanques y equipo, no debe superar al permiso de captación y consumo.

$$\sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s (GAR * Y_{jp} * PRP) + D_r - F_r = PCCA \quad (8)$$

### Igualdad 1 y 2

Las ecuaciones 9 y 10 representan las igualdades de las variables X, Y y W, debido a que la leche cruda que se recibe (W) es igual a la cantidad procesada (Y) y, a su vez, igual a la cantidad despachada (X).

$$\sum_{i=1}^d \sum_{v=1}^b \overline{PRP}^{iv} = \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s Y_{jp} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^f \overline{ACR}^{jpp} = \sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c \sum_{v=1}^b X_{jkvp} \quad (10)$$

Las ecuaciones 12, 13, 14, 15, 16 y 17 representan que las variables “X” y “Y” son positivas.

$$X_{jkvp} \geq 0 \quad (11)$$

$$Y_{jp} \geq 0 \quad (12)$$

$$\overline{W}^{iv} \geq 0 \quad (13)$$

$$NVPP_{ijv} \geq 0 \quad (14)$$

$$NVPCL_{jkv} \geq 0 \quad (15)$$

$$D_r \geq 0 \quad (16)$$

$$F_r \geq 0 \quad (17)$$

### Modelo algebraico ambiental

En la ecuación 18 del modelo, se busca la optimización mediante la minimización de la los residuos generados en el proceso de producción de leche UHT, agua residual y CO2 durante el transporte.

$$\begin{aligned} \text{Min Residuos} = & \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s Y_{jp} * GAR * PRP + \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^f \sum_{v=1}^b (DISPP_{ij} * NVPP_{ijv} * GCO2_v * 2) \\ & + \sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c \sum_{v=1}^b (DISPCL_{kv} * NVPCL_{jkv} * GCO2_v \\ & * 2) \end{aligned} \quad (18)$$

Las restricciones de este modelo serán las mismas del modelo algebraico económico, adicionando la ecuación 19 en la cual se representa el punto de equilibrio, es decir, los costos de operación (los costos de transporte, de producción, de mano de obra, de costos adicionales de pago por exceso de consumo de agua) deben ser igual o superiores a los costos fijos de la planta.

$$\begin{aligned}
 CTF \leq & \left\{ \left( \sum_{i=1}^d \sum_{v=1}^b \sum_{j=1}^f CTKMPP_{iv} * NVPP_{ijv} * CCM_v * 2 \right) \right. \\
 & + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{k=1}^c \sum_{v=1}^b (CTCPCL_{kv} + CTPPCL_{kv} + OCTT_v) * NVPCL_{jkv} * 2 \right) \\
 & + \left( \sum_{i=1}^d \sum_{v=1}^b CMP_i * W_{iv} \right) + \left( \sum_{e=1}^g \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s CTIN_e * Y_{jp} \right) \\
 & + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s \sum_{t=1}^u \left( \left( \frac{CTM}{CPR'_{encartonado}} \right) * PRP \right) * Y_{jp} \right) + \left( \sum_{j=1}^f \sum_{p=1}^s CTUA * GAR * Y_{jp} * PRP \right) \\
 & + \left( \sum_{l=1}^l F_l * MEPA \right) \left. \right\} \tag{19}
 \end{aligned}$$

### 5.2.3 Tercer objetivo específico: formular la configuración de la red de suministro de la compañía, a partir de los resultados de la implementación computacional del modelo de programación lineal planteado, para optimizar la cadena de suministros

Debido a que la demanda de las referencias de leche no supera la capacidad de los procesos de producción, se realizó un análisis proyectando 5 escenarios distintitos de comportamiento de la demanda en los que es igual o menor a la actual; los dos primeros, en los que la demanda es igual

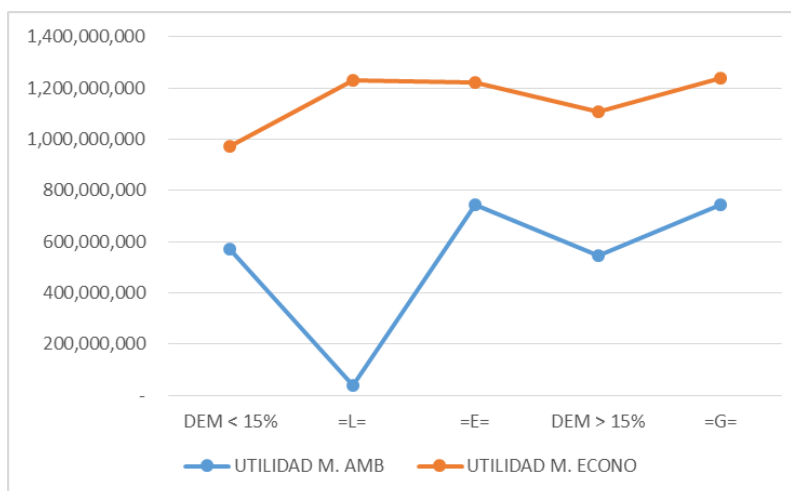
a la actual, el tercero, donde la demanda es mucho mayor y los otros dos, donde solo se incrementa y disminuye la demanda en un 15%, respectivamente.

