



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

APROVECHAMIENTO DE CAPACIDADES LOGÍSTICAS EN CADENAS DE SUMINISTRO AGROPECUARIAS

Johanna Marcela Benitez Montaña

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistema e Industrial
Bogotá Colombia

2019

APROVECHAMIENTO DE CAPACIDADES LOGÍSTICAS EN CADENAS DE SUMINISTRO AGROPECUARIAS

Johanna Marcela Benitez Montaña

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ingeniería Industrial

Director (a):

Ing. Juan Pablo Castrellón Torres

Línea de Investigación:

Gestión de Operaciones - Logística

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistema e Industrial

Bogotá Colombia

2019

“Est ist nicht genug zu wissen, man muss auch anwenden. Es ist nicht genug zu wollen, man muss auch tun”

Johann Wolfgang von Goethe

Dedico esta tesis a Dios, mis padres y mi hermana

Resumen

En esta investigación se desarrolla una propuesta para la implementación de mecanismos de coordinación en la cadena de suministro cárnica bovina para la ciudad de Arauca que permitan el aprovechamiento de capacidades logísticas en la cadena y mejoren su desempeño. En este estudio exploratorio de tipo mixto se realiza la caracterización de la cadena de suministro en los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución; se identifican las capacidades logísticas críticas en la cadena y finalmente, a través de la simulación de las relaciones presentes entre los actores involucrados se evalúa el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento en la operación de la cadena de suministro, mediante la implementación del mecanismo de coordinación de toma de decisiones conjunta (Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP) para la gestión de almacenamiento y la consolidación de órdenes, establecido a través de la herramienta de contratos.

Los resultados de esta investigación evidencian que la implementación de este mecanismo de coordinación en la cadena de suministro bajo estudio logró una reducción del 28,16% de los costos totales, una mejora del 9,98% del *fill rate* y una mejora del 53,67% del *InStock* con respecto al escenario sin coordinación.

Esta investigación se circunscribe en el proyecto de extensión del grupo Sociedad, Economía y Productividad – SEPRO titulado “Estrategia para la dinamización de las capacidades instaladas de acopio y comercialización de productos agropecuarios en Arauca, Arauca. Un enfoque desde la gestión de las cadenas de abastecimiento”.

Palabras clave: Cadena de suministro agropecuaria, mecanismos de coordinación, capacidades logísticas, desempeño

Abstract

This research develops a proposal for the implementation of coordination mechanisms in the bovine meat supply chain of Arauca city, which allow the enhancement of its logistics capabilities and improve its performance. In this mixed type exploratory study, the characterization of the supply chain in the provision, storage and distribution processes is carried out; the critical logistical capacities in the chain are identified and finally, through the simulation of the relationships between the actors involved, the use of storage capacity in the operation of the supply chain is evaluated with the implementation of the coordination mechanism decision-making process (Continuous Replenishment Program - CRP) for storage management and order consolidation, established through the contract tool.

The results of this research show that the implementation of this coordination mechanism in the supply chain under study achieved a 28.16% reduction in total costs, a 9.98% improvement in the fill rate and an improvement of 53, 67% of the InStock with respect to the scenario without coordination.

This research is circumscribed in the extension project of the research group “Sociedad, Economía y Productividad – SEPRO” entitled “Strategy for the dynamization of the installed capacities for storing and marketing agricultural products in Arauca, Arauca. An approach from the management of supply chains”.

Keywords: Agricultural supply chain, coordination mechanisms, logistics capabilities, supply chain performance

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Abstract	VIII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XII
Introducción	13
1. Generalidades de la Investigación	17
1.1 Antecedentes Internacionales	17
1.2 Antecedentes Nacionales.....	23
1.3 Identificación del Problema	27
1.4 Objetivos	32
1.4.1 Objetivo General.....	32
1.4.2 Objetivos Específicos.....	32
2. Metodología de Investigación	33
2.1 Fase uno: Investigación descriptiva.....	34
2.1.1 Diseño e implementación de instrumentos para recolección de información..	34
2.1.2 Caracterización de cadena de suministro	35
2.1.3 Identificación de problemáticas y capacidades logísticas críticas	36
2.2 Fase dos: Investigación propositiva.....	36
2.2.1 Diseño y validación de modelo de simulación basado en agentes.....	37
2.2.2 Propuesta de mecanismo de coordinación	40
2.2.3 Implementación de mecanismo de coordinación en modelo	40
3. Estado del Arte	41
3.1 Gestión de Cadena de Suministro (SCM).....	41
3.1.1 Niveles de integración de la cadena de suministro	44
3.2 Cadena de suministro agropecuaria	45
3.3 Desempeño de cadena de suministro	47
3.4 Capacidades logísticas.....	50
3.5 Coordinación en cadenas de suministro	55
3.5.1 Mecanismos de coordinación.....	59
3.5.2 Coordinación en cadenas de suministro descentralizadas	67
3.6 Simulación basada en agentes.....	69

4. Caracterización – Cadena de Suministro cárnica bovina en Arauca	72
4.1 Generalidades	72
4.2 Abastecimiento	76
4.3 Almacenamiento	80
4.4 Distribución	81
4.5 Normatividad.....	82
4.6 Problemáticas en la cadena cárnica bovina	84
5. Propuesta – Mecanismo de Coordinación	89
5.1 Procedimiento – Implementación de mecanismo	90
5.1.1 Contrato de coordinación	90
5.1.2 Programa de Reabastecimiento Continuo - CRP.....	91
5.2 Modelo Conceptual	94
5.2.1 Objetivos del modelo	94
5.2.2 Agentes y procesos.....	95
5.2.3 Supuestos del modelo	97
5.2.4 Funcionamiento del modelo, Variables de decisión y datos utilizados	98
5.3 Modelo de Simulación.....	102
5.3.1 Verificación, validación y calibración del modelo	103
5.4 Implementación.....	104
5.4.1 Resultados – Escenario sin coordinación	107
5.4.2 Resultados – Escenario con coordinación	109
5.4.3 Comparación de escenarios	111
5.4.4 Análisis de sensibilidad	114
6. Conclusiones y recomendaciones	119
6.1 Conclusiones	119
6.2 Recomendaciones	121
Bibliografía	123
Anexo: Instrumentos de recopilación de información	136

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Producción mundial de carne. Año 2019	17
Figura 2. Países líderes en producción de carne bovina a nivel mundial. Año 2019	18
Figura 3. Consumo de proteína animal en Colombia (kg por persona)	19
Figura 4. Ranking de hato bovino a nivel mundial. Año 2019.....	20
Figura 5. PIB departamental y per cápita – Arauca.....	28
Figura 6. Ubicación plaza La Unión, Cristo Rey y frigo matadero municipal – Arauca	29
Figura 7. Estructura metodológica de investigación	33
Figura 8. Metodología CAP.....	39
Figura 9. Estructura de alcance para revisión de literatura	41
Figura 10. Estructura de cadena de suministro.....	42
Figura 11. Indicadores de desempeño en una cadena de suministro	49
Figura 12. Clasificación de capacidades logísticas	51
Figura 13. Tipos de agentes de coordinación	56
Figura 14. Mecanismos de coordinación según tipos de integración	59
Figura 15. Estructura – Cadena de suministro cárnica bovina en Arauca	73
Figura 16. Principales productos del sector cárnico bovino en Arauca	75
Figura 17. Procedimiento para establecer contrato de coordinación.....	93
Figura 18. Modelo conceptual del sistema.....	96
Figura 19. Funcionamiento del modelo de simulación	99
Figura 20. Ambiente de simulación del modelo - Netlogo	106
Figura 21. Interfaz gráfica de modelo	106
Figura 22. Nivel de inventario – Plaza de mercado en escenario no coordinado	108
Figura 23. Nivel de inventario – Plaza de mercado en escenario coordinado	110
Figura 24. Demanda insatisfecha (kg) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación	112
Figura 25. Costo total (\$) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación	113
Figura 26. Fill rate (%) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación	114
Figura 27. Sensibilidad de demanda no satisfecha – Escenario no coordinado	117
Figura 28. Sensibilidad de demanda no satisfecha – Escenario coordinado.....	118

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Comparación de países en términos de variables productivas.....	21
Tabla 2. Establecimientos habilitados para sacrificio de bovinos	25
Tabla 3. Categorías de medición de desempeño en cadenas de suministro.....	48
Tabla 4. Índice de costos de la ganadería	76
Tabla 5. Densidad de carga de vehículos de transporte de ganado.....	78
Tabla 6. Distribución de familias en Arauca, Arauca	98
Tabla 7. Parámetros determinísticos de modelo de simulación	102
Tabla 8. Indicadores evaluados	107
Tabla 9. Resultados – Escenario no coordinado.....	109
Tabla 10. Resultados – Escenario coordinado.....	110
Tabla 11. Comparación de escenarios.....	111
Tabla 12. Intervalos de confianza para los costos totales, según nivel de inventario de seguridad	115
Tabla 13. Intervalos de confianza para los costos totales, según nivel de inventario máximo	115
Tabla 14. Intervalos de confianza para la demanda insatisfecha, según nivel de inventario máximo	116
Tabla 15. Intervalos de confianza para la demanda insatisfecha, según nivel de inventario de seguridad	116
Tabla 16. Efecto de stock de seguridad y capacidad de almacenamiento en demanda no satisfecha – escenario no coordinado	117
Tabla 17. Efecto de stock de seguridad y capacidad de almacenamiento en demanda no satisfecha – escenario coordinado	118

Introducción

El abastecimiento de productos alimenticios enfrenta actualmente un gran desafío debido al crecimiento acelerado de la población a nivel mundial y su constante desplazamiento hacia grandes ciudades. Los procesos de producción, transporte y manipulación de los productos, así como el consumo de estos han generado problemáticas importantes sobre el desperdicio y la pérdida de alimentos a lo largo de toda la cadena de suministro. Por esta razón, la disminución de estas pérdidas y desperdicios ha sido considerado uno de los propósitos globales en la iniciativa impulsada por las Naciones Unidas en 2015 “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (PNDU, 2020).

Teniendo en cuenta que las pérdidas de alimentos perecederos pueden alcanzar el 50%, dependiendo de las capacidades logísticas de la cadena de suministro (OCDE FAO, 2017), la gestión enfocada a la mitigación de los efectos provocados por las pérdidas de alimentos y desperdicios constituye un factor clave en la competitividad y desarrollo de cualquier región, y que dos tercios de los alimentos desperdiciados (alrededor de mil millones de toneladas) se producen en los procesos de cosecha, transporte y almacenamiento dentro de las cadenas de suministro agropecuarias (Fritz & Schiefer, 2008), estas cadenas enfrentan retos en materia del aprovechamiento de las capacidades logísticas de los agentes involucrados con el fin de mejorar su desempeño y contribuir con la reducción de pérdidas y desperdicios.

Para el caso del municipio de Arauca, la capacidad instalada de los establecimientos destinados a la distribución, almacenamiento y comercialización de productos agropecuarios presenta fallas en términos de coordinación de las operaciones logísticas desarrolladas, lo que contribuye a la informalidad y al manejo inadecuado de productos en términos de salubridad, poniendo en riesgo la salud y bienestar de su población. En particular, se evidencia una falla en la capacidad de almacenamiento de la plaza principal de este municipio, el cual atiende entre el 40% y el 60% de la población en un día de mercado. Teniendo en cuenta la alta demanda que recibe este establecimiento, la falta de

coordinación entre los expendios ubicados en la plaza y las limitaciones en la capacidad física del cuarto frío en el que se almacenan productos cárnicos bovinos generan pérdidas de calidad de estos alimentos y un riesgo potencial de contaminación por pérdida de ciclo de frío.

De acuerdo con el estudio de Zhao *et al.* (2017), uno de los factores claves para el fortalecimiento de las capacidades logísticas es el desarrollo de relaciones de coordinación entre actores de la cadena de suministro, especialmente porque establecer dichas relaciones permite identificar y desarrollar capacidades conjuntas que contribuyen a enfrentar situaciones de riesgo en las cadenas y a tener una mayor capacidad de respuesta. Sin embargo, en este y otros documentos como los de Breiter *et al.* (2009) y Ruiz *et al.* (2015) se evidencian brechas asociadas con la carencia de estudios relacionados con el desarrollo de relaciones de coordinación entre actores de la cadena de suministro para la gestión y mejora de capacidades logísticas, especialmente en la descripción de las condiciones bajo las cuales estas relaciones de coordinación pueden ser más eficaces.

Es a partir de este contexto donde se presenta la oportunidad de establecer estrategias de diferenciación organizacional que permitan obtener un valor agregado para alcanzar un nivel de competitividad frente a otros mercados, como lo es el aprovechamiento de las capacidades logísticas presentes en las actividades que llevan a cabo los actores involucrados en las cadenas de suministro (manejo de información, almacenamiento, transporte y operación interna). Una mejora en una o más capacidades logísticas trae consigo beneficios en términos de: reducción de costos y tiempos, menor intermediación, procesos óptimos, menores pérdidas, entre otros.

Bajo este escenario, se han identificado dentro del marco de esta investigación estrategias de coordinación que responden a la mejora de capacidades en la cadena de suministro agroalimentaria. Para el caso particular de esta investigación, se propone la implementación del mecanismo de coordinación de toma de decisiones conjunta (Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP) para la gestión de almacenamiento y la consolidación de órdenes, establecido a través de la herramienta de contratos. Este mecanismo de coordinación permite establecer la figura de agremiación de distribuidores y la administración de inventarios de forma consolidada para lograr un mejor

aprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento en el eslabón de comercialización de carne bovina en canal.

Para la implementación de este mecanismo en la cadena objeto de investigación, se presenta el reto de aplicarlo en un escenario real debido a que se debe incurrir en costos, modificación de procesos y otros elementos asociados a su operación. Por esta razón, se propone en este trabajo la implementación del mecanismo de coordinación seleccionado en un modelo de simulación que permite evaluar la pertinencia de dicha actividad sin perturbar el escenario real. Adicionalmente, se sugieren modificaciones en la implementación del mecanismo de coordinación para adaptarlo a las necesidades, capacidades y limitaciones de la cadena de suministro, especialmente en lo relacionado con aspectos tecnológicos y de barreras de implementación.

Esta investigación se enmarca en un estudio exploratorio de tipo mixto desarrollado en dos (2) grandes fases: investigación descriptiva e investigación propositiva. En la primera fase, a partir de información primaria y secundaria, se realiza la caracterización de la cadena de suministro cárnica bovina en canal para la ciudad de Arauca, Arauca, en los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución; y se identifican las capacidades logísticas críticas en la cadena bajo estudio. En la segunda fase, se diseña y valida un modelo de simulación basado en agentes a través del cual se evalúa el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento en la operación de la cadena de suministro en dos (2) escenarios – con y sin coordinación –.

Este documento se desarrolla en seis (6) capítulos enfocados al cumplimiento de los objetivos propuestos. En el capítulo 1 se presentan las generalidades de la investigación, señalando los antecedentes de la temática a nivel nacional e internacional y contextualizando la problemática y justificación de esta investigación, así como los objetivos de esta. En el capítulo 2 se presenta la metodología propuesta y desarrollada a lo largo de esta investigación, compuesta principalmente por dos (2) fases, cada una con tres (3) etapas.

En el capítulo 3 se presenta la revisión de literatura y estado del arte realizada en torno a los conceptos en los que se enmarca la disertación, especialmente en los mecanismos de coordinación en cadenas descentralizadas y el aprovechamiento de capacidades logísticas en una cadena de suministro. En el capítulo 4 se presenta la caracterización de la cadena de suministro seleccionada en tres (3) procesos logísticos: almacenamiento, distribución y

abastecimiento. También se presenta la normatividad vigente para esta cadena de suministro y se realiza una descripción de las problemáticas identificadas a partir de la recolección de información primaria y la revisión de literatura.

A partir de lo desarrollado en el capítulo 4 se presenta en el capítulo 5 la construcción, implementación y validación del modelo de simulación basado en agentes, presentando el modelo conceptual (descripción del objetivo del modelo, agentes y procesos, supuestos y funcionamiento general) y los resultados de la implementación en dos (2) escenarios: coordinado y sin coordinación. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

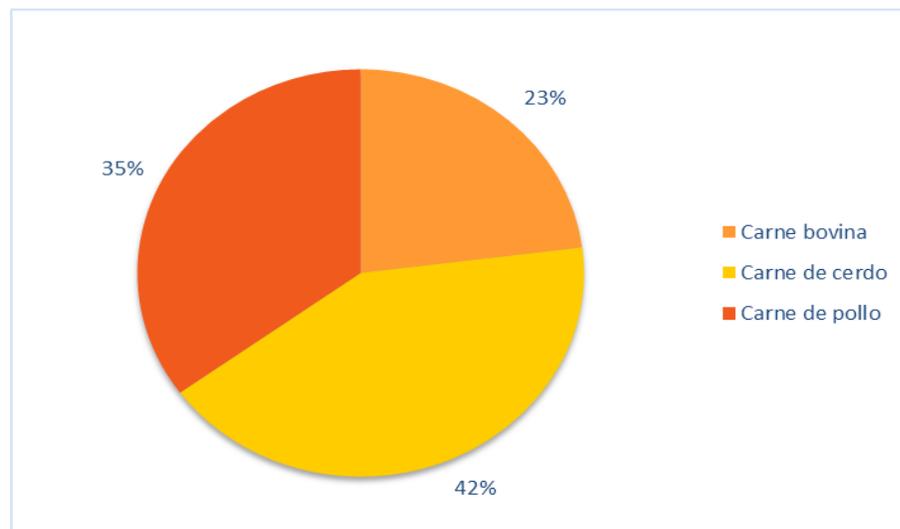
Esta investigación se circunscribe en el proyecto de extensión solidaria del grupo Sociedad, Economía y Productividad – SEPRO titulado “Estrategia para la dinamización de las capacidades instaladas de acopio y comercialización de productos agropecuarios en Arauca, Arauca. Un enfoque desde la gestión de las cadenas de abastecimiento”. En el caso particular, se define el alcance de esta investigación en la cadena de suministro de carne de res en canal en la ciudad de Arauca.