### 5.2.3.1 Comparativos de los resultados de la función objetivo

En la Tabla 1, se muestran los resultados de la utilidad en cada uno de los 5 escenarios, tanto del modelo ambiental como del modelo económico. Se evidencia que, cuando en el escenario =L= se comporta de manera contraria, en el modelo ambiental la utilidad es menor debido a que prioriza la reducción de residuos generando menos cantidad de leche, como se muestra en la Gráfica 1.

Tabla 1. Comparativo utilidad modelo ambiental Vs modelo económico

ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
UTILIDAD M. AMB	572,478,400	36,310,420	742,777,300	547,573,600	742,777,300
UTILIDAD M. ECONO	972,286,510	1,228,813,806	1,222,200,663	1,107,239,119	1,240,617,252



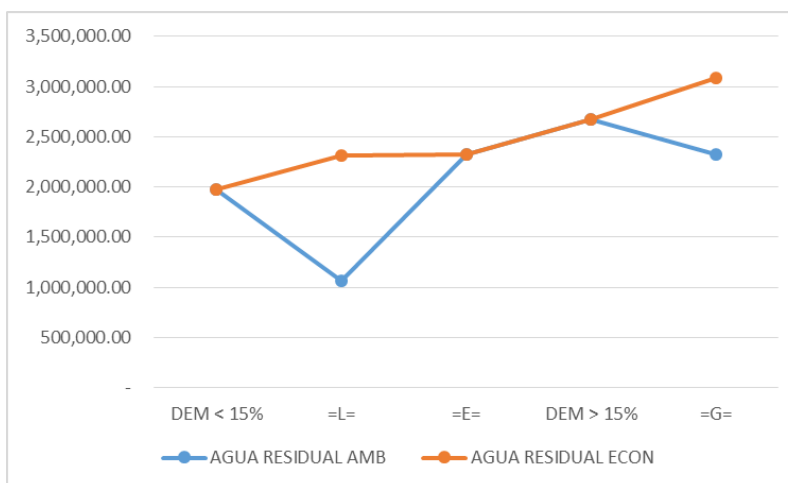
Gráfica 1. Comparativo resultados modelo ambiental y modelo económico de la demanda

En la Tabla 2, se muestran los resultados de la generación de agua residual en cada uno de los 5 escenarios del modelo ambiental y del modelo económico. Se evidencia que en el escenario donde

la demanda debe ser igual (=E=), la cantidad de agua residual generada en los dos modelos tienen el mismo valor, debido a que, en este escenario, los dos modelos tienen que cumplir con la misma cantidad de demanda y, por ende, la cantidad de agua residual generada es la misma, como se muestra en la Gráfica 2.

Tabla 2. Comparativa agua residual ambiental Vs modelo económico

ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
AGUA RESIDUAL AMB	1,973,088.00	1,070,140.50	2,321,280.00	2,669,472.00	2,321,280.00
AGUA RESIDUAL ECON	1,973,088.0	2,310,000.0	2,321,280.0	2,669,472.0	3,081,499.2

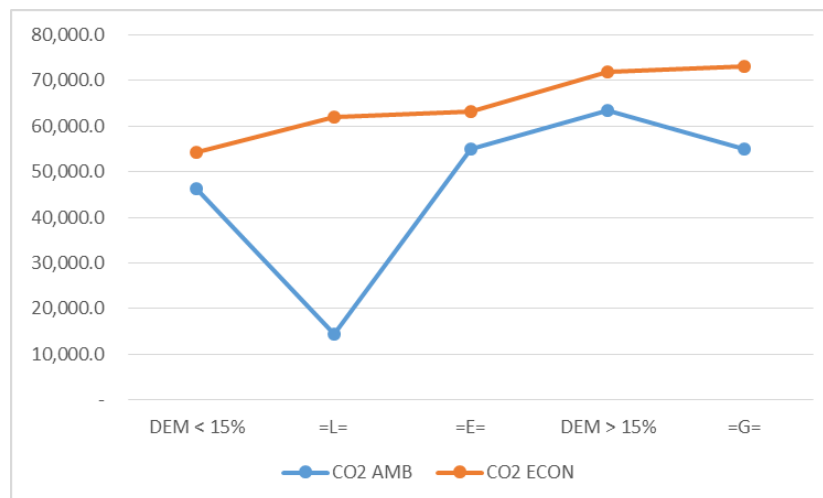


Gráfica 2. Comparativo resultados modelo ambiental y modelo económico del agua residual

En la Tabla 3, se muestran los resultados de la generación de CO<sub>2</sub>, en cada uno de los 5 escenarios del modelo ambiental y del modelo económico, de todos los trayectos que se realizan en el diseño de la red, tanto el transporte de leche cruda de orígenes a planta como el transporte del producto terminado de la planta a los clientes. Se evidencia que el modelo ambiental prioriza la reducción de emisión de CO<sub>2</sub> y, por tal razón, las emisiones son inferiores en todos los escenarios frente al modelo económico, como se muestra en la Gráfica 3.

Tabla 3. Comparativa CO2 – modelo ambiental Vs modelo económico

ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
CO2 AMB	46,401.5	14,458.5	54,905.8	63,444.2	54,905.8
CO2 ECON	54,292.61	62,078.04	63,156.01	72,019.41	73,199.61



Grafica 3. Comparativo resultados modelo ambiental y modelo económico de la generación del CO2

### Cantidad de referencias entregadas por cajas de 8

Las Tablas 4 y 5 muestran la variación de las presentaciones entregadas por referencias a los destinos en los dos modelos, donde se evidencia que se cumple con la demanda solicitada en el modelo económico y en el modelo ambiental. Se ven las variaciones tanto en los residuos como en la generación de CO2 cuando se expresa el modelo.

Tabla 4. Número de cajas de leche por ciudad modelo económico

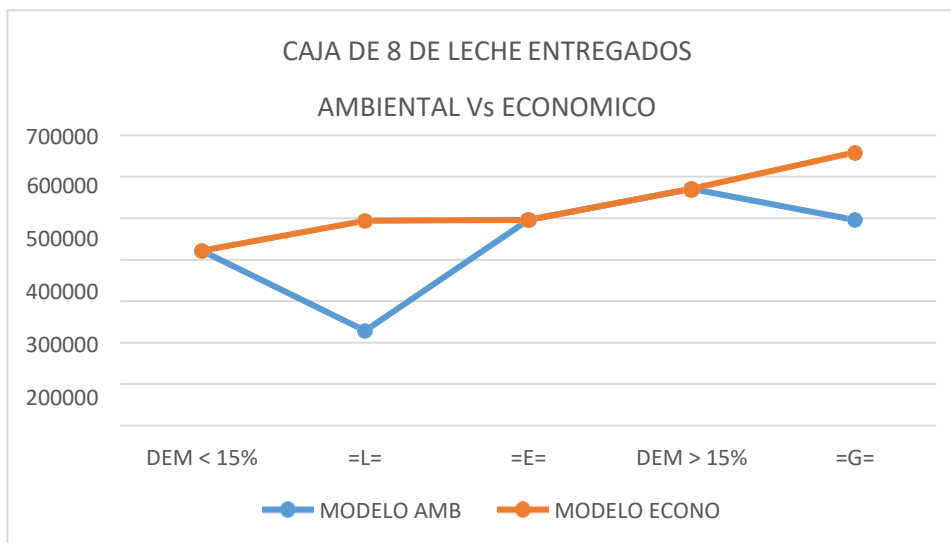
NÚMERO DE CAJAS DE LECHE ENTREGADAS POR CIUDAD					
CLIENTES	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
FUNZA	76,500.0	90,000.0	90,000.0	103,500.0	252,440.0
MOSQUERA	273,700.0	322,000.0	322,000.0	370,300.0	322,000.0
MEDELLIN	35,700.0	40,989.7	42,000.0	48,300.0	42,000.0
LEBRIJA	23,800.0	28,000.0	28,000.0	32,200.0	28,000.0

<b>CUCUTA</b>	11,900.0	12,600.0	14,000.0	16,100.0	14,000.0
---------------	----------	----------	----------	----------	----------

Tabla 5. Número de cajas de leche por ciudad modelo ambiental

NÚMERO DE CAJAS DE LECHE ENTREGADAS POR CIUDAD					
CLIENTES	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>FUNZA</b>	76,500.0	90,000.0	90,000.0	103,500.0	90,000.0
<b>MOSQUERA</b>	273,700.0	138,662.5	322,000.0	370,300.0	322,000.0
<b>MEDELLIN</b>	35,700.0	-	42,000.0	48,300.0	42,000.0
<b>LEBRIJA</b>	23,800.0	-	28,000.0	32,200.0	28,000.0
<b>CUCUTA</b>	11,900.0	-	14,000.0	16,100.0	14,000.0

Se evidencia que, para los dos modelos en los escenarios donde la restricción de demanda debe ser igual a la demanda inicial (=E=) y/o con una variación  $\pm 15\%$ , se cumplen con dicha demanda dado que la restricción así lo exige. Mientras que, en los escenarios donde la demanda puede ser menor o igual y mayor o igual, los modelos se comportan de manera diferente dependiendo la función objetiva de cada uno, es decir, mientras para el modelo económico se tiende a cumplir con la mayor cantidad posible de demanda para que la utilidad aumente, en el modelo ambiental tiende a cumplirse una demanda menor, pues este busca reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y, por ende, el transporte, igualmente, reducirá el agua residual mediante el proceso productivo. Esto se evidencia en la Gráfica 4.