1. Generalidades de la Investigación

1.1 Antecedentes Internacionales

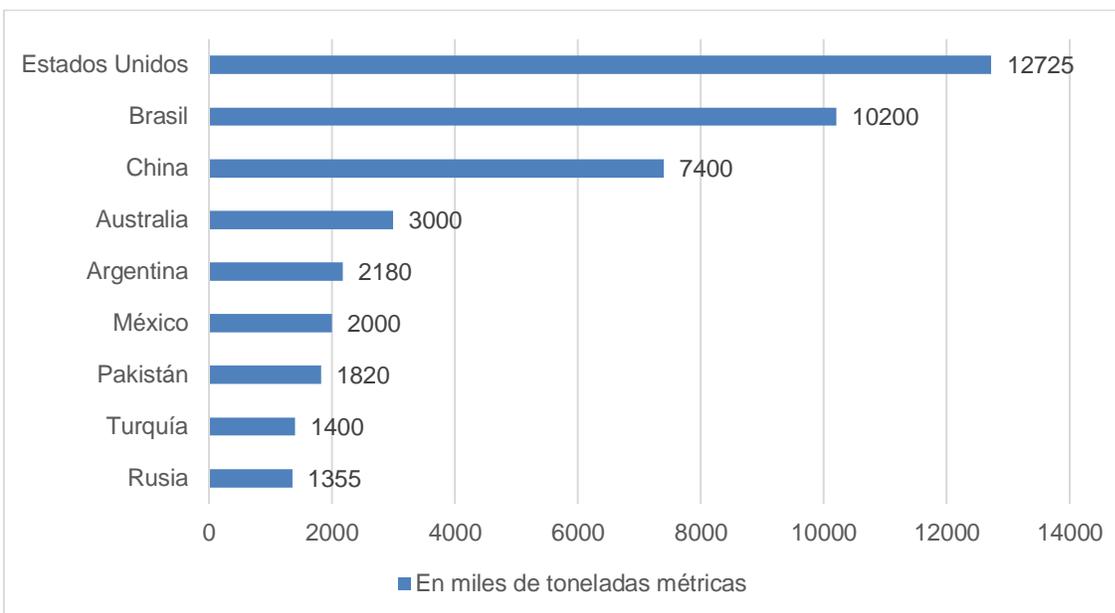
A nivel mundial se producen al año más de 300 millones de toneladas de carne. De acuerdo con las estadísticas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) se produce principalmente la carne de cerdo (42%), seguida por la producción de carne de pollo (35,1%) y la producción de carne bovina en tercer lugar (23%) (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2019).

Figura 1. Producción mundial de carne. Año 2019



Fuente: (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2019). Elaboración propia

El mayor productor de carne a nivel mundial es Estados Unidos, con una producción actual de 12.725 millones de toneladas anuales. América Latina y el Caribe aportan más del 25% de la producción mundial de carne bovina, y Colombia participa en dicha producción con el 14% (FEDEGAN, 2019c). Le sigue Brasil con una producción actual de 10.200 millones de toneladas y China con 7.400 millones de toneladas al año. En la Figura 2 se presentan los países líderes en producción de carne bovina a nivel mundial en el año 2019.

Figura 2. Países líderes en producción de carne bovina a nivel mundial. Año 2019

Fuente: (FEDEGAN, 2019c). Elaboración propia

Debido a una disminución del 10% en los inventarios ganaderos y del 9% en la producción de carne bovina en los Estados Unidos durante el período comprendido entre los años 2000 y 2016, se presentó un crecimiento de los inventarios ganaderos y el mejoramiento en la productividad para la región de América Latina y el Caribe (LAC), los cuales tuvieron un crecimiento del 17% y 31,5% respectivamente durante el mismo período (FEDEGAN, 2019c). De acuerdo con reportes de la Federación Nacional de Ganaderos – FEDEGAN, hasta un 70% de los inventarios de ganado de la región latinoamericana corresponden a los tres (3) países con mayor producción de esta (Brasil, México y Argentina).

De acuerdo con los estudios entregados por la OCDE¹ y la FAO² (2017), la producción de carne bovina en países en desarrollo será mayor hasta en un 16% para el año 2026, y hasta un 75% de la producción adicional pronosticada provendrá de países como Argentina, Brasil, India, China, México, Pakistán y Colombia. Este pronóstico resulta ser muy favorable para las condiciones de vida de la población inmersa en dicho sector; en términos del Ministerio de Agricultura y desarrollo de Colombia (2012) el crecimiento de la producción de carne bovina contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de “casi dos

¹ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

² Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

tercios de la población dedicada a la agricultura, cuyos medios de vida dependen parcialmente de dicha producción, ya que esta actividad se efectúa en el 84,5% de la superficie dedicada a la agricultura”.

En términos de consumo, la carne de origen bovino tiene una correlación alta con el PIB per cápita. A diferencia de otras proteínas, ésta es considerada como un bien de lujo y su consumo no está saturado como el consumo de carne de pollo y cerdo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010). De acuerdo con FEDEGAN, a pesar del aumento del consumo de productos sustitutos – especialmente el pollo –, la preferencia por parte de los consumidores colombianos aún se encuentra orientada hacia la carne de res, incluso teniendo en cuenta que la variable precio representa una restricción para la adquisición de este bien de consumo (ver Figura 3).

Figura 3. Consumo de proteína animal en Colombia (kg por persona)



Fuente: (FEDEGAN, 2018)

De acuerdo con los reportes de la OCDE y la FAO (2017) el consumo de carne bovina per cápita bajó en el año 2016 como consecuencia de la desaceleración del crecimiento de los ingresos, especialmente en aquellas regiones con alta dependencia de las exportaciones de productos básicos. Se estima que el consumo de carne per cápita a nivel mundial será de 35,3 kg anual para el año 2026, mientras que en Colombia, actualmente este indicador es de 18,2 kg anual (FAO, 2019b). A su vez se estima que los precios nominales de la

carne bovina bajarán hasta el año 2025 como consecuencia de una ampliación de la producción en el mundo.

Las exportaciones de carne bovina en la región latinoamericana aumentaron entre los años 2000 y 2017 (FAO, 2019b). Para países como Paraguay, Uruguay y Brasil, la tendencia al alza ha sido de casi 2,5 veces desde el año 2000, mientras que para Argentina ha significado un descenso de casi un 28% para el mismo período, debido principalmente a una sequía en el año 2008. A nivel mundial los principales países importadores de carne bovina en canal son Rusia, Estados Unidos y Japón, con un porcentaje de participación del 16%, 14% y 11% del total, respectivamente (FEDEGAN, 2019c). Debido a que las exportaciones del sector cárnico actualmente son menos dependientes de la situación económica de una sola nación, se genera una mayor estabilidad en estas actividades, lo que permite tener mejores perspectivas a mediano y largo plazo en este sector.

En cuanto a la disponibilidad de ganado, los países con mayor inventario bovino son India, Brasil y China con 303,3; 226 y 100 millones de cabezas respectivamente (Ver Figura 4). Es importante resaltar que el inventario de ganado disponible difiere del inventario destinado a las exportaciones, ya que incluye el inventario destinado a consumo interno. Colombia cuenta con un hato bovino de 26,2 millones de cabezas, ocupando la octava posición a nivel mundial y la tercera en América Latina (Galápago agroconsultores, 2018).

Figura 4. Ranking de hato bovino a nivel mundial. Año 2019



Fuente y elaboración (Galápago agroconsultores, 2018)

Tabla 1. Comparación de países en términos de variables productivas

Indicador	Colombia	Brasil	Argentina	Uruguay	EE. UU.	Australia	Unión Europea	Nueva Zelanda	Canadá
Natalidad (%)	53%	63%	69%	64%	82%	82%	81%	75%	84%
GDP³(gr/día)	349	376	437	507	1043	714	920	678	933
Peso medio al sacrificio (kg)428	428 kg	Machos: 462 kg Hembras: 438 kg	Machos: 448 kg Hembras: 409 kg	Machos: 513 kg Hembras: 439 kg	551 kg	588 kg	Confinamiento: 520 kg Pasturas: 480 kg	540	602
Edad al sacrificio (meses)	38	32	28	28	16 meses en confinamiento	26	17 meses en confinamiento	31	27
Rendimiento en canal (%)	53%	55%	57%	58%	61%	60%	59%	55%	57%
Tasa de extracción	19%	20%	25%	22%	38%	31%	46%	26%	25%

Fuente (FEDEGAN, 2019c)

³ Ganancias diarias de peso

En términos de competitividad, en la Tabla 1 se presenta la comparación de las variables productivas que ofrece el sector en Colombia con respecto a sus principales competidores. En relación con el desempeño de otros países, Colombia tiene ineficiencias en todos los aspectos productivos, lo que representa una oportunidad para mejorar las condiciones de producción bovina y carne en términos de mejoras genéticas para aumentar el porcentaje de natalidad, estructurar la alimentación y transporte del ganado para aumentar las ganancias diarias de peso, el peso medio al momento del sacrificio y el rendimiento en canal; y mejoras en la tecnificación de procesos de cría y mantenimiento de inventarios bovinos para aumentar la tasa de extracción. Aunque actualmente se sacrifican menos animales con un mejor peso al momento del sacrificio, aún se presentan aspectos a mejorar para lograr una mayor competitividad.

Teniendo en cuenta el incremento en la producción ganadera y los retos que se presentan con respecto a la elaboración y comercialización de productos que cumplan con las normas de sanidad, surge el desafío de garantizar la higiene e inocuidad de la carne, lo que implica la implementación de controles y mecanismos de inspección a lo largo de toda la cadena de suministro, desde la manipulación y el almacenamiento de la carne hasta su consumo (FAO, 2019a). Para atender a esta necesidad, la Comisión del Codex Alimentarius establece el Código Internacional Recomendado de Prácticas de Higiene para la Carne Fresca (OMS & FAO, 1999). Este código incluye directrices para dar gestión a aspectos como control de plagas, construcción de mataderos y otras instalaciones necesarias, calidad del agua para desinfección y limpieza, inspección de la carne y otras prácticas de higiene.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) aproximadamente el 85% del inventario bovino en América del Sur ha sido reconocido como libre de fiebre aftosa. No obstante, la producción y comercialización de este inventario sigue siendo afectado por otras enfermedades como la tuberculosis bovina. En contraste con este reto, la disminución del uso de antibióticos en el ganado resulta ser un elemento importante en el tratamiento y cría de animales a nivel mundial (AECOC, 2019). A pesar de los diversos tratados de libre comercio a los que tienen acceso los diferentes países latinoamericanos, las fallas en los sistemas de sanidad e inocuidad de alimentos constituyen un factor que impacta en la competitividad de los mismos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Para atender los retos anteriormente mencionados y en aras de lograr un desarrollo sostenible en el sector, es necesario implementar estrategias de política pública integrales que incluyan aspectos de innovación, inclusión social, inversión y desarrollo sostenible (FAO, 2019b). Así mismo, se deben establecer mecanismos de coordinación con otros eslabones de la cadena y articular estrategias de operación para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional, la producción y consumo responsable, y la utilización sostenible de recursos.

1.2 Antecedentes Nacionales

La actividad económica de la ganadería es la de mayor presencia a nivel nacional, ya que se encuentra en todas las escalas de producción, todas las regiones y pisos térmicos, y en especialidades como la cría, ceba, levante, doble propósito y lechería (DANE, 2019b). Siendo la principal actividad agropecuaria en el país, los productores del sector pecuario juegan un rol importante al encargarse de la cría y levante de ganado, así como los miembros de la cadena de suministro encargados del sacrificio, almacenamiento, expendio y comercialización de carne.

El sector ganadero genera 810.000 empleos directos que representan el 6% del empleo a nivel nacional y el 19% del empleo en el área agropecuaria (Departamento Nacional de Planeación, 2018). De acuerdo con el reporte de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del DANE, en el período comprendido entre los años 2001 y 2014 se encontraban abiertos 163 establecimientos industriales cuya operación estaba dedicada al beneficio de bovinos y elaboración de productos cárnicos, concentrados principalmente en cuatro (4) departamentos: Bogotá, Valle del Cauca, Antioquia y Santander (DANE, 2019b). El 52,9% de estos establecimientos correspondía a micro y pequeñas empresas, el 27,4% correspondía a medianas empresas y el 19,7% correspondía a grandes empresas.

En términos de producción anual, la ganadería en el país equivale a 5,3 veces el sector bananero; 3,1 veces el sector floricultor; 3 veces el sector cafetero y 2,1 veces el sector avícola (DANE, 2019b). Aunque el valor de la producción presentó en términos generales un crecimiento en el período 2001 – 2014, de acuerdo con la encuesta del DANE el sacrificio de ganado ha disminuido en los últimos cinco (5) años. Los bienes finales producto del sacrificio bovino presentaron en promedio las siguientes participaciones: carne (69,98%), derivados (29,99%) y subproductos cárnicos (0,03%). La población

ganadera a nivel nacional está conformada por 26.413.227 animales y se encuentra distribuida en 600.758 predios ubicados principalmente en los departamentos de Antioquia (11,5%), Córdoba (8,1%), Casanare (7,54%), Meta (7,38%), Caquetá (6,85%), Santander (6,04%), Cundinamarca (5,39%), Cesar (5,36%), Magdalena (5,15%) y Boyacá (4,44%), agrupando el 67,75% de la población total (ICA, 2019a). El tamaño del hato ganadero nacional lo posiciona como el doceavo más grande del mundo y el cuarto a nivel Latinoamérica.

El consumo de carne a nivel nacional ha venido presentando una baja durante los últimos cuatro (4) años, explicada principalmente por el aumento del precio del producto al consumidor final, limitaciones en el nivel de ingresos disponibles para este bien, y el auge de productos sustitutos como el huevo y la carne de pollo y cerdo (FEDEGAN, 2017). Aunque la mayor cantidad de productos cárnicos se adquiere en plazas de mercado y famas, se están cambiando las preferencias de compra para este producto hacia compras en supermercados de escala y surtiferuers, debido principalmente a las condiciones de calidad e inocuidad (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

En cuanto a las exportaciones, la balanza comercial de esta cadena ha presentado un aumento del 10,6% en el año 2018 con respecto al año anterior (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Las exportaciones de carne alcanzaron una participación del 85,7% en el total de las exportaciones de esta cadena, seguido de los subproductos cárnicos con un 12,4% y los derivados con un 1,9%. Colombia exporta a doce (12) mercados en el mundo: Rusia, Jordania, Líbano, Vietnam, Hong Kong, Curazao, Perú, Chile, Libia, Irán, Irak y Egipto. Entre enero y agosto de 2019 se ofreció un portafolio de exportación de 13.000 toneladas de carne a nivel mundial, y 28.293 toneladas de animales vivos a Egipto, Irak, Jordania y Líbano (FEDEGAN, 2019a).

Para lograr exportar con éxito al mundo o comercializar internamente es necesario dar cumplimiento a la normatividad nacional e internacional sobre sanidad e inocuidad en los productos cárnicos. A través de la reglamentación sanitaria vigente en el país se busca mitigar riesgos de salubridad como las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), la fiebre de aftosa y la tuberculosis bovina (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Se destaca el decreto 1500 de 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007a), el cual establece el reglamento y las directrices para realizar la inspección, vigilancia y control del sector cárnico y sus productos derivados.

De acuerdo con el INVIMA (2020) solo 210 establecimientos se encuentran habilitados para su funcionamiento de acuerdo con lo establecido en el decreto 1975 de 2019 (Ministerio de Salud y Protección Social) en actividades de sacrificio, desposte y desprese de bovinos en el país. De estas plantas, 11 cumplen con los requisitos de seguridad e higiene correspondientes a lo establecido en el decreto 1500 de 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social). Su distribución a lo largo del país se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Establecimientos habilitados para sacrificio de bovinos

Departamento	Número de plantas abiertas	
	Decreto 1975/2019	Decreto 1500/2007
Cundinamarca	26	-
Caldas	21	-
Antioquia	19	3
Norte de Santander	16	-
Santander	10	2
Boyacá	9	-
Tolima	9	-
Valle del cauca	9	-
Meta	7	-
Huila	7	1
Cauca	7	-
Cesar	7	1
Atlántico	6	-
Nariño	6	-
Risaralda	6	1
Putumayo	5	-
Bolívar	5	-
Bogotá D.C.	4	-
Boyacá	4	1
Caquetá	4	-
Casanare	4	-
Guajira	4	-
Arauca	3	-
Córdoba	3	2
Magdalena	2	-
Guaviare	2	-
Sucre	1	-
Quindío	1	-
Vichada	1	-
Amazonas	1	-
Guainía	1	-
Total	210	11

Fuente (INVIMA, 2020). Elaboración propia

Aunque esta información da un parte de tranquilidad sobre las condiciones de higiene e inocuidad en los productos obtenidos, el sacrificio clandestino y el contrabando de animales aún resulta ser un elemento negativo en el desarrollo del sector. De acuerdo con FEDEGAN (2017), se estima que la ilegalidad en el sacrificio de animales aproximadamente es de 4,2 millones de bovinos para el año 2016, representando un 18,3% de la producción total de 22,9 millones de bovinos a nivel nacional.

Junto con el reto de combatir la ilegalidad y dar cumplimiento a la normatividad sanitaria vigente, Colombia se enfrenta a otros aspectos como la necesidad de establecer niveles de tecnificación en sus procesos y sistemas de trazabilidad del ganado (solo el 16% del inventario nacional es trazable) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). A su vez, se deben generar estrategias en respuesta a las condiciones climáticas, teniendo en cuenta que esta situación no solo ocasiona la pérdida de animales sino también impacta la productividad y reproductividad del ganado, reflejándose en años posteriores (FEDEGAN, 2019c).

Establecer estrategias para dar solución a estos retos reducirá efectos provocados por los mismos como la baja productividad de la cadena, elevados costos de producción, subutilización operacional de las plantas de beneficio y una rentabilidad del negocio disminuida. Es necesaria la coordinación de entes gubernamentales e intereses políticos de las alcaldías para reforzar el cumplimiento de la normativa, así como la coordinación con los miembros de la cadena para mejorar el desempeño de la misma (Contraloría General de la República, 2018).

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012) se deben reforzar los esfuerzos enfocados en “la articulación, la cooperación y la coordinación entre los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y los organismos de cooperación”, con el fin de establecer e implementar estrategias de política pública y programas específicos que permitan incentivar la producción pecuaria a nivel nacional, trascendiendo en ámbitos sectoriales en términos de financiamiento, inversión, inclusión social y desarrollo sostenible.

La implementación de relaciones y mecanismos de coordinación tanto entre los actores de la cadena de suministro como con otros sectores económicos resulta ser clave para mejorar el desempeño de la cadena de suministro ganadera porque permite que los productores (a mediana y pequeña escala) puedan intensificar su producción para

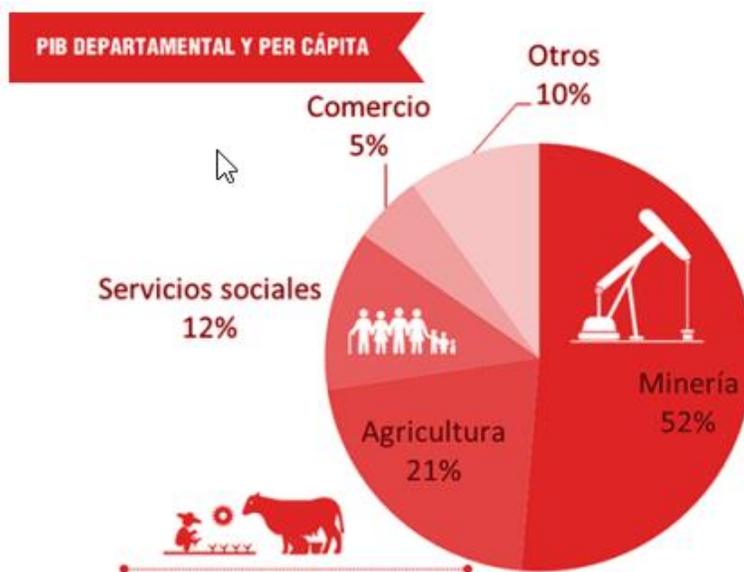
satisfacer la demanda de sus clientes (distribuidores y consumidores), lo que promueve a su vez el crecimiento de la demanda de insumos, servicios, recursos genéticos y piensos, dando paso a un crecimiento competitivo de los sistemas de producción ganadera de forma eficiente y sostenible (CEPAL *et al.*, 2017).