Grafica 4. Comparativo resultados modelo ambiental y modelo económico

### Número de Viajes proveedores a planta

En las Tablas 6 y 7, se muestran el número de viajes realizados por cada tipo de camión, de los proveedores a la planta de producción. Se evidencia que en el modelo ambiental solo utilizan dos tipos de camión debido a que son los que menos emisiones generan, distribuyendo el producto terminado y aumentando el número de viajes del camión tipo turbo.

Tabla 6. Número de viajes de proveedores a planta modelo económico

VARIABLE NVPP Número de viajes de los proveedores a planta					
	DEM < 15%	=L= =	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>TURBO</b>	54.635	54.635	54.635	54.635	54.635
<b>SENCILLO</b>	126.516	152.432	153.300	180.084	211.778
<b>DOBLETROQUE</b>	19.805	19.805	19.805	19.805	19.805

Tabla 7. Número de viajes de proveedores a planta modelo ambiental

VARIABLE NVPP Número de viajes de los proveedores a planta					
	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>TURBO</b>	235.1	119.3	279.7	324.4	279.7
<b>SENCILLO</b>	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0

### Número de Viajes de planta a destinos

Las Tablas 8 y 9 muestra la variación en el número de viajes realizados por los tipos de camiones para entregar las referencias de leche a los diferentes destinos. Se evidencia que en el modelo ambiental utilizan los tres tipos de vehículos, pero con menor cantidad de viajes, y se utiliza el camión tipo sencillo, el cual genera menor cantidad de CO2.

Tabla 8. Número de viajes de planta a cada destino

VARIABLE NVPCL.L Número de viajes de la planta a cada destino					
	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>MINIMULA</b>	39.902	75.190	76.372	112.842	156.000
<b>TRACTOMULA</b>	135.000	135.000	135.000	135.000	135.000

Tabla 9. Número de viajes de planta a cada destino

VARIABLE NVPCL.L Número de viajes de la planta a cada destino					
	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>SENCILLO</b>	100.001	100.000	100.000	100.000	100.000
<b>MINIMULA</b>	156.000	65.031	156.000	156.000	156.000
<b>TRACTOMULA</b>	2.921	0	32.444	61.968	32.444

## Capacidad Utilizada en las etapas del proceso

Teniendo en cuenta que en el proceso de producción se tienen varias etapas y cada una con diferente capacidad, en las Tablas 10 y 11 se muestra el nivel de uso para cada modelo de la capacidad de estos.

Tabla 10. Capacidad utilizada en el proceso – Modelo Económico

CAPACIDAD UTILIZADA EN EL PROCESO					
ITE M	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>RECIBO</b>	25.60%	29.90%	30.10%	34.60%	39.90%
<b>TERMIZACION</b>	57.50%	67.30%	67.60%	77.80%	89.80%
<b>UHT</b>	46.80%	54.80%	55.10%	63.40%	73.20%
<b>ENVASADO</b>	46.80%	54.80%	55.10%	63.40%	73.20%
<b>RECAP (poner tapa)</b>	35.10%	41.10%	41.30%	47.50%	54.90%
<b>ENCARTONADO</b>	56.20%	65.80%	66.10%	76.10%	87.80%

Tabla 11. Capacidad utilizada en el proceso – Modelo

Ambiental

CAPACIDAD UTILIZADA EN EL PROCESO					
ITE M	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>RECIBO</b>	25.60%	13.90%	30.10%	34.60%	30.10%
<b>TERMIZACION</b>	57.50%	31.20%	67.60%	77.80%	67.60%
<b>UHT</b>	46.80%	25.40%	55.10%	63.40%	55.10%
<b>ENVASADO</b>	46.80%	25.40%	55.10%	63.40%	55.10%
<b>RECAP (poner tapa)</b>	35.10%	19.10%	41.30%	47.50%	41.30%
<b>ENCARTONADO</b>	56.20%	30.50%	66.10%	76.10%	66.10%