1.3 Identificación del Problema

Debido a su naturaleza y misión, las cadenas de suministro agroalimentarias son un factor clave en la competitividad y desarrollo de cualquier región, y enfrentan retos en temáticas como el aprovechamiento de las capacidades de los agentes involucrados para mejorar el desempeño de la cadena y desarrollar relaciones de coordinación y coordinación, buscando siempre la producción y abastecimiento de productos de mejor calidad e inocuidad, satisfaciendo la demanda alimenticia.

En el caso del departamento de Arauca, aunque su principal actividad económica ha sido la minería, la agricultura y los servicios constituyen en conjunto un 33% del PIB departamental (Ver Figura 5), tomando el segundo lugar. La producción del ganado bovino y la cadena de carne – lácteos hace que el departamento ocupe el puesto décimo a nivel nacional según cifras de 2011, aportando así un 3,8% de la producción nacional, con un inventario estimado de 1.028.500 reses (Ministerio de Trabajo, 2013). A su vez, se presentó un aumento en el consumo del 23,6% con respecto al año anterior (DANE, 2016a), lo que trajo como consecuencia que en 2015, 14.929 reses fueran sacrificadas.

El departamento de Arauca registró en el año 2018 un hato ganadero de 1.209.520 bovinos (773.695 hembras y 435.825 machos) en 10.714 fincas de la región. Aunque este inventario resulta ser considerable con respecto a otros departamentos, el contrabando de carne y bovinos vivos desde la frontera con Venezuela, el incremento de precios y la falta de coordinación en la cadena de suministro impacta la productividad y el desempeño de la misma (DANE, 2019b). De forma particular se resalta que el sacrificio clandestino no constituye únicamente una actividad ilegal sino también un riesgo para la salud pública y para el estatus sanitario de la ganadería, así como un riesgo para la conservación del medio ambiente.

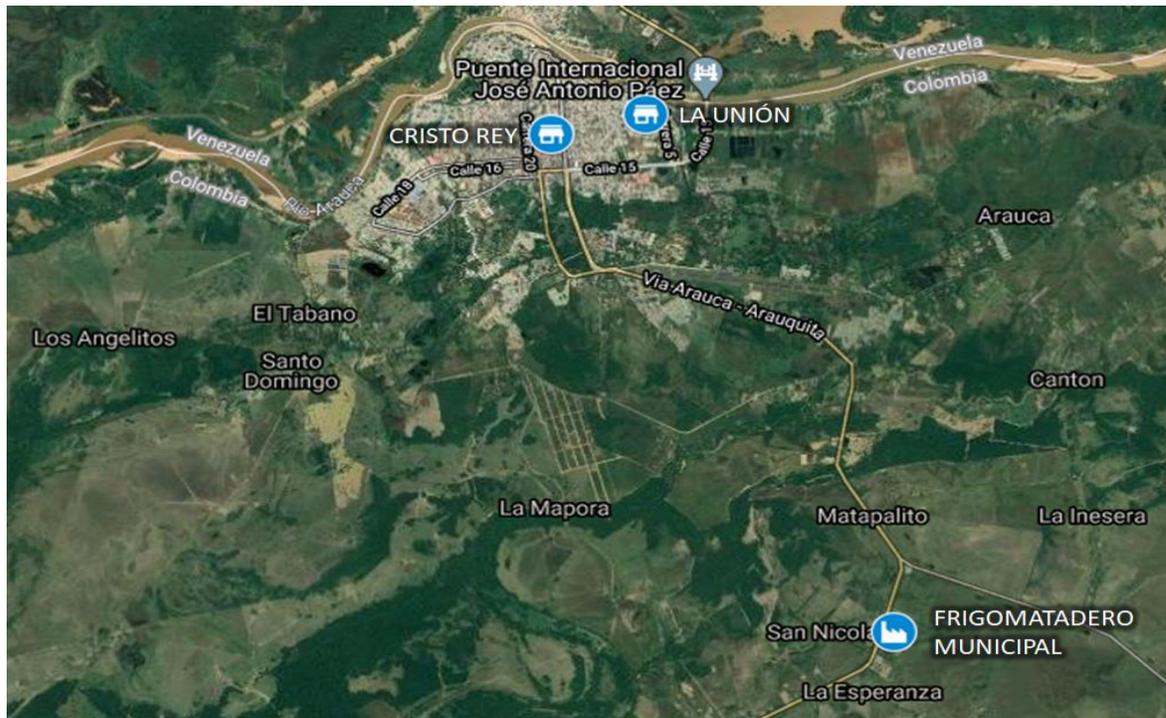
Figura 5. PIB departamental y per cápita – Arauca

Fuente (Gobernación de Arauca, 2016)

La Gobernación de Arauca estableció en su Plan de Desarrollo (Gobernación de Arauca, 2016) apoyar el desarrollo productivo del departamento a través del reto de un incremento del hato ganadero en un 10% hasta el año 2019, así como una mejora en la eficiencia de los sistemas productivos en la ganadería para aumentar la capacidad de carga pecuaria (inventario bovino/hectárea) a través de estrategias como la implementación de mejoras genéticas en el ganado, certificación de predios y planes sanitarios.

Para enfrentar estos retos, el departamento despliega programas enfocados en el desarrollo de capacidades concentradas en el “capital físico de tierras, aguas y en la amplia oferta ambiental con la que cuenta el territorio, lo cual permitiría el desarrollo de diversas actividades que pueden combinar los objetivos de incremento de la productividad y la conservación ambiental” (Gobernación de Arauca, 2016). Teniendo en cuenta que un alto porcentaje de la producción cárnica bovina en el departamento es de consumo interno, se requiere satisfacer la demanda local en las mejores condiciones logísticas y sanitarias.

En lo que se refiere al almacenamiento y distribución de carne y otros productos agroalimentarios en la ciudad de Arauca, actualmente se dispone de tres (3) centros de abastecimiento: un frigo matadero y dos (2) plazas de mercado – Cristo Rey y La Unión (Ver Figura 6). Estos establecimientos presentan retos particulares para cada uno.

Figura 6. Ubicación plaza La Unión, Cristo Rey y frigo matadero municipal – Arauca

Fuente y elaboración: (Google Maps, 2019)

La plaza de mercado Cristo Rey agrupa el comercio de 112 establecimientos de mayoristas y minoristas, y se encuentra ubicado en el centro de la ciudad. Por su ubicación, atiende la demanda de gran parte de la ciudad, lo que conlleva a problemas de saturación de la capacidad de almacenamiento instalada, a un manejo inadecuado de los alimentos y a que otros vendedores (ubicados en el exterior de la plaza) comercialicen productos sin protocolos de sanidad e higiene, de acuerdo con la resolución 604 de 1993 (Ministerio de Salud y Protección Social) y la resolución 2674 de 2013 (Ministerio de Salud y Protección Social). Aunque la Gobernación de Arauca se encuentra realizando el reacondicionamiento de esta plaza para convertirla en una tienda tipo, aún se presentan problemas con la capacidad de almacenamiento en el cuarto frío.

De acuerdo con la información primaria obtenida en esta investigación, esta plaza de mercado también presenta un desaprovechamiento de las capacidades de información y de transporte en el proceso de reabastecimiento, lo que trae como consecuencia excesos de inventario, pérdida de productos, carga desconsolidada y problemas de acceso a la plaza al presentarse aglutinamiento de vehículos transportadores de carga en ciertas horas del día (horas pico de descargue de productos agroalimentarios).

La plaza de mercado La Unión se encuentra ubicada en la periferia de la ciudad de Arauca, lo que la hace de acceso limitado por parte de los ciudadanos tomando en consideración el factor distancia. Teniendo en cuenta que solo está destinada a actividades propias del comercio dentro de la plaza, se presenta un desaprovechamiento de su capacidad de almacenamiento. También se presenta el desaprovechamiento de la capacidad de transporte al no haber consolidación de la carga para realizar el abastecimiento por parte de los expendios, por lo cual no se generan órdenes de compra de forma conjunta. Actualmente se encuentra bajo una remodelación que busca mejorar la red eléctrica, tuberías y otras estructuras, y que requiere de una inversión superior a los 1.035 millones de pesos debido a un deficiente desarrollo estructural y arquitectónico (Gobernación de Arauca, 2016).

El frigo matadero municipal presenta retos asociados al cumplimiento de la normatividad sanitaria vigente, debido a que no cumple con requerimientos claves para garantizar la inocuidad de los productos cárnicos y derivados como la conservación de la cadena de frío al momento de transportar dichos productos. Con respecto a este requisito, aunque esta planta de beneficio cuenta con un vehículo destinado al transporte de carne en canal a su destino final, dicho vehículo presenta una falla en su estructura que impide garantizar la conservación de la temperatura mínima establecida por la norma (4°C).

De acuerdo con la información primaria recopilada en el desarrollo del proyecto “Estrategia para la dinamización de las capacidades instaladas de acopio y comercialización de productos agropecuarios en Arauca, Arauca. Un enfoque desde la gestión de las cadenas de abastecimiento”, presenta un desaprovechamiento en su capacidad de producción como consecuencia de la subutilización del establecimiento por factores como la disminución de la demanda de sacrificio, el alto costo de sacrificio y transporte de ganado y el comercio ilegal.

En términos generales, los datos primarios recopilados en este trabajo evidencian las consecuencias de la descentralización de la cadena de suministro: se presentan altos costos logísticos, intermediación, un inadecuado manejo de la cadena de frío del producto, posibles pérdidas de este o afectaciones a su calidad, desconsolidación de la carga, entre otros.

Teniendo en cuenta que todos estos factores impactan en la competitividad y desempeño del sector cárnico en esta región, este panorama evidencia la necesidad de establecer una

estrategia que permita aprovechar de mejor forma las capacidades anteriormente mencionadas, siendo un elemento necesario para mejorar las condiciones que se ofrecen a los consumidores, así como la reducción de tiempos y costos logísticos.

Gligor & Holcomb (2012) establecen que las capacidades logísticas son factores valiosos para permitir que las empresas respondan a las condiciones comerciales cambiantes de una manera eficiente y efectiva. Múltiples procesos y subprocesos están involucrados en el cumplimiento de la demanda desde el suministro hasta la distribución de productos al cliente, incluyendo capacidades logísticas como la de almacenamiento, crítica en la cadena estudiada. Por lo tanto, es importante identificar cómo las capacidades, y específicamente las capacidades logísticas, pueden utilizarse para reaccionar y responder a las necesidades volátiles y cambiantes del mercado, especialmente a través de relaciones de coordinación entre actores de la cadena de suministro, como lo establecen Breiter *et al.* (2009) en su trabajo de investigación.

A su vez, Ruiz *et al.* (2015) refieren en su documento que la coordinación externa y el desempeño logístico de cadenas agroalimentarias sigue siendo un campo incipiente y con potencial para futuras investigaciones, especialmente en cuanto a estudios que aclaren bajo qué condiciones y contextos de la cadena resultan más eficientes los mecanismos de coordinación.

Con el fin de desarrollar esta investigación se propone la siguiente pregunta: **¿Cómo aprovechar las capacidades logísticas en cadenas de suministro pecuarias a través de la implementación de mecanismos de coordinación para mejorar su desempeño?**

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer un mecanismo de coordinación que permita el aprovechamiento de las capacidades logísticas en la cadena de suministro pecuaria para mejorar su desempeño.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las capacidades logísticas de la cadena de suministro pecuaria, identificando la capacidad que es crítica para su desempeño.
- Analizar las relaciones de los actores involucrados en el aprovechamiento de capacidades logísticas actuales en la cadena de suministro seleccionada a través de un modelo de simulación.
- Identificar un mecanismo de coordinación que permita aprovechar las capacidades logísticas de la cadena de suministro seleccionada, a partir de revisión de literatura e información secundaria.
- Evaluar indicadores de desempeño de la cadena de suministro a través del modelo de simulación, tras la aplicación del mecanismo de coordinación.

2. Metodología de Investigación

Esta investigación se enmarca en un estudio exploratorio desarrollado a partir de una metodología de tipo mixto (cualitativo – cuantitativo) con un enfoque propositivo de acuerdo con la metodología de realización y evaluación de la investigación identificada por Creswell (2009). En el marco de la investigación se presentan dos (2) momentos: un primer momento de tipo cualitativo, en el que se describe la cadena de suministro agropecuaria seleccionada, sus características y problemáticas; y un segundo momento de tipo cuantitativo, en el que se realiza la formulación de un modelo de simulación basado en agentes que permiten evaluar el aprovechamiento de capacidades logísticas a partir de la implementación de un mecanismo de coordinación propuesto con base en la revisión de literatura. Teniendo en cuenta un enfoque de investigación mixto se proponen dos (2) fases: una fase descriptiva y una fase propositiva, como se puede evidenciar en la Figura 7.

Figura 7. Estructura metodológica de investigación



Elaboración propia

La metodología se implementa en la cadena de suministro agropecuaria para carne de res en pie de la ciudad de Arauca ubicada en el departamento que lleva este mismo nombre, donde se desarrolla el proyecto “Estrategia para la dinamización de las capacidades instaladas de acopio y comercialización de productos agropecuarios en Arauca, Arauca. Un enfoque desde la gestión de las cadenas de abastecimiento” y en el cual se circunscribe este trabajo de investigación.

2.1 Fase uno: Investigación descriptiva

Con el propósito de caracterizar la cadena de suministro agropecuaria seleccionada e identificar las capacidades logísticas críticas para su desempeño, se recopiló información sobre las particularidades y características de la cadena de suministro seleccionada. Para esto realizaron encuestas y entrevistas semi estructuradas a actores involucrados en esta cadena.

Con base en la información reunida en esta etapa, se busca identificar aspectos como el entorno en el que se encuentran los actores de la cadena, su comportamiento particular y las relaciones entre los mismos. Se analizan variables de tipo cualitativo y cuantitativo con el fin obtener insumos para la definición de actores, relaciones, procesos, modos y medios, flujos de información, entre otros.

Así mismo, a partir de la recopilación y análisis de la información secundaria se realiza la identificación de las capacidades logísticas que presentan más retos dentro de la operación de la cadena de suministro seleccionada, así como la caracterización de los mecanismos de coordinación presentes (si los hay) y se realiza la selección de los indicadores pertinentes para su evaluación en una etapa posterior.

2.1.1 Diseño e implementación de instrumentos para recolección de información

La primera etapa de la fase descriptiva en esta investigación hace referencia a la definición e identificación de las fuentes de información primaria y secundaria disponible, así como el diseño de los instrumentos requeridos para la recolección de información primaria.

El desarrollo de esta investigación requirió inicialmente la contextualización del problema a partir de una revisión de literatura (información secundaria) compuesta por informes previos asociados con la problemática de la región y otros estudios de contexto a nivel

nacional e internacional, provenientes principalmente de fuentes gubernamentales (Ministerio de Agricultura, Departamento Nacional de Planeación y gobernaciones), así como de agremiaciones como la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI).

A partir de la revisión de información secundaria se identifica la información primaria requerida. Se realiza la construcción de instrumentos (encuestas) para los actores de la cadena de suministro de carne de res: productores, minoristas, mayoristas, transportadores y consumidores, diseñándose en total cinco (5) encuestas (Ver Anexo), haciendo cobertura de los cuatro (4) eslabones principales de la cadena de suministro: producción, distribución, transporte y consumo de carne de res en pie.

Estos instrumentos se aplicaron en la ciudad de Arauca, en conjunto con la observación de la operación al momento de implementar las encuestas. Para la identificación de la muestra se realizó un muestreo por conveniencia debido a la disponibilidad y accesibilidad de los actores involucrados, y teniendo en cuenta las características particulares de la zona de estudio. De esta forma, se aplicaron en total setenta (70) encuestas desagregadas así: se contó con la participación en el estudio de 7 mayoristas, 12 minoristas, 9 transportadores, 11 expendios de carnes ubicados en la plaza de mercado Cristo Rey, y 31 consumidores. Se resalta que los encuestados fueron visitados directamente en sus ubicaciones, y que no fue posible – por motivos logísticos y de seguridad – contar con la participación de productores (ganaderos) en la investigación.

En esta etapa también se realiza la sistematización de la información recopilada a partir de la implementación de los instrumentos utilizando la herramienta ofimática de Microsoft Excel.

2.1.2 Caracterización de cadena de suministro

La segunda etapa de la fase descriptiva en esta investigación hace referencia al análisis de la información primaria recopilada a partir de la implementación de los instrumentos de recolección, así como la búsqueda de información secundaria para complementar la caracterización de la cadena de suministro. A partir de este proceso se realizó la descripción de los actores, relaciones, procesos, modos y medios, flujos de información, entre otros aspectos relevantes de la cadena de suministro de res en la ciudad de Arauca.

La caracterización de la cadena de suministro seleccionada se realizó teniendo en cuenta los tres (3) procesos logísticos principales – abastecimiento, almacenamiento y distribución –, la normatividad vigente aplicable a esta cadena y las problemáticas identificadas a lo largo de la caracterización. En el capítulo 4 se presenta la caracterización correspondiente.

Se destaca que la caracterización incluye los eslabones principales de la cadena de suministro seleccionada (producción, distribución y transporte), incluyendo las actividades y responsabilidades de los actores involucrados en dichos procesos. Esta información se obtiene a partir de la información primaria obtenida en el trabajo de campo (observación y encuestas) e información secundaria existente en la literatura.

2.1.3 Identificación de problemáticas y capacidades logísticas críticas

La tercera etapa de la fase descriptiva en esta investigación hace referencia a la identificación de las problemáticas y capacidades logísticas críticas presentes en la cadena de suministro. A partir del análisis de información primaria y con base en estudios desarrollados a nivel nacional e internacional en el sector, se identifican las capacidades logísticas con mayores retos dentro de la cadena de suministro, sujetas posteriormente a la evaluación en el modelo de simulación propuesto.

2.2 Fase dos: Investigación propositiva

La fase propositiva se divide en tres (3) etapas: Inicialmente se realiza el diseño del modelo de simulación a partir de la caracterización realizada en la fase descriptiva de la investigación, y se realiza la validación de este analizando la correspondencia que tiene el modelo propuesto con la operación de la cadena de suministro. En la segunda etapa se propone un mecanismo de coordinación con base en la literatura y estudios de casos de éxito a nivel nacional e internacional. En la tercera etapa se realiza la implementación del mecanismo de coordinación en el modelo de simulación y se generan las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

2.2.1 Diseño y validación de modelo de simulación basado en agentes

Teniendo en cuenta que la simulación permite visualizar el funcionamiento de un sistema y demostrar claramente la capacidad o incapacidad de este para cumplir los objetivos que se quieren evaluar, este procedimiento se elige para lograr el propósito de esta investigación. Los paradigmas de simulación más comunes utilizados hoy en día incluyen la simulación de eventos discretos (Angulo *et al.*, 2004; Castrellón-Torres *et al.*, 2015; Tako & Robinson, 2012), la dinámica de sistemas (J. Orjuela-Castro & Adarme-Jaimes, 2018; Orjuela Castro *et al.*, 2016, 2017) y la simulación basada en agentes (Vieira & Martinho, 2011; Villarraga *et al.*, 2017; B. Zhao *et al.*, 2019).