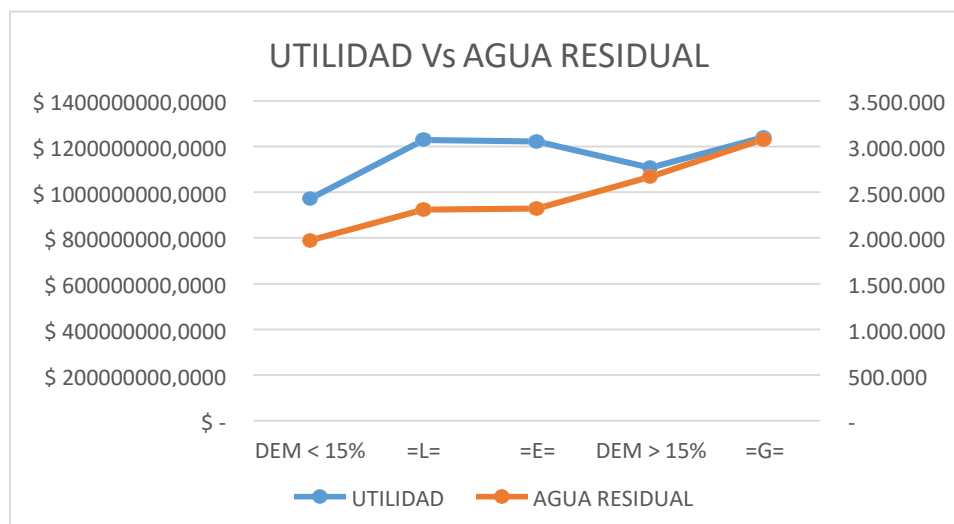
Se puede evidenciar que, para los dos modelos, el nivel de uso de los equipos no supera el 76%, siendo la etapa de “encartonado” la de más uso, debido a que esta es la de menor capacidad de todo el proceso.

Aunque se evidencia que hay bastante holgura en la capacidad del proceso, en caso de un aumento de demanda, se puede presentar un cuello de botella, principalmente en la etapa de encartonado, y, debido a esto, en el escenario donde no hay límite de demanda (=G=), la capacidad de este proceso disminuyó.

### 5.2.3.2 Medidas de desempeño

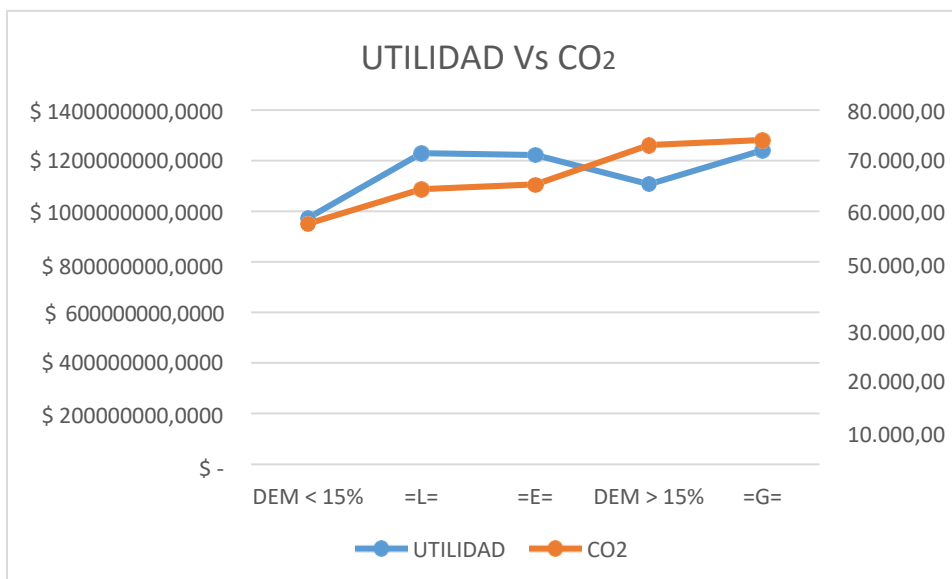
#### Modelo económico

En las Gráficas 5 y 6 se muestran las tendencias en los cinco escenarios de la utilidad Vs el agua residual en el modelo económico, las dos variables tienen la misma tendencia de crecimiento, pero, en el escenario donde la demanda no tiene límite (=G=), se igualan debido a que el objetivo es cumplir con la demanda.



Grafica 5. Comparativa utilidad vs agua residual  
modelo económico

Grafica 6. Comparativa utilidad vs co2 económico



En las Tablas 12 y 13, se evidencia que, por cada litro de agua residual y CO2, se produce cierta cantidad de utilidad generada.