Para el propósito de esta investigación, se utiliza la simulación basada en agentes teniendo en cuenta las ventajas de su implementación (Sarmiento-Vásquez & López-Sandoval, 2017):

- La simulación basada en agentes permite estudiar las interacciones que se llevan a cabo entre los agentes del sistema y su entorno.
- El comportamiento de los agentes emerge por la interacción de los mismos, teniendo en cuenta que cada agente presenta un comportamiento individual.
- Las interacciones de los agentes están dadas por reglas simples a partir de las cuales emerge el comportamiento colectivo.
- La estructura del sistema simulado no es fija. Nuevos agentes pueden ser creados y se pueden modificar sus interrelaciones durante el proceso de simulación, lo que puede permitir que los agentes tengan cursos de acción diferentes a los planteados en un escenario inicial.
- Se puede simular a un nivel micro, con agentes heterogéneos e individuales, cada uno con sus objetivos propios.
- La naturaleza de los datos es estocástica.
- El manejo del tiempo puede ser de tipo discreto o continuo.
- “Los estados futuros del sistema dependen del estado actual, así como de otros estados anteriores y decisiones previas”. Los agentes tienen en su memoria interna

datos sobre interacciones previas con otros agentes, y estos pueden influir en sus decisiones futuras.

Un modelo basado en agentes puede entenderse como un “método computacional que permite a un investigador crear, analizar y experimentar con modelos compuestos por agentes que interactúan en un entorno” (Gilbert, 2007). Implementándose en áreas del conocimiento como los estudios sociales, se ha diversificado en otros campos como la construcción de políticas públicas y la ingeniería.

Este tipo de simulación brinda ventajas como (Smajgl & Barreteau, 2014):

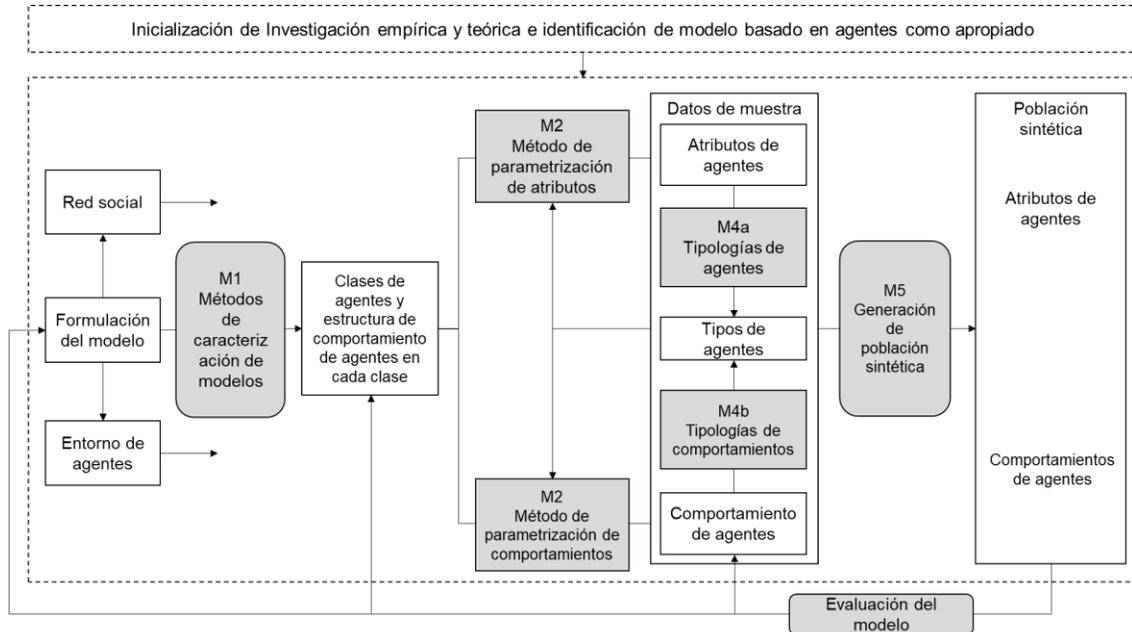
- “Modelar procesos cognitivos, procesos de interacciones sociales y toma de decisiones humanas,
- representar interacciones entre los seres humanos y las tecnologías, la dinámica física y la ecología,
- referenciar espacialmente las interacciones interdisciplinarias,
- combinar fuentes heterogéneas de conocimiento, y
- vincular variables a través de diferentes escalas”.

En esta investigación se toma como referencia un enfoque de caracterización y parametrización (CAP, por sus siglas en inglés) en la construcción del modelo de simulación a partir de la utilización del protocolo ODD, una descripción de tipo formal implementada para la identificación de las entradas y salidas a incluir en el modelo de simulación (Grimm *et al.*, 2010), y la estrategia de parametrización como la relación que debe presentarse entre el modelo y el sistema objetivo “a través de la asignación de valores al conjunto de parámetros para permitir la simulación” (Smajgl & Barreteau, 2014). El esquema de la metodología CAP se muestra en la Figura 8.

Dada esta ventaja, la modelación basada en agentes ha sido ampliamente implementada en situaciones empíricas y aplicaciones industriales y comerciales como control de procesos de manufactura, control de tráfico aéreo y gestión de información (Li, 2006). Muchos investigadores se han inmerso en soluciones para la integración de empresas y algunos han llegado a la conclusión de que la modelación basada en agentes provee un modo natural para realizar la integración entre empresas. Dentro de los casos en los que se ha aplicado esta técnica se encuentra la modelación de una cadena de suministro

utilizando agentes para facilitar la toma de decisiones autónoma en la planeación de la producción y la logística (Pal, 2016).

Figura 8. Metodología CAP



Adaptación de (Smajgl & Barreteau, 2014)

Para la modelación basada en agentes, software como JADE, Java y NetLogo han sido ampliamente utilizados y reconocidos en diversas áreas de la investigación. *NetLogo* utiliza un lenguaje de programación funcional, lo que significa que muchas declaraciones de lenguaje se leen casi como oraciones, y esto permite que incluso usuarios no calificados y no capacitados lo entiendan y aprendan a través de los ejemplos (Chiacchio, *et al.*, 2014).

Este software permite a los usuarios explorar la relación entre los agentes de nivel micro y los comportamientos emergentes a nivel macro que ocurren dentro del modelo, lo que lo hace bastante útil en las áreas de la investigación y la enseñanza (Wilensky & Rand, 2015). Adicionalmente, los modelos de *NetLogo* se pueden compartir sin esfuerzo como applets de Java, y esto significa que dichos modelos se pueden ejecutar en casi todas (si no todas) las plataformas de computadora. También es posible realizar un mejor análisis estadístico de resultados gracias a un complemento que permite la comunicación entre *NetLogo* y R, un software estadístico muy conocido.

Por sus múltiples ventajas, *Netlogo* ha sido utilizado como herramienta de simulación en diversas investigaciones y publicaciones, en áreas como la medicina (Troisi *et al.*, 2005),

las ciencias de la computación (Pan *et al.*, 2007), el desarrollo sostenible (Li, *et al.*, 2017), la gestión de cadenas de suministro (Villarraga, *et al.*, 2017) y las ciencias sociales (Perez *et al.*, 2019). Considerando estas aplicaciones, para el propósito de esta investigación el modelo de simulación basado en agentes se llevará a cabo en este software.

Esta etapa se divide en dos (2) momentos. En el primer momento se realiza la simulación del estado actual de la cadena de suministro seleccionada, con el fin de representar las relaciones actuales entre los actores e identificar la capacidad logística que es crítica para el desempeño de la cadena. En el segundo momento se realiza la validación del modelo para evaluar la correspondencia con el estado real de la operación en la cadena de suministro y se realizan los ajustes correspondientes según aplique.

2.2.2 Propuesta de mecanismo de coordinación

A partir de la revisión de literatura y de estudios de caso a nivel nacional e internacional, se propone un mecanismo de coordinación cuya implementación contribuya con la mejora de las capacidades logísticas críticas presentes dentro de la cadena de suministro. Se describen las condiciones que deben darse para implementar exitosamente dicho mecanismo de coordinación y qué beneficios se pueden obtener al implementarlo.

2.2.3 Implementación de mecanismo de coordinación en modelo

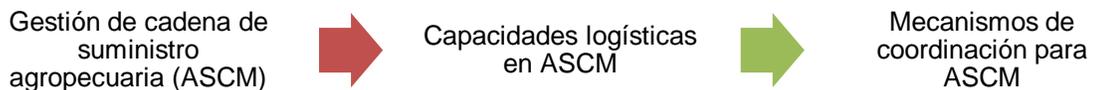
En esta etapa se realiza la implementación del mecanismo de coordinación seleccionado en el modelo de simulación diseñado y validado en una etapa previa. A partir de esta implementación se busca responder a la pregunta de investigación, presentando los resultados obtenidos y entregando las conclusiones a las que haya lugar.

3.Estado del Arte

Con el fin de evidenciar los avances y aportes realizados por la comunidad científica sobre el aprovechamiento de capacidades logísticas en cadenas de suministro y los beneficios que surgen a partir de la implementación de mecanismos de coordinación en las mismas, a continuación se presenta el estado del arte de esta investigación. Las palabras claves utilizadas para realizar la revisión de literatura fueron: *coordination mechanisms, logistics capabilities, firm performance, agri food supply chain, Supply Chain Management (SCM)*.

Dentro del alcance de la revisión de literatura, se parte de los conceptos contenidos en el enfoque de gestión de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés), especialmente para las cadenas de suministro agropecuarias, identificando las capacidades logísticas presentes en dichas cadenas y los mecanismos de coordinación que pueden implementarse para mejorar el desempeño de dichas capacidades

Figura 9. Estructura de alcance para revisión de literatura



Fuente y elaboración propia

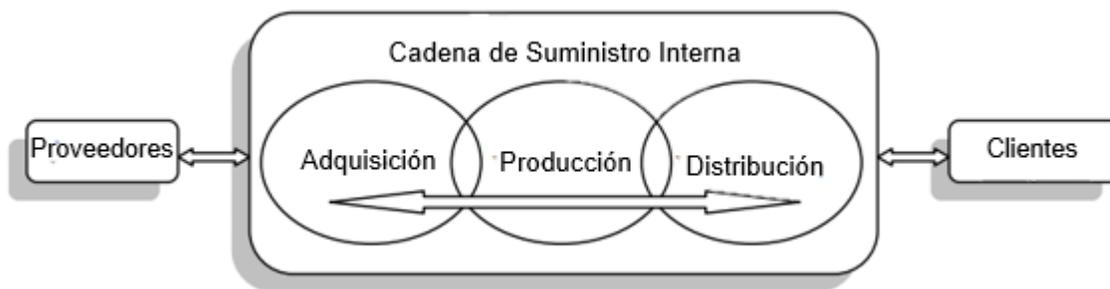
3.1 Gestión de Cadena de Suministro (SCM)

La competitividad de una cadena de suministro depende del desempeño de cada uno de los miembros involucrados en la misma (Stadtler, 2009). Por esta razón, surge la necesidad de establecer e implementar estrategias que permitan reforzar, administrar y mejorar las relaciones e interacciones presentes en la cadena, lo que se alcanza con la gestión de la cadena de suministro. Larson y Rogers (1998) definen este concepto como la gestión de procesos y flujos de materiales, información y productos, desde los proveedores originales

hasta el consumidor final, agregando valor para los clientes y minimizando los costos logísticos asociados.

Una cadena de suministro está conformada por todas las organizaciones (fabricantes, proveedores, transportistas, almacenes, minoristas y consumidores), sus flujos de información y otras funciones involucradas de forma directa o indirecta en el cumplimiento de un requerimiento o solicitud del cliente (Chopra & Meindl, 2001). Chen y Paulraj (2004) establecen en la Figura 10 los elementos principales de una cadena de suministro. Las relaciones presentes entre los miembros de una cadena permiten la ejecución secuencial de procesos que le agregan valor a los bienes y servicios generados en la misma, y para garantizar la efectividad de toda la cadena, es necesario lograr una buena gestión de dichas relaciones y procesos. A esta administración se le conoce como Gestión de la Cadena de Suministro (SCM, por sus siglas en inglés).

Figura 10. Estructura de cadena de suministro



Fuente y adaptación: (I. J. Chen & Paulraj, 2004)

El concepto de gestión de cadena de suministro fue propuesto por primera vez en los años 80 por Oliver y Webber (1982) y cobró gran importancia cuando las empresas descubrieron que ya no podían competir efectivamente estando aisladas de sus proveedores u otras entidades en la cadena de suministro, y vieron los beneficios de las relaciones de coordinación dentro y más allá de sus propias organizaciones.

De acuerdo con el Consejo de Profesionales de Gestión de la Cadena de Suministro (2019) es la gestión de todos los activos y flujos de la cadena de suministro (financieros, materiales y de información), teniendo como objetivo principal la maximización del valor global generado al cliente. Incluye el diseño y la gestión de todas las actividades relacionadas con el abastecimiento, compra, transformación, todas las acciones de gestión de la logística, y también incluye la coordinación y asociación con otros miembros de la

cadena (proveedores, distribuidores, proveedores de servicios externos y clientes) (Lambert, 2006).

Al implementarse la gestión de la cadena de suministro se busca coordinar la gestión de la oferta y la demanda dentro y a través de la empresa, implementando actividades de planificación, ejecución y control del flujo eficiente aguas abajo y aguas arriba, del almacenamiento de bienes, de los servicios y la información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo para cumplir con los requisitos del cliente. Este concepto está vinculado usualmente con la globalización de la producción y la inclinación de los fabricantes a obtener grandes ingresos, lo que requiere la gestión de formas rentables para regular los flujos de entradas o salidas (Delgado & Castelo, 2013).

Es importante resaltar que en la literatura se relacionan los fundamentos de la gestión de cadena de suministro con el concepto de logística, y muchos autores incluso consideran que son sinónimos. Sin embargo, mientras la logística es la función de gestión responsable de todo movimiento de materiales dentro de los límites de una sola organización, la gestión de cadena de suministro amplía la visión del movimiento a través de todas las organizaciones relacionadas que forman la cadena de suministro. De esta forma, la gestión de la cadena de suministro reconoce toda la logística en su concepto tradicional y también incluye actividades como marketing, desarrollo de nuevos productos, finanzas y servicio al cliente.

En el caso de las cadenas agroalimentarias, el concepto de gestión de cadena de suministro hace referencia a la gestión de las relaciones emergentes durante la adquisición de materias primas agrícolas, el curso de producción de productos agrícolas y el proceso de comercialización, almacenamiento y distribución de estos (Ganeshkumar *et al.*, 2017), y agrupa un conjunto de actividades de valor que resultan en la transformación de los productos agrícolas desde su etapa inicial hasta la fase de consumo. Esta gestión incluye la participación de los actores dentro de la cadena de suministro: agricultores y consumidores, proveedores de materias primas, procesadores y recursos humanos dedicados a actividades de transporte y almacenamiento, etc. (Luo *et al.*, 2018). Esta definición se toma como referencia para el desarrollo de la investigación.

3.1.1 Niveles de integración de la cadena de suministro

Las cadenas de suministro y su gestión pueden clasificarse de acuerdo con su nivel de centralización de decisión en dos (2) categorías: centralizada y descentralizada. La elección del nivel de centralización para la gestión de la cadena es un factor crítico porque afecta el desempeño de la misma (Giannoccaro, 2018).

Una cadena de suministro centralizada corresponde a aquella en la que la toma de decisiones sobre los procesos que se llevan a cabo en la misma es realizada por una organización de la cadena, teniendo un alto nivel de centralización (Siggelkow & Levinthal, 2003). Para garantizar el éxito de este tipo de cadena es esencial la veracidad de la información que se comparte a lo largo de la cadena de suministro, así como la capacidad de todos los miembros para entregarla oportunamente. Esto permite que las decisiones que tome la organización encargada sean confiables y eficaces (Haehling Von Lanzener & Pitz-Glombik, 2002), y representa un gran desafío para la cadena en general, especialmente por la dificultad que se presenta cuando los miembros de la cadena no están dispuestos a compartir información o esta no se encuentra disponible.

Las cadenas de suministro que poseen un alto nivel de centralización presentan beneficios en procesos como el control de inventarios, mejorando la eficiencia de la cadena y reduciendo el efecto látigo (Cifuentes *et al.*, 2012). También han mostrado ser de mucha utilidad en situaciones donde se requiere dar solución a problemas de gestión compleja y en ambientes de incertidumbre en las que el agente encargado de tomar la decisión propone alternativas e intenta mejorar el rendimiento general de la cadena de suministro (Giannoccaro, 2018).

En contraste, una cadena de suministro descentralizada o con un bajo nivel de integración es aquella en la que cada miembro de la cadena toma decisiones de forma independiente, buscando mejorar su desempeño individual (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004). Esto trae como consecuencia la optimización local del desempeño de cada organización, dejando a un lado el desempeño de toda la cadena, y puede traer como resultado la presencia de intermediarios, un aumento de los costos logísticos involucrados, inventarios inestables, tiempos de respuesta mayores y un nivel de satisfacción menor por parte del cliente.

A nivel de control de inventarios, en una cadena de suministro descentralizada el proveedor y el minorista administran de manera independiente su propio inventario y son libres de desarrollar alternativas que crean que son beneficiosas para su subsistema. Al no

presentarse un intercambio de información previo a la toma de decisiones, suelen presentarse novedades como el efecto látigo – un fenómeno donde la variabilidad de la orden aumenta a medida que las órdenes se mueven aguas arriba en la cadena de suministro –, generando problemas como niveles de inventario inestables, pérdidas de producto y dinero, demoras en tiempos de entregas e incumplimiento de acuerdos pactados entre los miembros de la cadena (Jung *et al.*, 2008).

La centralización, aunque parece ser la opción ideal para las cadenas de suministro, presenta retos en cuanto al nivel de confianza que hay en las relaciones presentes entre los miembros de la cadena y la calidad y celeridad de la información que pueden brindar (Duan & Warren Liao, 2013). La integración permitiría alcanzar un mayor rendimiento de la cadena de suministro porque resolvería todas las interdependencias existentes entre las actividades de la cadena de suministro mediante un enfoque integrado. Sin embargo, esta alternativa podría presentar dificultades dependiendo de la capacidad de resolución de problemas de los tomadores de decisiones (Giannoccaro, 2018). Dado que la centralización requiere que se tenga en cuenta un gran conjunto de decisiones, representa una tarea desafiante para la capacidad de resolución de problemas del tomador de decisiones. En consecuencia, el tomador de decisiones podría volverse ineficaz y un nivel más bajo de centralización podría ofrecer un mejor desempeño.

La gestión de la cadena de suministro se ha estudiado ampliamente en cadenas de suministro donde la toma de decisiones se realiza de forma centralizada, como es el caso de las cadenas de suministro con integración de tipo vertical. Para el caso de las cadenas de suministro descentralizadas, las decisiones organizacionales se toman de forma individual, lo que puede impactar en el desempeño de toda la cadena. Teniendo en cuenta que se busca satisfacer el objetivo de la cadena de suministro a nivel global y no de forma local, surge la necesidad de aplicar mecanismos de coordinación (Ruiz *et al.*, 2015).