Tabla 12. Utilidad Vs Co2 generado

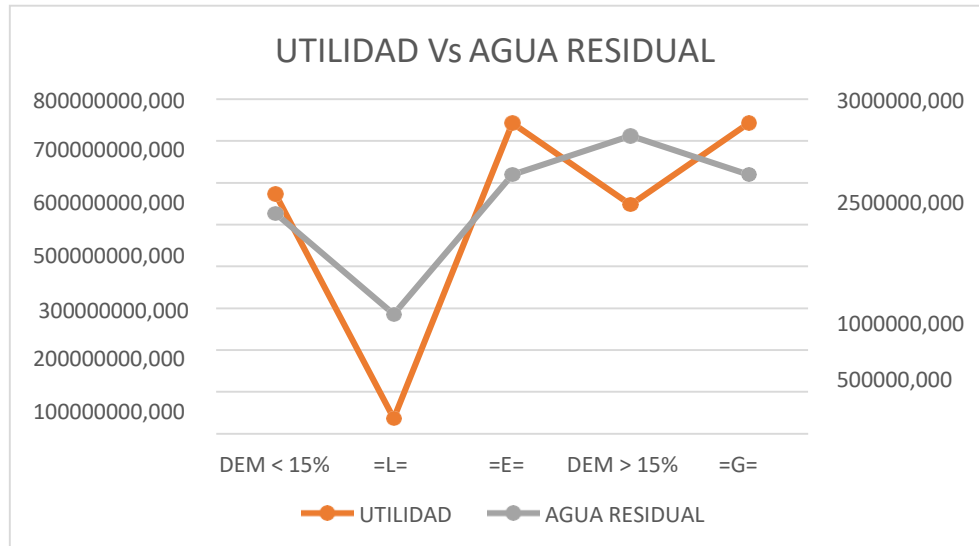
ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>UTIL Vs AGUA RESIDUAL</b>	492.7740222	531.9540284	526.5201366	414.78	402.6018413

Tabla 13. Utilidad Vs Co2 generado

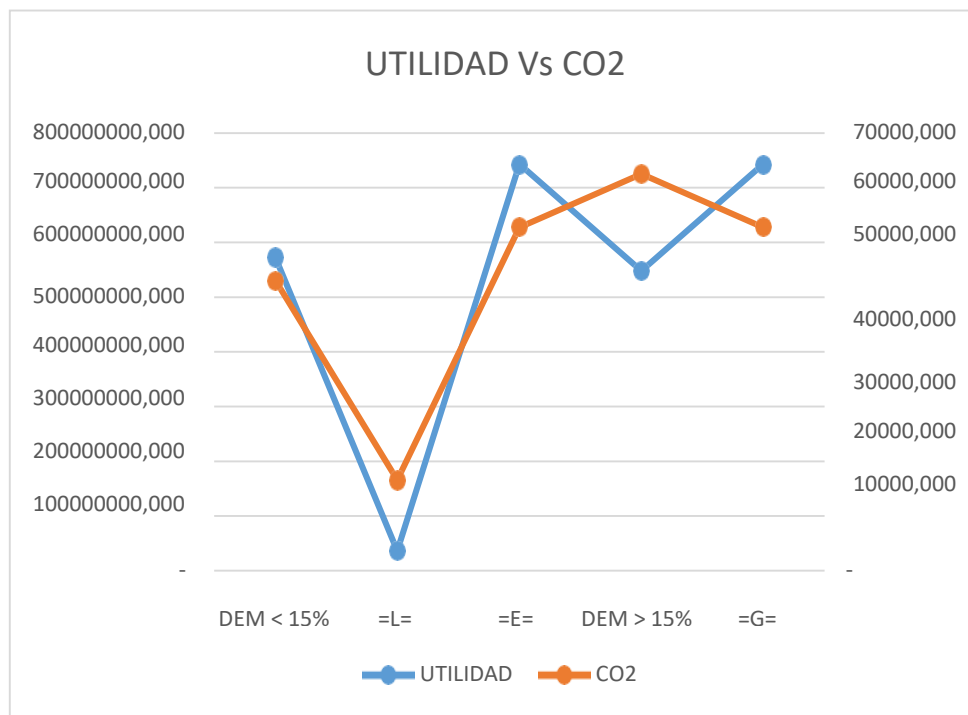
ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>UTIL Vs CO2</b>	17,908.26	19,794.66	19,352.09	15,374.18	16,948.41

### Modelo Ambiental

En las Gráficas 7 y 8, se evidencia que el modelo busca cumplir con la demanda basándose en la mínima generación de agua residual y de CO2, es decir, no tiene en cuenta generar grandes valores en la utilidad.



Grafica 7. Comparativo utilidad vs agua residual  
ambiental



Grafica 8. Comparativa utilidad vs co2 económico  
ambiental

En las Tablas 14 y 15, se evidencia que por cada litro de agua residual y CO2 se genera cierta cantidad de utilidad producida.