3.2 Cadena de suministro agropecuaria

La alimentación es un requisito esencial para el ser humano, indispensable para supervivencia. Por ello, es clave establecer estrategias para garantizar un abastecimiento de alimentos eficiente. Una cadena de suministro agropecuaria (ASC, por sus siglas en inglés) es una red de organizaciones que trabajan conjuntamente en diversos procesos y

actividades a lo largo de la cadena para llevar productos y servicios al mercado y de esta forma satisfacer las necesidades y demandas del cliente (Christopher, 2005).

A diferencia de otras cadenas de suministro, esta centra sus esfuerzos en brindar productos que cumplan con criterios como la seguridad alimentaria y la calidad del producto. Estos factores, en conjunto con la demanda de alimentos, su precio variable y la vida útil de los mismos, hacen que esta cadena sea más compleja de gestionar que otras (Ahumada & Villalobos, 2009). Esta situación cobra aún más importancia debido al cambio del paradigma de la gestión empresarial en que las empresas individuales ya no compiten como entidades autónomas, sino como cadenas de suministro.

En la industria agropecuaria, la cadena de suministro abarca todos los procesos y actividades de los agricultores y proveedores que proporcionan materia prima, los fabricantes de alimentos que procesan los productos alimenticios para aumentar el valor agregado, y los distribuidores y minoristas que distribuyen el producto a los clientes a través de procesos comerciales sistemáticos (Agustin *et al.*, 2016). En esta cadena es esencial reforzar la gestión de las relaciones entre el suministro de materia prima para la producción agrícola, el procesamiento de la producción y la logística y distribución del producto, con el fin de establecer estrategias que permitan la integración de procesos y actores a lo largo de la cadena de suministro, mejorando su desempeño (Luo *et al.*, 2018).

Tsolakis *et al.* (2014) analizan las cadenas de suministro agropecuarias desde un enfoque más integral bajo el concepto “granja a tenedor”, en la cual la cadena se compone de un conjunto de actividades o niveles operativos secuenciales que incluye la agricultura (es decir, el cultivo de la tierra y la producción de cultivos), procesamiento o producción, pruebas, empaque, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización. Estos niveles operativos están respaldados por servicios logísticos, financieros y técnicos, utilizando cinco (5) tipos de flujo: flujos de material físico y de producto, flujos financieros, flujos de información, flujos de procesos y flujos de energía y recursos naturales. Estas actividades, servicios y flujos se integran en un grupo dinámico de actores de producción, suministro y consumo dentro de la cadena: instituciones de investigación, industrias, productores/agricultores, cooperativas agrícolas, fabricantes/procesadores, transportistas, comerciantes (exportadores/importadores), mayoristas, minoristas y consumidores.

Las cadenas de suministro agropecuarias presentan un conjunto de características que las distinguen de otras redes de suministro clásicas, aumentando la necesidad de aplicar

estrategias particulares. Hagelaar y Van der Vorst (2001) resaltan la naturaleza única de los productos, ya que estos bienes tienen un ciclo de vida corto; la estacionalidad en las operaciones de producción, ya que las condiciones de abundancia o escasez de lluvias impacta en el crecimiento de pastos y la población animal; la variabilidad de calidad y cantidad en insumos agrícolas y rendimientos de procesamiento; los requisitos específicos con respecto al transporte y las condiciones de almacenamiento, calidad y reciclaje de materiales; la necesidad de cumplir con la legislación, las regulaciones y directivas nacionales/internacionales relacionadas con la seguridad alimentaria y la salud pública, así como con cuestiones ambientales (por ejemplo, huellas de carbono y agua); y la necesidad de atributos especializados como la trazabilidad de ganados. Estas características generan una mayor complejidad de las operaciones y presenta la existencia de importantes limitaciones de capacidad.

En el caso colombiano, se han desarrollado estudios sobre cadenas de suministro agroalimentarias en temáticas como el impacto de la estructura de la cadena (lean, ágil, flexible, sensible y resiliente) en el desempeño de la misma (Orjuela Castro *et al.*, 2017); el estudio de indicadores de desempeño para cadenas de abastecimiento que se desarrollan en ambientes de incertidumbre (Arango Serna *et al.*, 2010); fortalezas, debilidades y retos observados desde la óptica de cadenas de abastecimiento (Sarache-Castro & Hernández Pérez, 2012); y la revisión de los mecanismos de integración externa más utilizados para cadenas de suministro agroindustriales en la literatura actual, así como la evaluación del desempeño en este tipo de cadenas al aplicar dichos mecanismos de integración (Ruiz *et al.*, 2015).

3.3 Desempeño de cadena de suministro

La medición del desempeño de una cadena de suministro es importante porque brinda la información necesaria para que los tomadores de decisiones tanto dentro (productores, distribuidores, comerciantes) como fuera (gobierno, inversionistas) de la cadena puedan tomar decisiones que impactarán su comportamiento y desempeño, ya sea en sus operaciones, desarrollo de política, inversiones, etc.

Aunque se ha identificado el potencial de gestionar las cadenas de suministro tanto en la teoría como en la práctica, es evidente que a menudo las organizaciones carecen del conocimiento para el desarrollo de medidas de desempeño efectivas y métricas necesarias

para lograr una cadena de suministro totalmente integrada. Adicionalmente, tales medidas y métricas son necesarias para probar y evaluar la viabilidad de estrategias sin las cuales una dirección clara para la mejora y la realización de los objetivos sería muy difícil.

El desempeño de una cadena de suministro cuantifica la eficiencia y efectividad de los procesos que se llevan a cabo dentro de la misma, con base en los objetivos y resultados de la cadena. Evalúa la capacidad de la cadena de suministro para entregar el producto correcto, en la ubicación correcta, en el momento apropiado, al menor costo de logística (Agami *et al.*, 2012).

La selección de un sistema de medición de desempeño adecuado es importante porque ayuda a identificar áreas problemáticas en una cadena de suministro, y les permite a las compañías observar el progreso en la implementación de la estrategia, identificar áreas que necesitan mejoras, y compararse con competidores y líderes. Aramyan *et al.* (2006) establecen que no hay un consenso sobre cómo se debe realizar la medición del desempeño, tanto en las organizaciones como en la cadena de suministro a la que pertenecen, por lo cual se pueden encontrar en la literatura diversos enfoques. En la Tabla 3 se encuentran las dimensiones y/o categorías de medición del desempeño más comunes.

Tabla 3. Categorías de medición de desempeño en cadenas de suministro

CATEGORÍA	FUENTE
Tiempo, costo, flexibilidad y calidad	Handfield <i>et al.</i> (2002)
Financiero, servicio al cliente, procesos internos, aprendizaje y crecimiento	Hervani <i>et al.</i> (2005)
Recursos, salidas y flexibilidad	Angerhofer y Angelides (2006)
Eficiencia, flexibilidad, respuesta y calidad de alimentos	Aramyan <i>et al.</i> (2006)
Niveles de decisión estratégico, táctico y operacional	Gunasekaran <i>et al.</i> (2007)
Operacional y económico	Azevedo <i>et al.</i> (2011)
Recursos, salidas, flexibilidad, innovación e información	Cao y Zhang (2011)
Financiero, competitividad, calidad del servicio, flexibilidad, utilización de recursos e innovación	Luo <i>et al.</i> (2015)
Tiempo, costo, flexibilidad, calidad e innovación	Grekova <i>et al.</i> (2016)
Operativo y financiero	Bagher (2018)
Ambiental, social y económico	Jawaas & Zafar (2020)

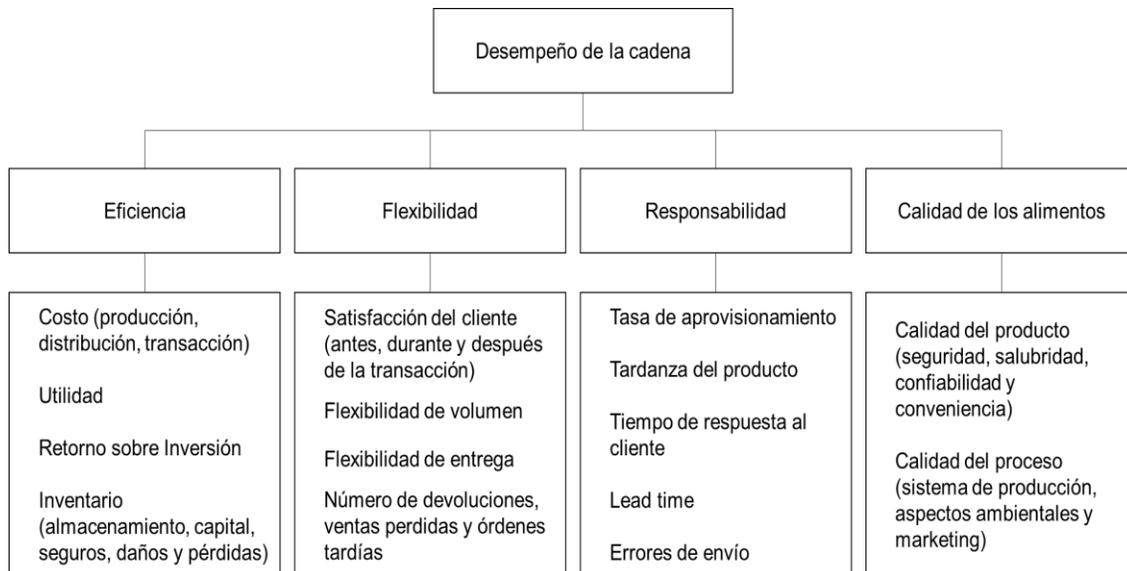
Elaboración propia

Para el propósito de esta investigación se seleccionaron las cuatro (4) categorías desarrolladas por Aramyan *et al.* (2006) – eficiencia, flexibilidad, responsabilidad, calidad de alimentos –, teniendo en cuenta que su investigación desarrolla un esquema conceptual sobre la implementación de indicadores de desempeño en cadenas de suministro agroindustriales similares a la de este documento (Ver Figura 11).

La medición de la categoría eficiencia busca garantizar que el producto correcto se haya entregado en la cantidad correcta, en el tiempo y lugar correctos, con la correcta documentación al cliente correcto, incurriendo en los menores costos logísticos posibles. La categoría flexibilidad busca medir la capacidad de la cadena de suministro para responder a los cambios de la demanda del mercado con el fin de ganar o mantener su ventaja competitiva. La categoría responsabilidad busca medir la velocidad a la cual una cadena de suministro provee los productos a sus clientes. La categoría calidad de los alimentos busca garantizar que los productos mantengan las mejores condiciones posibles para sus clientes.

Para el propósito de esta investigación y teniendo en cuenta que se realiza una simulación basada en agentes, se tomarán en cuenta indicadores de desempeño correspondientes a las categorías de Eficiencia y Flexibilidad: costo, inventario y número de ventas perdidas o no realizadas.

Figura 11. Indicadores de desempeño en una cadena de suministro



Fuente: (Aramyan *et al.*, 2006). Elaboración propia

3.4 Capacidades logísticas

Morash *et al.* (1996) definen las capacidades logísticas como los “atributos, procesos organizacionales, habilidades y conocimiento que le permiten a una organización lograr una ventaja competitiva sostenida sobre sus competidores y un desempeño superior”. Las capacidades logísticas son críticas para el éxito de la organización cuanto más global es la competencia en una industria, y contribuyen a la competitividad y desarrollo de una organización a través de la creación de valores de tipo económico (liderazgo / eficiencia de costos) y valores basados en el mercado (diferenciación / efectividad) (David Marius Gligor & Holcomb, 2014).

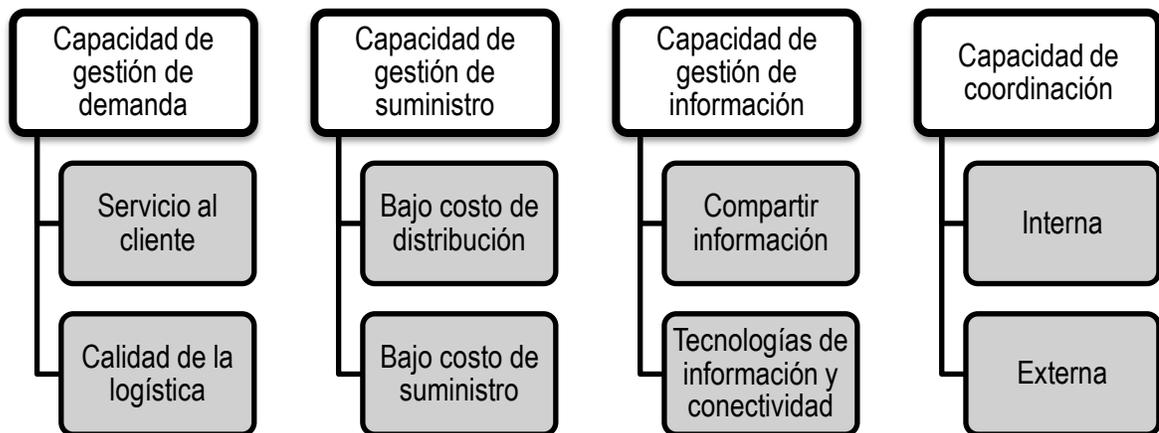
Brusset & Teller (2017) exponen un modelo conceptual que propone una relación entre las capacidades logísticas y la capacidad de resiliencia de una cadena de suministro, así como el papel moderador de los riesgos de la cadena. De esta forma, establecen que en una situación de riesgo, los actores involucrados en la cadena de suministro pueden estrechar sus relaciones y fortalecer sus capacidades logísticas para fortalecer la cadena y adquirir un mayor desempeño. Este concepto es soportado por el trabajo de Zhao *et al.* (2017), quienes concluyen a partir de su revisión de literatura que las cadenas de suministro agroalimentarias son altamente vulnerables a diversos riesgos debido a las características únicas de los productos que manejan, y que uno de los factores de resiliencia claves para el fortalecimiento de las capacidades logísticas es el desarrollo de relaciones de coordinación entre actores de la cadena de suministro. Este argumento evidencia la necesidad de estudiar la eficacia de la implementación de coordinación en cadenas de suministro agroalimentarias, por lo cual se selecciona este documento como uno de los soportes para esta investigación.

A lo largo de la literatura se han presentado diversas clasificaciones de capacidades logísticas. La primera clasificación mundialmente conocida se presentó en 1995 por el Equipo de Investigación de Logística Global de la Universidad Estatal de Michigan. A través de investigación exploratoria se identificaron diecisiete (17) capacidades logísticas, agrupadas en cuatro (4) competencias principales: posicionamiento, integración, agilidad y medición (Michigan State University. Global Logistics Research Team, 1995).

Morash *et al.* (1996) realiza una clasificación posterior de capacidades logísticas en cuatro (4) categorías, tomando como referencia diferentes teorías económicas de las

organizaciones como el modelo neoclásico, la teoría basada en recursos y en conocimiento, y el modelo del valor del mercado:

Figura 12. Clasificación de capacidades logísticas



Elaboración propia. Fuente (Morash *et al.*, 1996)

Esta clasificación fue complementada posteriormente por Shang y Marlow (2005), desde la teoría de la organización basada en recursos, destacando tres (3) capacidades: capacidad basada en tecnologías de la información, capacidad de flexibilidad y capacidad de benchmarking. Estas capacidades son analizadas desde el punto de vista enfocado al cliente. Contrastando con su investigación, Cho *et al.* (2008) identifican once (11) capacidades logísticas que incluyen el servicio al cliente, la cobertura de distribución de productos y el costo de dicha distribución.

En contraste con esta última clasificación, Lu & Yang (2010) identificaron tres (3) capacidades logísticas principales: innovación, respuesta al consumidor y operaciones flexibles. Las primeras dos son consideradas por estos autores como las más importantes para alcanzar el desempeño más alto en la organización, especialmente la capacidad de respuesta al consumidor. Esta disertación se complementa con lo establecido por Lai *et al.* (2010) y Sandberg & Abrahamsson (2011), quienes indican que la capacidad de gestión de información también impacta en el desempeño de las organizaciones. Por su parte, Yang (2012) menciona cuatro (4) capacidades logísticas: innovación, servicios logísticos confiables, flexibilidad y gestión de información. De acuerdo con los resultados obtenidos en su investigación, estas capacidades tienen efectos positivos en el desempeño de las organizaciones.

Finalmente, Große-Brockhoff *et al.* (2011) resaltan cuatro (4) capacidades logísticas de tipo operacional que deben analizarse teniendo en cuenta todos los procesos e interacciones que se presentan a lo largo de la cadena de suministro: capacidad de almacenamiento, de transporte, de manejo (operación interna) y de información. De acuerdo con Xu & Wang (2012), estas capacidades deben analizarse a lo largo de la cadena de suministro ya que un aprovechamiento de las capacidades logísticas de los involucrados no solo representa beneficios individuales sino una mejora en el desempeño general del costo logístico total y el servicio al cliente desde la obtención de materias primas hasta la entrega del producto final, a través de la integración de los recursos logísticos de las empresas de la cadena de suministro, como proveedores, fabricantes, distribuidores y minoristas.

La capacidad de almacenamiento hace referencia a la capacidad que tiene una organización para almacenar unidades de producto (cajas, pallets, etc.) (Große-Brockhoff *et al.*, 2011). Esta capacidad resulta ser un factor clave para el desempeño de una organización, teniendo en cuenta que se debe garantizar la disponibilidad de productos e insumos para satisfacer las necesidades de los clientes, lo que involucra una correcta distribución espacial y una utilización eficiente del almacén.

Orjuela-Castro *et al.* (2017) proponen un modelo de gestión para las capacidades de transporte y almacenamiento en la cadena de abastecimiento de mango en Cundinamarca, con el fin de evaluar la expansión de la capacidad de almacenamiento propia en comparación con la contratación de un 3PL en dos (2) escenarios: con y sin cadena de frío, a través del estudio del desempeño logístico, la calidad, costos y capacidad de respuesta de la cadena de suministro.

Autores como Shepelev *et al.* (2018) establecen que esta capacidad no se relaciona únicamente con el área física de almacenamiento sino también con las actividades y requerimientos involucrados en el proceso. Por esta razón, los indicadores de desempeño que evalúan esta capacidad comprenden los procesos de recepción, reaprovisionamiento, picking, envío y entrega. Staudt *et al.* (2014) clasifican los indicadores de desempeño para la capacidad de almacenamiento en cuatro (4) categorías: tiempo, calidad, costo y productividad. La gestión de estos indicadores conlleva a mejoras en tiempos de respuesta, disponibilidad de materiales e insumos, y reducción en tiempos y costos logísticos.

La capacidad de operación interna (*handling*, en inglés) hace referencia a la capacidad que tiene una organización para ejercer gestión o control sobre sus operaciones internas y externas, incluye la medición del desempeño general de la operación en la organización para un período definido, e involucra la clasificación, colocación y extracción del stock, así como la carga y descarga del producto (Große-Brockhoff *et al.*, 2011).