Tabla 14. Utilidad Vs Co2 generado

ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>UTIL Vs CO2</b>	12337.49532	2511.351961	13528.21885	8630.79093	13528.21885

Tabla 15. Utilidad Vs Agua residual generada

generado

ITEM	DEM < 15%	=L=	=E=	DEM > 15%	=G=
<b>UTIL Vs AGUA RESIDUAL</b>	290.143	33.931	319.986	205.124	319.986

## 6. Conclusiones:

1. Cumpliendo la demanda dentro del modelo de maximización de utilidades, siempre existe una cantidad de residuo y no se tiene holgura.
2. El vehículo que menor cantidad de CO<sub>2</sub> genera, cumpliendo la demanda de la empresa, es el camión turbo, esto desde cada uno de los proveedores a Cogua.
3. El vehículo que menor cantidad de CO<sub>2</sub> genera, cumpliendo la demanda de la empresa, es el camión sencillo, esto del punto de salida que es Cogua a cada uno de los clientes.

## 7. Recomendaciones

1. Se sugiere revisar con la CAR el costo por generación de residuos para poder minimizar el costo de penalización por el mismo.
2. Se recomienda mirar la factibilidad de un nuevo producto dentro de los procesos subutilizados, como la leche deslactosada descremada.
3. Aunque estos modelos se hacen con objeto de maximización de utilidades y disminución de residuos y CO<sub>2</sub>, tener en cuenta las demás variables como la subutilización en porcentajes que se tienen en cada uno de los procesos, de que forma se podrían aprovechar (tercerizando) y, así mismo, poder mitigar los costos por generación de residuos.

## 8. Bibliografía

1. Abreu, J. L. (2012). *Hipótesis, Método & Diseño de Investigación*. Disponible en: <http://www.spentamexico.org/v7-n2/7%282%29187-197.pdf>
2. Andrzej, L., Sudolska, A., & Tomanek, M. (2020, 13 mayo). *Mapping Research on Sustainable Supply-Chain Management*. MDPI. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/3987>
3. AR Racking Colombia (2021). *Cadena de suministro o supply chain: qué es y características*. Disponible en: <https://www.ar-racking.com/co/actualidad/blog/calidad-y-seguridad-4/cadena-de-suministro-o-supply-chain-que-es-y-caracteristicas#:~:text=Tambi%C3%A9n%20llamada%20cadena%20de%20abastecimiento,mercanc%C3%ADa%20llegue%20al%20cliente%20final.>
4. Ávila, A., Shamah-Levy, T., Galindo, C., Cuevas, L., Moreno, H. y Chávez A. (2002). *La Diabetes Mellitus en estratos socioeconómicos bajos de la ciudad de México*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4383192>
5. Cámara de Comercio de Bogotá, (2018) *Linea Base Objetivos de Desarrollo Sostenible. Departamento de Cundinamarca y Provincias*. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/24604>
6. Datos macro (2020). *Colombia - Emisiones de CO2*. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia#:~:text=Las%20emisiones%20de%20CO2%20en%202020%20han%20sido%20de%2090%2C252,de%20menos%20a%20m%C3%A1s%20contaminantes.>

7. Despeisse, Ball, Evans, & Levers, (2012). *Industrial ecology at factory level – a conceptual model*. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612001035>
8. Evangelista j. (2016). *Sistemas de producción lechera en Colombia: Retos y oportunidades*. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/317017699\\_Sistemas\\_de\\_produccion\\_lechera\\_en\\_Colombia\\_Retos\\_y\\_oportunidades](https://www.researchgate.net/publication/317017699_Sistemas_de_produccion_lechera_en_Colombia_Retos_y_oportunidades)
9. Evrard, Goury, Gunasekaran, & Spalanzani, (2011). *Knowledge management in supply chain: An empirical study from France*. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963868710000661>
10. Federación Colombiana de Ganaderos (8 de agosto 202). *Producción*.  
<https://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
11. Fundación Ecomar (2020). *¿Qué son las aguas residuales?* Disponible en:  
<https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20son%20aguas,en%20desechos%20urbanos%20o%20industriales.>
12. García Díaz, A.M., Pértega Díaz, S., Pita Fernández, S., Santos García, C. y Vázquez Vázquez, J. (2002). *Incapacidad temporal: características en un centro de salud durante el período 2000-2002*. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656706702827>