Zeebroeck *et al.* (2007) mencionan en su investigación que esta capacidad debe incluir la gestión de algunos procesos con otros miembros de la cadena para mejorar su desempeño, debido a que las decisiones que toma una organización pueden impactar a otras firmas involucradas en el proceso como consecuencia de las relaciones e interacciones entre dichas empresas y sus capacidades. Al ser una capacidad crítica para una organización, se deriva de recursos, rutinas, habilidades y conocimientos, y es un activo a nivel organizacional que puede tener un impacto en su competitividad y el rendimiento (Kähkönen *et al.*, 2018).

La capacidad de transporte comprende la aplicación de recursos, conocimiento e infraestructura para garantizar una minimización de los costos logísticos y maximizar el valor agregado para el cliente. El objetivo de esta capacidad es el de entregar los productos en el mejor estado en el momento requerido dentro de la cadena de suministro, a través de actividades de estandarización e implementación de buenas prácticas y regulación de soporte (Ari Kuncoro *et al.*, 2016).

Huang & Huang (2012) establecen seis (6) componentes principales para el fortalecimiento de esta capacidad: reducción de tiempo y aumento en la frecuencia de entrega; confiabilidad de las entregas; estandarización de procesos, prácticas y políticas; flexibilidad en el intercambio de información con los clientes a través de alianzas estratégicas; sistemas de información de soporte que permitan alinear la planeación del transporte con las actividades de la cadena de suministro; y personalización (ofertas y elementos únicos para el cliente).

La capacidad de información hace referencia al intercambio y gestión de la información a nivel interno y externo de la organización. Involucra la aplicación de redes, software y hardware para la distribución, almacenamiento y análisis de datos de la organización (Song *et al.*, 2016). Incluye la capacidad de recopilar, procesar, analizar y almacenar datos relevantes para el control y monitoreo del flujo de materiales e información en la organización.

Considerada por Zhao *et al.* (2001) como una capacidad clave para mejorar el desempeño de la organización y como una buena práctica, combina las tecnologías de información con las actividades de intercambio y análisis de información para satisfacer las necesidades del mercado. Los esfuerzos empleados en esta capacidad también pueden promover mejoras en la capacidad de almacenamiento y transporte, de acuerdo con lo establecido por Myrin (2018).

Haider y Siddiqui (2018) resaltan en su investigación que aunque las capacidades logísticas constituyen la ventaja competitiva de una organización para impulsar la satisfacción del cliente y mejorar el desempeño de la organización y de la cadena de suministro, suele ser el área más débil y por ende aquella que necesita un alto grado de mejora, con el fin de garantizar la disponibilidad de productos, responder rápidamente y entregar a tiempo con el menor costo logístico posible.

A partir de la revisión de literatura se evidencia que, aunque se reconoce la importancia de integrar las capacidades logísticas a lo largo de la cadena de suministro, como en el trabajo de Rosenzweig *et al.* (2003) donde exponen las formas en las que la integración de la cadena de suministro conduce a mejoras en las capacidades logísticas y por ende a un mayor rendimiento en la organización, existe poca investigación empírica sobre la mejora de dichas capacidades mediante la implementación de mecanismos de coordinación.

Esta brecha es relevante porque las organizaciones ya no compiten como entidades independientes, sino que se presenta un nuevo fenómeno: las cadenas de suministro compiten contra las cadenas de suministro (Gligor & Holcomb, 2014). Esto implica que para obtener una ventaja competitiva, las empresas deben desarrollar capacidades logísticas integradas entre los miembros de la cadena de suministro, y no solo deben desarrollar capacidades logísticas superiores a nivel de empresa, sino que también deben poder integrar sus capacidades logísticas con las de los miembros de su cadena de suministro. Por ejemplo, para una empresa que podría invertir recursos en el desarrollo de un sistema de seguimiento de carga entrante y saliente, dicho sistema sería beneficioso para la empresa en la medida en que se pueda integrar el sistema con los de los miembros de la cadena de suministro de la empresa. Ser capaz de integrar esta capacidad a nivel de empresa con las de otros miembros de la cadena de suministro proporcionaría una mayor visibilidad de seguimiento para la empresa focal (David M. Gligor & Holcomb, 2012).

Para el propósito de esta disertación, esta investigación busca examinar cómo se puede aprovechar la capacidad logística de almacenamiento, de acuerdo con la clasificación establecida por Große-Brockhoff *et al.* (2011) en la cadena de suministro a través de la implementación de mecanismos de coordinación para mejorar su desempeño. Esta capacidad se selecciona tomando como referencia los hallazgos identificados en la descripción de la cadena de suministro de carne bovina en pie en Arauca, Arauca; considerándola como crítica a partir de la revisión primaria y secundaria de información, y teniendo en cuenta que la ventaja competitiva de una compañía está basada en sus capacidades operacionales (Sandberg & Abrahamsson, 2011).

3.5 Coordinación en cadenas de suministro

Desde el punto de vista relacional de una organización (RV, por sus siglas en inglés), la fuente de la ventaja competitiva de una compañía puede extenderse más allá de los límites de la firma, dependiendo de las relaciones que ésta tiene con otras organizaciones (David Marius Gligor & Holcomb, 2014). En el caso de una cadena de suministro agroalimentaria no solo los agentes involucrados son diferentes entre sí, sino que usualmente no trabajan de forma coordinada debido a que tienen objetivos que pueden entrar en conflicto con los de otros actores (Utomo *et al.*, 2018), pudiendo incurrir en una toma de decisiones sesgada y limitada e impactando el desempeño de toda la cadena.

De esta forma, la integración y coordinación de capacidades logísticas en las organizaciones pertenecientes a la cadena de suministro no solo puede mejorar el desempeño operacional y relacional de las organizaciones, sino que también tiene el potencial de disminuir los costos a nivel de la cadena, mejorar las relaciones con los consumidores y entregar un mayor valor al cliente.

En la actualidad, una cadena de suministro en la que haya coordinación entre sus miembros no solo es una técnica que busca una reducción de costos, sino también es una estrategia competitiva que ha resultado ser esencial para alcanzar un mejor servicio al consumidor, optimizar la utilización de recursos, y en casos de un alto grado de coordinación, generar ganancias, una base para la expansión de mercados y la innovación de nuevos productos. En cadenas de suministro modernas como la cárnica, se necesita desarrollar una estrategia de coordinación sólida y relaciones a largo plazo entre sus socios, con el fin de articular relaciones de integración y coordinación que permitan

asegurar la eficiencia de la cadena y el desarrollo de buenas prácticas en los procesos ejecutados a diario (Fischer & Hartman, 2010).

Autores como Simatupang *et al.* (2004) describen la coordinación de una cadena de suministro como un conjunto de entidades independientes que interactúan conjuntamente para “brindar las salidas requeridas, compartiendo recursos y capacidades para satisfacer las necesidades de sus clientes”. Esta estrategia puede ser alcanzada al adoptar técnicas de coordinación como la Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo (CPFR, por sus siglas en inglés), la cual permite alcanzar una disminución del costo, un aumento de la utilidad, una mayor visibilidad y una respuesta al consumidor más rápida. De acuerdo con Hudnurkar & Rathod (2012), el manejo coordinado de información desde la planeación de la producción hasta la entrega del producto se prefiere por encima de la visión individual de cada agente.

La coordinación es una estrategia que amplía el enfoque de los miembros de la cadena desde un interés individual hacia la mejora general de la cadena como objetivo común, e incluye la gestión conjunta del flujo de bienes, información y fondos para mejorar el desempeño de la cadena de suministro y las relaciones a través de los miembros de la misma (Hudnurkar & Rathod, 2012). La implementación de esta estrategia trae beneficios a la cadena de suministro, especialmente en la reducción de costos logísticos y un mayor manejo del flujo de información presente en la cadena.

Li (2006) establece en su investigación que la integración ideal de una cadena de suministro se puede alcanzar a través de un grupo de agentes de coordinación. Estos agentes están diseñados con experiencia específica, conocimiento y mecanismos de coordinación para coordinar actividades entre agentes. Éstos son clasificados en agentes de coordinación de: distribución, manufactura, transporte y suministro (ver Figura 13).

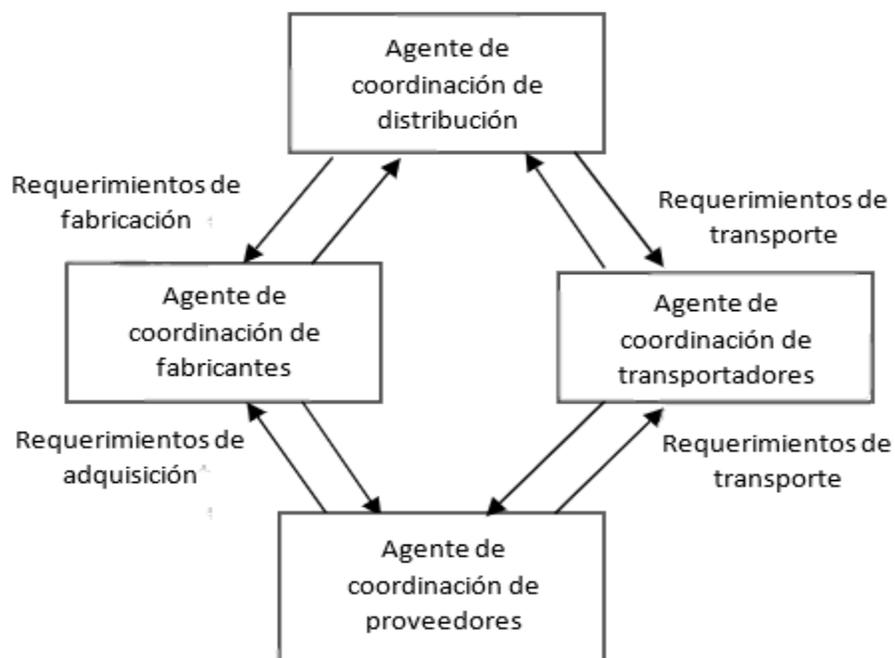
Las relaciones cooperativas crecen y alcanzan diferentes niveles de madurez teniendo en cuenta la extensión e intensidad de la conexión y la consonancia. Hudnurkar & Rathod (2012) relacionan cuatro (4) niveles de madurez:

- El nivel inicial consiste en la coordinación de los miembros de la cadena para reducir las restricciones físicas que limitan el intercambio de información y la comunicación causado por la criticidad del proceso de toma de decisiones. En general, en este nivel

se utilizan las tecnologías de información para alcanzar una comunicación suavizada y un intercambio de información entre los miembros.

- El segundo nivel se enfoca en tratar con las restricciones físicas y de política (reglas de negocios) a través de un sistema de tecnología de punta establecido para una toma de decisiones mejor y más rápida (p.e. cuando el inventario alcanza el límite acordado una alerta de correo es enviada a todos los miembros de la cadena involucrados, como los 3PL).
- En el tercer nivel los miembros que cooperan toman decisiones para alcanzar objetivos en común y el desarrollo de toda la cadena. Sus iniciativas se enfocan en la planeación estratégica y la innovación para la ventaja competitiva (p.e. promociones).
- El cuarto nivel está definido como la etapa de coordinación, en la cual las organizaciones comienzan a compartir ganancias, conocimiento y riesgos.

Figura 13. Tipos de agentes de coordinación



Fuente (Li, 2006). Adaptación propia

De acuerdo con el nivel de madurez de la relación de cooperación presente en la cadena de suministro, se pueden adoptar diferentes mecanismos de coordinación.

Para el caso agroalimentario, Craven *et al.* (2016) estudiaron la implementación del mecanismo de coordinación de seguimiento estandarizado de inventario en cuatro (4)

centros de alimentos en Iowa, e identificaron que la aplicación de este mecanismo permite alcanzar un desempeño eficaz y eficiente de la cadena a través del fortalecimiento de las capacidades de los actores involucrados en la cadena de abastecimiento.

Por su parte, Carbone (2017) analiza cómo el funcionamiento y el desempeño de las cadenas alimentarias se ven afectados por la forma en que las partes interesadas están coordinadas en la cadena a través de diversos mecanismos de coordinación y por el tipo de gobernanza existente en la cadena de suministro, concluyendo que es clave seleccionar un mecanismo de coordinación en función de las actividades a gestionar y las características de los actores involucrados en un proceso de coordinación, para asegurarse que dicho mecanismo sea el más adecuado para mejorar su rendimiento.

En contraste con lo anterior, Zhou *et al.* (2019) analizaron si era posible lograr la coordinación de canales y el intercambio de información simultáneamente en las cadenas de suministro agroalimentario fresco con una demanda incierta, de forma tal que mediante el mecanismo de contratos se pudiese impulsar al minorista a compartir información sobre la demanda y mejorar el desempeño de la cadena de suministro. En este caso, se evaluaron los casos en cadenas de suministro de tipo descentralizada y centralizada y evidenciaron los beneficios de implementar mecanismos de coordinación para fortalecer las relaciones entre los actores involucrados en las cadenas.

La brecha de investigación es identificada en dos (2) artículos de investigación: Breiter *et al.* (2009) establecen que la literatura carece de estudios relacionados con el desarrollo de relaciones de coordinación entre actores de la cadena de suministro para la gestión y mejora de capacidades logísticas.

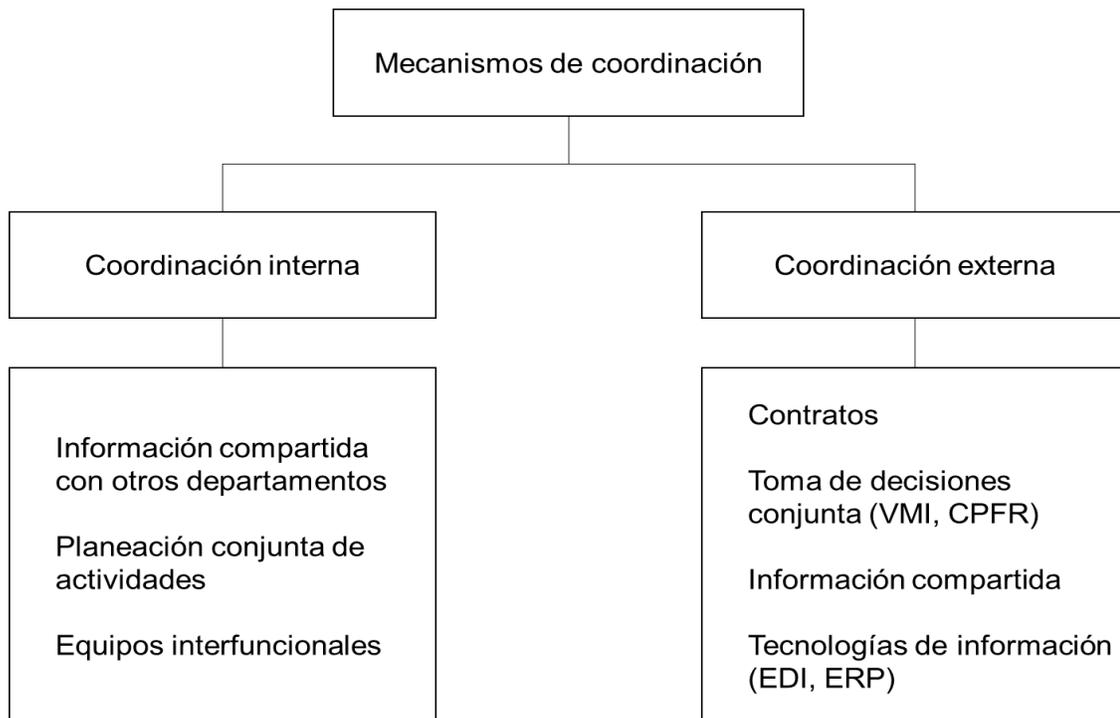
A su vez, Ruiz *et al.* (2015) refieren en sus trabajos futuros que la coordinación externa y el desempeño logístico de cadenas agroalimentarias sigue siendo un campo nuevo y con potencial para futuras investigaciones, especialmente en cuanto a estudios que especifiquen bajo qué condiciones y contextos resultan ser más eficientes estos mecanismos, así como al desarrollo de mecanismos de toma de decisiones conjunta “que se adapten a estas características inherentes de la CS agroindustrial y garanticen un mayor desempeño para los actores y la CS en general”.

3.5.1 Mecanismos de coordinación

Los mecanismos de coordinación pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de integración que se realiza dentro de la cadena de suministro en dos (2) categorías: Integración externa e interna (Ruiz *et al.*, 2015). La integración externa hace referencia a la capacidad que tiene un actor para relacionarse con otros miembros de la cadena (agricultores, cooperativas agrícolas, empresas transportadoras, comerciantes minoristas y mayoristas y clientes) con el fin de satisfacer los requerimientos del cliente. Involucra alianzas estratégicas en las que se busca desarrollar relaciones de confianza entre los miembros de la cadena y trabajar por un objetivo común.

La integración interna hace referencia a la capacidad que tienen la organización para integrar las diferentes áreas funcionales que la componen, para satisfacer los requerimientos de sus clientes. A través de estrategias como el intercambio de información entre los departamentos de la organización y la planeación conjunta de las operaciones, es posible alcanzar un alto desempeño a nivel local. En la Figura 14 se presenta la clasificación de mecanismos de coordinación de acuerdo con los tipos de integración en una cadena de suministro sugeridos por Ruiz *et al.* (2015).

Figura 14. Mecanismos de coordinación según tipos de integración



Fuente: (Ruiz *et al.*, 2015). Elaboración propia

Gestión de contratos

Los contratos constituyen el mecanismo más simple para la coordinación de actores dentro de una cadena de suministro. Establece los parámetros que deben cumplirse para satisfacer los requerimientos del cliente (tiempo, calidad, precio, etc.), y busca una mejor gestión de la relación entre los proveedores y compradores, así como un mejor manejo de los riesgos presentados en la operación (Arshinder *et al.*, 2011b).

Otros parámetros posiblemente especificados en un contrato de coordinación para una cadena de suministro incluyen la alineación de incentivos, teniendo en cuenta que cada decisión que toman los actores involucrados tiene sus propias implicaciones. De esta forma, las recompensas o sanciones otorgadas a miembros particulares de acuerdo con los resultados de su decisión se expresan como incentivos (Handayati *et al.*, 2015), y mediante este mecanismo se busca resolver el conflicto de intereses presente entre los actores de una cadena al ofrecer esquemas de incentivos que pueden dirigir su comportamiento para que se ajuste al enfoque de los clientes y al beneficio total de la misma.

Dentro de los diversos tipos de contratos se resaltan los contratos de recompra y los contratos de descuentos en precios, ventas y cantidades (Osorio, 2016). Los contratos de recompra o las políticas de devoluciones se han utilizado ampliamente en los contratos de coordinación aplicados en la industria textil y de la moda. En los contratos de recompra, un fabricante ofrece al minorista crédito total para una devolución parcial de bienes, y un crédito parcial para todos los bienes no vendidos (Arshinder *et al.*, 2011a). En caso de competencia minorista, el fabricante se beneficiará de la política de devoluciones cuando los costos de producción sean lo suficientemente bajos y la incertidumbre de la demanda no sea demasiado grande.

En un contrato de reparto de ingresos (en inglés, share revenue), el comprador comparte algunos de sus ingresos con el vendedor, a cambio de un descuento en el precio total de venta; de esta forma, el proveedor cobra al comprador un precio mayorista bajo y comparte una fracción de los ingresos generados por el comprador (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004). Este es el caso del estudio de Van Der Rhee *et al.* (2010), en el que se implementaron simultáneamente contratos de reparto de ingresos entre todos los miembros de la cadena de suministro adyacentes (en un escenario de múltiples niveles) para coordinar la cadena de suministro.

En el contexto argentino, la cadena de suministro cárnica vacuna estableció iniciativas complementarias para reactivar el sector ganadero e implementar diferentes sistemas de capacitación, a través de la gestión de contratos integrales de compra, implementación de tecnología informática a sus proveedores y descuentos en precios (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca - Argentina, 2014).

En las cadenas de suministro agrícolas, los acuerdos contractuales pueden ayudar a los productores y compradores en sus decisiones de asignación de recursos debido a la previsibilidad introducida en la producción, siendo el mecanismo de coordinación más utilizado. Un ejemplo de esto se encuentra en el trabajo de Burer *et al.* (2008), quienes implementan algunos tipos de contrato – como contratos de incentivos y de recompra – en una cadena de suministro de semillas, obteniendo beneficios en reducción de inventarios y maximización de ganancias a partir de la implementación mixta de diversos tipos de contrato como herramienta de coordinación.

Por su parte, Warsanga (2014) sugiere en su trabajo la aplicación del mecanismo de contratos de precio en la cadena de suministro de banano en Tanzania, y concluyó que esta coordinación permite fortalecer la estructura de la cadena de valor agroalimentaria y conlleva a un aumento del acceso de los pequeños agricultores a los recursos, esperando éstos disfruten de más beneficios de la agricultura por contrato porque necesitan insumos (por ejemplo, fertilizantes) a crédito, para apoyar la mejora de la calidad de los productores de banano con escasos recursos.

Yan *et al.* (2017) implementa tecnologías de logística 4.0 (internet de las cosas – IoT) para alcanzar una mayor trazabilidad de alimentos frescos en una cadena de suministro agroalimentaria, aplicando especialmente un contrato de revenue sharing que permite beneficiar los actores de la cadena de suministro al disminuir los costos asociados al control de frescura de los productos en el camino.

La revisión de literatura sobre la coordinación de la cadena de suministro agroalimentaria sugiere que los mecanismos de contrato público en la cadena son las formas más eficientes de estabilizar los precios; sin embargo, los contratos requieren la existencia de instituciones para garantizar su desempeño (Carbone, 2017). Por lo tanto, la acción pública y las restricciones legales o regulatorias pueden afectar la estructura de los contratos hacia una forma más eficiente de relaciones contractuales.

Inventario Gestionado por el Proveedor – VMI

Los conceptos de VMI y CRP están basados en el monitoreo de los inventarios por parte de los proveedores, en aras de mitigar el efecto látigo que se presenta por fallas de comunicación entre los miembros de una cadena de abastecimiento.

El VMI es un mecanismo de coordinación entre dos socios de la cadena de suministro – un fabricante y su minorista o distribuidor –, donde el fabricante tiene acceso al inventario en tiempo real desde la ubicación de su minorista y tiene la responsabilidad de decidir sobre la cantidad y frecuencia de reposición para garantizar que su producto estará disponible en el momento adecuado en su tienda minorista (Belalia & Ghaiti, 2016).

En este mecanismo de coordinación, el vendedor generalmente incurre en un costo de penalización por artículos que exceden los límites acordados en un acuerdo contractual establecido entre el vendedor y los minoristas. Es un mecanismo de integración que mejora la eficiencia de la cadena a nivel de proveedores, compradores y clientes (Ruiz *et al.*, 2015), y puede disminuir el efecto látigo, mejorando así su eficiencia y logrando la reducción de los niveles de inventario y el tiempo del ciclo (Yao & Dresner, 2008).

Al implementar el VMI, el proveedor es el responsable de mantener los niveles de inventario y generar órdenes de compra cuando llega el momento de reabastecerse. Se resalta que este mecanismo requiere de acceso a la información que se intercambie entre los actores de la cadena y de un software que permita el acceso en tiempo real a datos como costos y pronósticos de demanda. Puede ser particularmente beneficioso en los productos con alta variación de demanda y altos costos de subcontratación (Arshinder *et al.*, 2011a).

De acuerdo con Chakraborty *et al.* (2015) este mecanismo de coordinación se ha estudiado para escenarios de un único comprador y distribuidor y para escenarios de múltiples compradores y un único distribuidor, y los beneficios de su adopción incluyen una flexibilidad de enrutamiento de inventario para el proveedor y la capacidad de consolidar envíos dentro de la cadena de suministro. Adicionalmente, le permite al proveedor estabilizar su producción y optimizar los costos de transporte, así como reduce los costos de administración e inventario para el distribuidor (Claassen *et al.*, 2008).

Mohtadi (2008) evalúa la importancia de compartir información por parte de los actores de la cadena de suministro agroalimentaria a través de la implementación de mecanismos de

coordinación como el VMI, y resaltan que las empresas minoristas con mayor número de proveedores están más inclinadas a compartir en lugar de retener información, lo cual es clave al momento de aplicar este tipo de mecanismos.

Para el caso de cadenas agroalimentarias, Arango Serna *et al.* (2010) sugieren la implementación del mecanismo VMI adaptado del modelo creado por Yao & Dresner (2008) para una cadena de suministro panificadora. Como resultado, identificaron que la aplicación de este tipo de coordinación genera ahorros en los costos totales a lo largo de la cadena, así como mayores cantidades de envío llevados a cabo del proveedor al comprador.

Por su parte, Reina Usuga *et al.* (2012) presentaron las ventajas de la implementación de este mecanismo de coordinación en el Programa Mercados Campesinos en la región central del territorio colombiano, con el fin de eliminar las cadenas de intermediarios entre agricultores y consumidores finales, basados en la premisa de la defensa de la economía campesina y la búsqueda de seguridad y soberanía alimentaria. De esta forma, lograr la coordinación en la cadena le permitiría al programa ser sostenible en el tiempo al articular la economía rural con los consumidores finales y construir relaciones beneficiosas a largo plazo.

Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP

El Programa de Reabastecimiento Continuo (CRP, por sus siglas en inglés) es una forma de hacer frente a la incertidumbre de la demanda porque coordina a los actores de la cadena de suministro para trabajar con pronósticos comunes (Raghunathan & Yeh, 2001). Mientras en el VMI el fabricante genera pronósticos utilizando los datos de demanda compartidos por el distribuidor, en el CRP el distribuidor es responsable de proporcionar pronósticos de demanda al fabricante (Parsa *et al.*, 2017).

El mecanismo de CRP surgió como un sistema basado en EDI que apoya los objetivos del Reabastecimiento Eficiente: maximizar la disponibilidad del producto con un mínimo de inventario y gestionarlo a lo largo de la cadena de suministro, promoviendo el intercambio de información asociado a los niveles de inventario (Kopanaki & Smithson, 2003). El uso de este mecanismo proporciona a los fabricantes información mucho más oportuna y detallada sobre movimientos de productos y desabastecimientos que los procesos de pedido tradicionales.

En la forma más común de CRP, el almacén central del minorista envía un informe de inventario al proveedor, que incluye información como la disponibilidad de existencias, los pedidos de la tienda y los productos en tránsito. Al procesar esta información en función de las predicciones de flujo del producto, el sistema del lado del proveedor emite un pedido sugerido y lo envía de vuelta al minorista. El objetivo es garantizar que el almacén del minorista pueda satisfacer la demanda prevista, manteniendo los niveles de inventario lo más bajo posible.

King & Phumpiu (1996) resaltan tres (3) estrategias para fomentar el desarrollo y la adopción de prácticas eficientes de reabastecimiento continuo en una cadena agroalimentaria: a) estandarización de la información que se comparte entre los miembros de la cadena, ya que esto no solo hace que sea más fácil para las empresas intercambiar datos, sino que también proporciona estándares para los requisitos del sistema de información que facilitan a los desarrolladores de sistemas la creación de plataformas para la industria; b) el uso de mercados para productos y servicios "desagregados" con el fin de crear fuertes incentivos financieros para que las empresas internalicen las externalidades positivas y negativas que imponen a sus socios comerciales; y c) la transferencia de autoridad de decisión a un socio comercial que está en una mejor posición para internalizar las externalidades, siendo este el factor motivador para la implementación de estrategias de CRP.

Clark & Lee (2000) concluyen en su estudio que la aplicación del CRP aumentó drásticamente el volumen total de información transmitida entre los minoristas y los fabricantes relacionada con: los datos asociados a los envíos al almacén central por parte de cada tienda minorista, los niveles de inventario del almacén, los pedidos en tránsito (aún no recibidos) y la escasez de productos. De esta forma, la necesidad de mejorar la calidad de los datos para evitar errores graves en la implementación del CRP también ha aumentado la importancia de la tecnología de comunicación electrónica de alta calidad.

Por su parte, Grean & Shaw (2005) describen el desarrollo de la asociación de canales entre un fabricante (Procter and Gamble, o P&G) y un minorista (Wal-Mart) a través del mecanismo de CRP, encontrando una manera de aprovechar la tecnología de la información compartiendo datos a través de sus cadenas de suministro mutuas. Como resultado, el canal resultante se ha vuelto más eficiente porque las actividades llevadas a

cabo están mejor coordinadas, disminuyendo las necesidades de inventarios y aumentando la satisfacción del cliente.

De acuerdo con Li (2006), los mayores retos de este mecanismo descrito, bajo condiciones de mercado dinámicas son: a) exceso de inventario debido a incrementos anticipados en ventas por promociones o fecha de expiración del producto cercana; b) escasez de inventario debido a políticas de minimización de inventario para reducir costos; y c) el costo de mantenimiento de inventario. Este mecanismo de coordinación es reactivo porque depende de los niveles físicos de inventario. Adicionalmente, Li menciona que hay estudios en la literatura que han establecido reducciones en inventario del 30 a 40% en casos de la industria en los que los proveedores monitorean los niveles de inventario.

Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo - CPFR

Con el fin de satisfacer la demanda cambiante de los consumidores de forma efectiva y alcanzar altos márgenes de ganancias, es necesario conectar la demanda de los consumidores con el reabastecimiento de inventario. La Planeación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo (CPFR, por sus siglas en inglés), es considerada la última etapa en la coordinación de la cadena de suministro, ya que establece relaciones más estrechas entre el minorista y el proveedor a través de la gestión conjunta de actividades promocionales, la sincronización de pronósticos y los procesos de reabastecimiento (Bailey & Francis, 2008).

Este mecanismo está basado en el pronóstico conjunto de demanda y la planeación promocional. Es un proceso que acerca a los miembros de la cadena y ayuda a reducir la incertidumbre del abastecimiento y/o la demanda a través de una mejora en la comunicación, coordinación y el intercambio de información. Centra su atención en el concepto de un pronóstico preciso basado en ventas, órdenes y demanda para atender al consumidor final de la mejor manera, por lo cual mejora el desempeño colectivo a través de la planeación de la demanda cooperativa, la programación sincronizada de la producción, la planeación logística y el desarrollo de nuevos productos (Li, 2006).

La estrategia de CPFR incluye la planeación del inventario teniendo en cuenta las últimas ventas, las órdenes a la mano y la demanda pronosticada. Los pronósticos son utilizados tanto para el reabastecimiento del inventario como para la generación de promociones, por lo cual es adecuada para cadenas de uno o varios proveedores. La coordinación utilizando

esta estrategia busca corregir, ajustar, proponer precios y cantidades con el fin de alcanzar un acuerdo entre los actores involucrados. Este intercambio dinámico de información con cortos tiempos de respuesta usualmente se encuentra soportado desde sistemas sofisticados de tecnología, permitiendo un intercambio de información continuo, eficiente y efectivo entre los miembros de la cadena.

Algunos de los beneficios del CPFR son el aumento de las ventas y niveles de servicio al cliente, reducción de inventarios, tiempos de ciclo y respuesta más rápidos, reducción en los requisitos de capacidad y puntos de almacenamiento, mayor precisión de pronóstico y reducción en gastos del sistema (Arshinder *et al.*, 2011b).

El intercambio de información en las cadenas de abastecimiento agroalimentarias resulta ser un mecanismo de coordinación muy importante ya que permite que los miembros no solo compartan datos sobre la demanda y el inventario, sino también datos relevantes sobre condiciones climáticas y de pastura. En conjunto con la implementación de tecnologías de la información (RFID, sensores térmicos y otros instrumentos de recolección de información), el intercambio de datos en la actualidad se puede realizar de forma rápida y económica, lo que puede contribuir con la generación de ventajas competitivas a lo largo de toda la red de suministro.

Eksoz *et al.* (2014) sugirieron la implementación de CPFR para cadenas de suministro alimentarias, con el fin de examinar cómo los fabricantes y minoristas realizaban pronósticos colaborativos precisos a largo plazo para productos estacionales, perecederos, promocionales y de lanzamiento reciente. Concluyeron que la aplicación de este mecanismo trae beneficios en términos de reducción de niveles de inventario y aumento de niveles de respuesta y satisfacción del cliente. Adicionalmente, evidenciaron que la coordinación de los socios es un requisito clave para el pronóstico colaborativo, así como el tipo y la calidad de la información compartida.

En Colombia se han desarrollado investigaciones relacionadas con la implementación de mecanismos de coordinación en cadenas de suministro en temáticas como el sector panificador (Cárdenas Barbosa, 2013), las cadenas de suministro agrícolas (Castrellón Torres, 2014) y la logística humanitaria (Osorio, 2016). Estos trabajos se han desarrollado centrando su atención en cadenas de suministro de integración baja o toma de decisiones descentralizada.

3.5.2 Coordinación en cadenas de suministro descentralizadas

En una cadena de suministro descentralizada, cada actor toma decisiones para satisfacer su propio objetivo sin tener en cuenta el objetivo de la cadena. Esto genera efectos como el de doble margen y el efecto látigo, causando ineficiencias, alza en costos logísticos y precios del producto al final de la cadena, entre otros. La coordinación en la cadena surge a partir de la necesidad de eliminar estos efectos, mejorando la cantidad de producción, estabilizando precios y aumentando el beneficio total esperado de la cadena de suministro (Zhuo & Ji, 2019).

La coordinación de tipo vertical hace referencia a los acuerdos comerciales ascendentes y descendentes, teniendo en cuenta que los productos se mueven a través de la cadena de suministro desde los productores hasta los consumidores finales. Los mecanismos de coordinación en una cadena descentralizada están sujetos a mecanismos de gobernanza como en el caso de los contratos, en los cuales se debe cumplir con reglas como: garantizar que el beneficio que obtienen los actores involucrados no sea inferior al que obtenían antes de aplicar la coordinación, compartir los ingresos cooperativos obtenidos; y establecer incentivos que promuevan el mecanismo sin desviarse de la solución óptima del sistema (mejorar el desempeño de la cadena de suministro) (H. Wang *et al.*, 2004).

Hong *et al.* (2018) resaltan en su trabajo que las capacidades logísticas permiten que las organizaciones obtengan y/o refuercen su ventaja competitiva, teniendo un efecto positivo en el desempeño de la cadena de suministro a la que pertenece. El desarrollo de estas capacidades se complementa con la capacidad de coordinación a lo largo de toda la cadena (Mentzer *et al.*, 2001), teniendo en cuenta que los miembros de la cadena de suministro pueden alinear rápidamente sus capacidades individuales y colectivas para responder a los cambios en el mercado y la demanda de los clientes (Gligor & Holcomb, 2012). La identificación de recursos y capacidades complementarias y coordinadas se considera una fuente de ventaja competitiva y puede ayudar a los miembros de la cadena de suministro a integrar mejor sus capacidades logísticas. El uso de recursos complementarios entre los miembros de la cadena de suministro ha sido reconocido como una fuente de diferenciación y ventaja competitiva (Mentzer *et al.*, 2008).

Dyer y Hatch (2006) realizan una comparación de la cadena de suministro de empresas descentralizadas en el sector automotriz estadounidense con la de Toyota, y concluyeron

que el mecanismo de coordinación de intercambio de información implementado en una cadena de suministro puede mejorar su eficiencia.

Krishnan *et al.* (2004) estudian por su parte la coordinación de la cadena de suministro a través de contratos de recompra y/o devolución para mejorar la capacidad de almacenamiento, la cual se logra únicamente si se establece una mezcla de acuerdos de devoluciones con costos compartidos y acuerdos promocionales. A su vez, Lee & Kumara (2007) aplicaron el mecanismo de coordinación de subastas en una cadena de suministro descentralizada para el dimensionamiento dinámico de lotes en las redes de distribución, como un esfuerzo para motivar el intercambio de información entre los actores de la cadena, e identificaron beneficios en términos de minimización de costos y efecto látigo.

Por su parte, Chen & Bell (2011) exploraron políticas extendidas de recompra entre el minorista y el fabricante cuando hay devoluciones de clientes para evaluar el impacto de la coordinación en una cadena de suministro descentralizada, evidenciando que un acuerdo de recompra puede facilitar la coordinación y mejorar la rentabilidad tanto para el fabricante como para el minorista.

En el contexto de las cadenas de suministro agroalimentario, las relaciones presentes entre los actores heterogéneos que la componen (productores, distribuidores, procesadores y consumidores) generan dinámicas de alta complejidad, teniendo en cuenta que estos actores no suelen formar negocios linealmente integrados dentro de la cadena de suministro debido a que tienen un alto grado de autonomía con objetivos que pueden entrar en conflicto con los de los otros actores.

En consecuencia, autores como Ahumada y Villalobos (2009) resaltan que estas cadenas son complejas y difíciles de manejar. Estas complejidades en la cadena han sido de interés en el campo de la Investigación de operaciones, presentando modelos matemáticos aplicados en la planeación de producción y distribución en estas cadenas y otros modelos de optimización. Reina Usuga *et al.* (2012) recomendaron coordinar una cadena de suministro panificadora de la región central en el país en función de la información compartida y los mecanismos para cada agente, a través del mecanismo VMI para la relación agricultor – comprador y los contratos para los proveedores de servicios de transporte. Se resalta que esta cadena de suministro responde a un sistema de distribución descentralizado y una demanda estocástica.

En años recientes, estudios como los de Higgins *et al.* (2010) y Plà *et al.* (2014) han implementado modelos basados en agentes en cadenas agroalimentarias, resaltando ventajas importantes como el manejo de relaciones y comportamientos dinámicos presentes en su operación. En el estudio de Wang & Chen (2013) se estudiaron las decisiones de gestión a través de contratos de cantidades en una cadena de suministro descentralizada de dos etapas, en la que un proveedor de productos frescos vende a un minorista considerando la pérdida de circulación de los productos frescos.

Finalmente, Ghasemi *et al.* (2017) proponen el mecanismo de coordinación de intercambio de información para manejar los problemas relacionados con la producción y distribución en una cadena de suministro maderera descentralizada, y evidenciaron mejoras en términos de aumento de ganancias y minimización de inventarios.

3.6 Simulación basada en agentes

En un ambiente dinámico y altamente competitivo, las empresas están buscando constantemente un balance entre la satisfacción del cliente y la generación de ganancias. El éxito de las empresas depende fuertemente del sistema de control de la cadena de suministro de la que es parte. Considerando que la mayoría de las cadenas de suministro incluye empresas de dominio independiente (requiriendo la capacidad de modelar la asimetría de información y modos de control distribuidos/descentralizados), la aplicabilidad de enfoques de modelación tradicional es limitada e irreal.