13. García Gramo & Ochoa M, (1987). *Características físicas de la leche*.  
[https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6565/modulo2\\_unidad1\\_derivados\\_lacteos\\_manejo.pdf;jsessionid=57E2DE99B164759A6335C6C73218F975?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/6565/modulo2_unidad1_derivados_lacteos_manejo.pdf;jsessionid=57E2DE99B164759A6335C6C73218F975?sequence=1)
14. García, O. y Ochoa, I. (1987). *Procesamiento de kumis y yogurt: Preparación de yogurt - Cartilla No. 2*. Disponible en:  
<https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll22/id/397/>
15. Genga R., Mansouria A.& Aktasb E. (2017). *The relationship between green supply chain management and performance: A meta-analysis of empirical evidences in Asian emerging economies*. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527316302870>
16. Glover, J. L., Championa, D., Daniels, K. J., & Daintyc, A. J. D. (2014, junio). *An Institutional Theory perspective on sustainable practices across the dairy supply chain*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313005860>
17. Gutiérrez, F.y Montoya, L. (2016). *La huella de carbono como herramienta para lograr una producción sostenible en un cultivo de flores ubicado en la Sabana de Bogotá – Colombia*. Obtenido de  
<https://revistasaludbosque.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/1858>
18. Informa, Directorio de Empresas, (2021). *Laktoland S. A. S*.  
<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/ceuco-colombia-ltda>

19. Kumar Mangla, S. (2020, 8 julio). *Operational excellence for improving sustainable supply chain performance*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7342035/>
20. Mainar, F. (2019). *La huella de carbono de la producción de leche de vaca* [Archivo PDF]. <http://www.serida.org/clipping/articulo2036.pdf>
21. Molina, L (2017). *Modelo Matemático Multi-Objetivo De Ruteo E Inventarios Para La Cadena De Suministro De Perecederos: Caso Sector Frutícola*. Disponible en:  
[http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8784/Dise%C3%B1o\\_red\\_suministro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8784/Dise%C3%B1o_red_suministro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
22. Panta, R. R., Prakash, G., & Farooquiea, J. A. (2015, 15 mayo). *A Framework for Traceability and Transparency in the Dairy Supply Chain Networks*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815020285>
23. Peña, L y Rodríguez, P (2017). *Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta*. Disponible en: Ingeniería, Vol. 23. No. 3. pp. 230 – 251
24. Ríos, V., Marquet O. y Miralles C., (2016). *Estimación de las emisiones de CO2 desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín*. Obtenido de:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5692938>
25. Roldán P. (2017). *Cadena de suministro*. Disponible en:  
<https://economipedia.com/definiciones/cadena-de-suministro.html>
26. Roldán P. (2020). *Modelo matemático*. Disponible en:  
<https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>

27. Salazar B., (2019). *Programación lineal*. Ingeniería industrial online. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/programacion-lineal/>
28. Sánchez J., (2021). *Diagrama de Ishikawa*. Economipedia. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/diagrama-de-ishikawa.html>
29. Sarkis, Zhu, & Lai, (2011). *An organizational theoretic review of green supply chain management literatura*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527310004391>
30. SEPRO (2015). *Corredor de la leche*. Recuperado 14 de noviembre de 2021, de <https://nemanosalvab.github.io/cta.sepro.unal/leche.html#>
31. Sevilla A. (2012). *Logística*. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/logistica.html>
32. Software shop (2021). *¿Qué es GAMS?* Disponible en: <https://www.software-shop.com/producto/gams>
33. Tapia, L (2016). *Diseño de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en córdoba- Colombia mediante la integración del modelo scor y el enfoque de optimización*. Disponible en <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0069814.pdf>
34. Unión Ganadera Regional de Jalisco, (2014). *Composición de la leche*. Recuperado el 19 de noviembre 2021. Disponible en: [http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=457&Itemid=376](http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=457&Itemid=376)

35. Unión Ganadera Regional de Jalisco, (2014). *Sistema Regional de Innovación y Desarrollo Rural Territorial: pequeños productores de leche del valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México*. Disponible en:  
<https://web.s.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authype=crawler&jrnl=21711216&AN=96440772&h=SpxQqoRC3QsPXp%2fYbXGtv0C0NaQbui8rY3A0vHbyhxiuxQDkq2OQKtwPG852P4n008ad1Y60ztk1Wro%2bEIMi4A%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhasurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authype%3dcrawler%26jrnl%3d21711216%26AN%3d96440772>
36. Van der Vorst, J. G. A. J., da Silva, C. A., & Trienekens, J. H. (2007). *Agro-industrial supply chain management: concepts and applications*. sidalc.net.  
<https://www.fao.org/3/a1369e/a1369e.pdf>
37. Vargas D., Doria F. & Álvarez M. (2017). *Prácticas logísticas sustentables en las empresas de transporte del estado de Tamaulipas*. Disponible en:  
<https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2017/4.14.pdf>
38. Yuni, J. y Urbano, C. (2014). *Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/T%C3%A9cnicas-para-investigar-2-Brujas-2014-pdf.pdf>