Por esta razón, hay una necesidad real de medios de simulación eficientes para probar y analizar diferentes alternativas de diseño de control de la cadena de suministro (Hmida *et al.*, 2012), y de acuerdo con Vieira y Martinho (2011), un modelo holístico como el basado en agentes es requerido en contextos como este para explorar diferentes mecanismos de coordinación.

La simulación se ha utilizado ampliamente en varios campos para permitir a los desarrolladores y usuarios representar un sistema y examinar sus operaciones utilizando diferentes escenarios y condiciones posibles, permitiéndoles determinar las condiciones óptimas de operación y también proporciona a los usuarios herramientas que les permiten explorar varias posibilidades cambiando los procedimientos o las condiciones sin alterar realmente el sistema operativo real (AbuKhoua *et al.*, 2014).

En una cadena de suministro tradicional, la planeación y ejecución de actividades y procesos es usualmente considerada de forma individual en cada agente de la cadena de suministro. Sin embargo, dichas decisiones frecuentemente influyen a otros miembros de la cadena y este enfoque integrado debe ser considerado. Al modelar las redes presentes a lo largo de la cadena de suministro, diferentes problemas de la cadena como la planeación de la producción, coordinación, distribución de órdenes, entre otros, pueden ser integrados y resueltos simultáneamente para que la solución sea beneficiosa para todas las entidades a largo plazo. En un intento por progresar en esta área, investigadores utilizan varios métodos para modelar la dinámica de las cadenas de suministro utilizando técnicas como la dinámica de sistemas (J. Orjuela-Castro & Adarme-Jaimes, 2018; Orjuela Castro *et al.*, 2016, 2017), eventos discretos (Angulo *et al.*, 2004; Castellón-Torres *et al.*, 2015; Tako & Robinson, 2012) y la modelación basada en agentes (Vieira & Martinho, 2011; Villarraga *et al.*, 2017; B. Zhao *et al.*, 2019).

Comparado con un enfoque de modelación matemático, la simulación basada en agentes de las cadenas de suministro tiene ventajas como: modelación basada en reglas lógicas (estados y transiciones), captura la dinámica del sistema simulado, se pueden utilizar enfoques centralizados o descentralizados, provee una representación realista de la cadena de suministro, y permite una estrategia de optimización eficiente a desarrollar entre los agentes (Pal, 2016). Adicionalmente, la modelación basada en agentes cubre una amplia variedad de indicadores, los cuales en muchas situaciones, pueden ser alcanzados únicamente utilizando este tipo de modelación, en particular, en situaciones donde el comportamiento humano es identificado como un elemento crítico (Smajgl & Barreteau, 2014).

Otras ventajas que resaltar son el paralelismo, la robustez y la escalabilidad. Son ampliamente utilizados en dominios y problemas donde los enfoques centralizados presentan límites y son usados para tratar enfoques en los cuales se requiere la integración e interacción de múltiples fuentes de conocimiento, la resolución de conflictos de intereses y objetivos o el procesamiento de datos limitados por tiempo (Pal, 2016). Para la simulación de modelos basados en agentes, herramientas de software como Anylogic, JADE y Netlogo han sido ampliamente utilizadas en el campo académico.

De acuerdo con Arschinder *et al.* (2011), la simulación y modelado de las relaciones emergentes en la cadena de suministro puede ser considerada una buena estrategia para

analizar los resultados de la implementación de mecanismos de coordinación, a partir del comportamiento de los agentes involucrados en la misma, lo que permite considerar la estrategia de simulación basada en agentes como una herramienta de gran utilidad para este estudio.

La investigación y producción de literatura en el área de la gestión de cadenas de suministro agroalimentarias es amplia; sin embargo, no ocurre de la misma forma para los estudios relacionados con simulación basada en agentes en este tipo de cadenas. Beshara *et al.* (2012) simularon la cadena de suministro agroalimentaria de naranjas en dos niveles (producción y distribución) presente entre dos (2) países (Egipto y Holanda), con el fin de evaluar el desempeño de la cadena a través de la gestión de inventarios. Concluyó que es posible mejorar el desempeño global a partir de modificaciones en la gestión de factores como el tiempo de entrega y el inventario de seguridad, y sugiere para trabajos posteriores considerar la optimización del EOQ para disminuir costos, aumentar el desempeño y reducir desperdicios.

Fang y Puqing (2015) simularon en términos generales una cadena de suministro agroalimentaria de dos niveles (proveedores y distribuidores) para analizar cómo impactaba la implementación de contratos en el desempeño de la cadena. Concluyeron que esta estrategia contribuye a mejorar la seguridad alimentaria al conectar estrechamente a los agricultores, ya que, a mayor porcentaje de producción bajo acuerdos contractuales, mayor es la tasa de productos calificados.

Por su parte, Bora & Krejci (2015) evaluaron a través de un modelo basado en agentes los impactos de una variedad de políticas de selección de proveedores en el éxito del sistema alimentario regional, y cómo la coordinación entre los productores impactaría estas políticas. Concluyeron que este modelo les permite saber cuántos proveedores necesitan para satisfacer la demanda y cuál debería ser la distribución del tamaño en términos de pequeños, medianos y grandes agricultores, además de observar mejoras en términos de gestión de inventarios y seguridad alimentaria.

Finalmente, Nguyen *et al.* (2019) estudiaron los diferentes obstáculos para la implementación de contratos de coordinación de cultivo de arroz en el contexto de la cadena de suministro de arroz del Delta del Mekong en China utilizando un modelo basado en agentes, identificando que el nivel de confianza entre los actores es clave en el proceso de expansión del programa de contratación agrícola en la cadena de suministro estudiada.

4. Caracterización – Cadena de Suministro cárnica bovina en Arauca

A partir de una revisión preliminar de la información secundaria relacionada con el sector agropecuario en el departamento de Arauca, se evidencia que no existe información asociada con la operación de la cadena de suministro cárnica bovina ni de las capacidades logísticas presentes en esta cadena. Por esta razón surge la necesidad de caracterizar la cadena de suministro relacionada y las capacidades y procesos logísticos (almacenamiento, aprovisionamiento y distribución) presentes dentro de la misma, con el fin de identificar las limitaciones y problemáticas existentes.

La caracterización de la cadena de suministro cárnica bovina se desarrolló a partir de la información primaria recopilada en el marco del proyecto “Estrategia para la dinamización de las capacidades instaladas de acopio y comercialización de productos agropecuarios en Arauca, Arauca. Un enfoque desde la gestión de las cadenas de abastecimiento” del grupo de investigación Economía, Sociedad y Productividad – SEPRO, y la información secundaria que se encuentra en la literatura sobre el tema. De esta forma, el alcance de la caracterización corresponde a la cadena de suministro de la ciudad de Arauca, en el departamento de Arauca.

La caracterización se presenta de la siguiente forma: en primera instancia se evidencian las generalidades de la cadena; posteriormente se detallan los aspectos asociados al abastecimiento, almacenamiento y distribución de la cadena de suministro bajo estudio; adicionalmente se presenta la normatividad vigente aplicable a esta cadena; y finalmente, se destacan las problemáticas evidenciadas en la cadena de suministro.

4.1 Generalidades

Para finales del año 2018 se registraron en el departamento de Arauca 870.734 reses distribuidas así: 438.777 en la ciudad de Arauca, 238.759 en Arauquita, 181.988 en

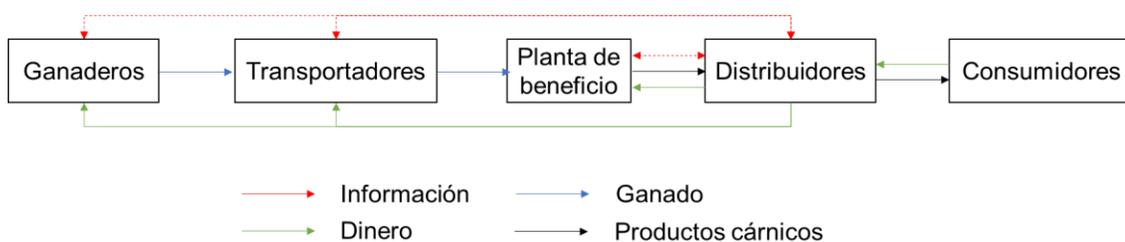
Saravena y 11.210 en Cravo Norte. De acuerdo con los reportes emitidos por el ICA, la totalidad del hato bovino se identificó plenamente para el año 2018, y anualmente se identifican aproximadamente 85.000 ejemplares en la región a través de las jornadas de vacunación (ICA, 2019b).

Este inventario bovino corresponde al 20,57% del hato ganadero a nivel nacional, y está compuesto por el 64,5% de hembras entre los 0 a 5 años y el 35,5% de machos en la misma edad, lo que constituye un importante aporte al sector a nivel departamental en las áreas de la producción de carne, lechera y doble propósito con un 1,5% del PIB nacional a partir de esta actividad económica.

En términos de sacrificio y consumo, el 38% de la carne de res proveniente del sacrificio formal es comercializada a través de canales formales: mercado institucional (13%), grandes superficies (11%), famas especializadas (9%) y mercado industrial (6%) (FEDEGAN, 2018). Estos canales abastecen los nichos de mercado cuyo poder adquisitivo es alto y medio de acuerdo con su nivel de ingresos, y son el referente principal de calidades y precios a nivel nacional. El 62% restante corresponde al canal informal, y atiende la demanda de los estratos 1, 2 y 3, representados por lo que se conoce como “fama”, negocios de pequeña escala de tipo tradicional.

La cadena de suministro de carne de res para el departamento de Arauca se encuentra relacionada en la Figura 15. Se identifican cinco (5) actores directos involucrados en los procesos que se llevan a cabo dentro de la cadena y actores indirectos de naturaleza pública y privada que intervienen paralelamente en su operación. Se identificaron flujos de materiales y se evidencia la transformación de estos a lo largo de la cadena de suministro, a partir de la ejecución de actividades por parte de los actores, así como flujos intermitentes de información entre actores directos e indirectos.

Figura 15. Estructura – Cadena de suministro cárnica bovina en Arauca



Elaboración propia

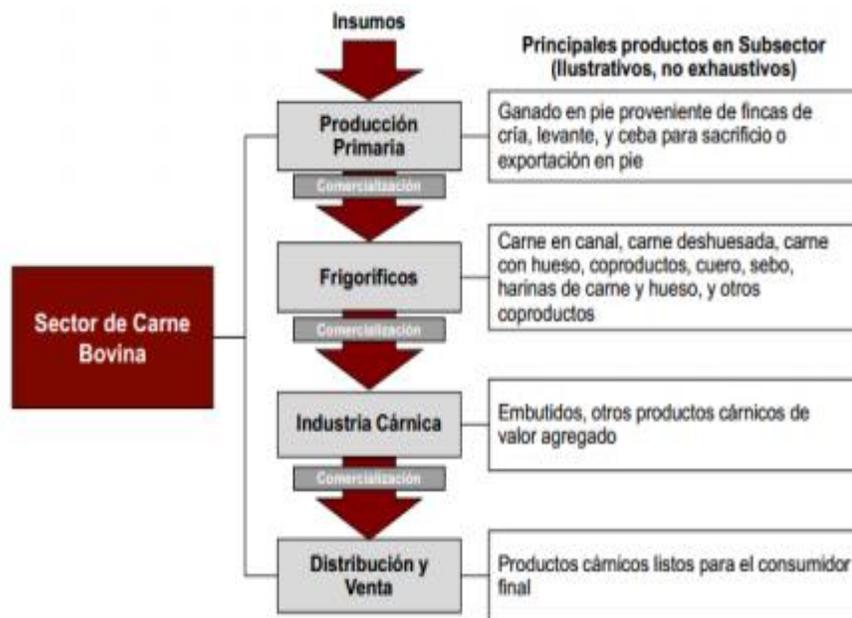
La operación parte desde los ganaderos, quienes desarrollan las actividades de cría, levante y ceba de ganado bovino en hatos y fincas. Los ganaderos deben garantizar condiciones de cuidado y mantenimiento de su inventario bovino independientemente del propósito al que sea destinado (producción cárnica, lechera o doble propósito), basándose en la reglamentación legal vigente expedida por el Ministerio de Agricultura y regulada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (Ver Normatividad).

Posteriormente se realiza la negociación y comercialización de animales vivos, a través de las relaciones y acuerdos entre los distribuidores o expendios de carne y los ganaderos. Éstos realizan la compra del ganado posterior a una evaluación mediante observación y selección del ganado a sacrificar. En esta cadena de suministro se resalta que el transporte hacia la planta de beneficio es responsabilidad del actor que adquiere el animal vivo, lo que involucra la integración del actor transportador, tanto para realizar el movimiento del animal vivo hacia la planta de beneficio como, en algunos casos, el transporte desde plantas de beneficio informales hasta los expendios de carne en el departamento.

Finalmente se realiza el sacrificio del ganado bovino en la planta de beneficio y desposte o frigo matadero, tras una inspección del animal y de los requerimientos expedidos por el INVIMA. Si el sacrificio se realiza en la planta de beneficio formal, es responsabilidad del frigo matadero realizar el transporte hacia los establecimientos de los distribuidores o expendios de carne. Éstos son los encargados de realizar la comercialización de los productos cárnicos y derivados al consumidor final. De acuerdo con la información recopilada, el lead time correspondiente a: transporte de ganado vivo desde la finca ganadera, sacrificio en frigo matadero, y transporte de carne en canal desde planta de beneficio hasta expendio de carne es de un (1) día.

En cuanto al cargue y descargue de carne en canal, los resultados de las encuestas realizadas indican que el 92% de los expendios de carne en la ciudad de Arauca no cuentan con un lugar designado para la consecución de esta actividad. El tiempo estimado para el cargue y el descargue de los productos cárnicos varía entre los 9 y los 15 minutos.

En la Figura 16 se encuentra el resumen de los principales productos generados en los procesos que se llevan a cabo en la cadena de suministro cárnica bovina.

Figura 16. Principales productos del sector cárnico bovino en Arauca

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)

Los actores indirectos involucrados en la cadena de suministro cárnica bovina corresponden a:

- Entidades de gobierno nacional y de regulación como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Protección Social, el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, el Departamento Nacional de Planeación – DNP, la Autoridad Nacional de Agricultura y Pesca – AUNAP, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, la Secretaría Distrital de Salud, la Superintendencia de Industria y Comercio y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA.
- Empresas desarrolladoras y comercializadoras de insumos necesarios dentro de la cadena de suministro (alimentos, mejoradores, sales, medicamentos, vacunas y maquinaria).
- Entidades de financiación e inversión como el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario – FINAGRO, Colciencias, Banco Agrario, y la Gobernación de Arauca.
- Instituciones de fomento empresarial y agremiaciones como la Asociación de Ganaderos del municipio de Arauca, la Federación Colombiana de Ganaderos, la

Federación Nacional de Comerciantes – FENALCO, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI, la Sociedad de Agricultores de Colombia – SAC y la Cámara de Comercio.

De acuerdo con FEDEGAN (2019b), el costo de producción de un kilo de carne en el departamento correspondía en el año 2018 a \$2.803 pesos colombianos. En la Tabla 4 se relacionan las variaciones porcentuales correspondientes a los costos en los que se incurre para los diferentes tipos de producción ganadera (cría, ceba, leche y doble propósito).

Tabla 4. Índice de costos de la ganadería

Ítems	Variación porcentual			
	Leche	Doble propósito	Cría	Ceba
Compra de animales				6,5
Mano de obra	5,8	5,8	5,8	5,8
Alimentación	2,9	7,0	6,6	4,4
Sanidad (vacunas y drogas)	8,7	6,9	1,9	2,1
Inseminación	-1,0			
Potrereros	5,7	26,7	29,9	28,7
Maquinaria y herramientas de trabajo	2,5	4,0	16,6	4,0
Movilización de animales		7,0	7,0	5,9
Otros	1,2	1,4	0,9	1,3

Fuente: (FEDEGAN, 2019b)

Con referencia a los costos de producción a incurrir, la mano de obra es el factor que representa el mayor gasto en el proceso de producción de ganado de cría a nivel nacional, junto con el costo del animal para producción de carne. A su vez, el índice asociado a los costos de sanidad es alto debido a los requisitos que deben cumplirse en el marco fitosanitario y la certificación de ganado libre de aftosa y otras enfermedades.

4.2 Abastecimiento

El proceso de abastecimiento da inicio en la fase productiva de producción primaria, en la que los ganaderos realizan las actividades de cría, levante y ceba de ganado bovino en hatos y fincas destinados a esta operación, de acuerdo con lo establecido en la resolución 2341 de 2007 expedida por el ICA (2007). El sistema de producción que se maneja para esta fase productiva es de tipo mixto sin confinamiento (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). Un sistema mixto hace referencia a “aquel en donde más del 10%

de la materia seca que alimenta al ganado proviene de productos secundarios de cosecha y/o soca” (FAO, 2019a). El manejo del hatu se realiza a campo abierto en potreros ya que esto facilita encontrar y explotar pasturas frescas.

En la actividad de producción cárnica bovina se crían principalmente terneros, en su mayoría machos destetos de ocho (8) meses con pesos que varían entre los 220 a 250 kilogramos, y procediendo con el levante y ceba en sistemas productivos intensivos o extensivos hasta alcanzar pesos entre los 450 a 500 kilogramos a una edad entre los 16 y los 24 meses (FINAGRO, 2019). Los distribuidores minoristas llegan a acuerdos de negociación con los ganaderos de su elección (normalmente cada expendio elige su propio proveedor) para realizar la adquisición de ganado vivo para sacrificio, teniendo en cuenta el peso estimado del animal.

De acuerdo con FEDEGAN, el precio del novillo gordo en pie para finales del año 2018 fue de 1,32 US\$/kg. El transporte de estos animales es responsabilidad de quienes los adquieren, por lo cual se integra a esta operación la actividad de transporte desde la finca o hatu hasta la ubicación de la planta de sacrificio y desposte.

De acuerdo con la información primaria recopilada, en la ciudad bajo estudio el 100% de la carne bovina proviene de la ciudad de Arauca, y el 100% de dicho producto (en sacrificio formal) proviene del frigo matadero ubicado a las afueras de la ciudad. El 64% de los expendedores de carne compran ganado 3 veces por semana, y el 82% de estos recibe en promedio 3 entregas en sus establecimientos. Los criterios que utilizan los expendedores de carne para elegir sus proveedores son: calidad de alimento y confianza en el proveedor.

La actividad de transporte está regida por el decreto 3149 de 2006 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) y exige cumplimiento en la documentación requerida para el embarque, movilización y transporte terrestre de ganado en el territorio nacional: bono de venta, guía de transporte ganadero, licencia sanitaria de movilización expedida por el ICA o por la organización gremial ganadera autorizada, y manifiesto de carga expedido por la empresa de transporte legalmente constituida y registrada, cuando sea del caso.

Adicionalmente, se debe cumplir con otras disposiciones como (DANE, 2016b):

- No se permite el uso de material orgánico como cama para el ganado.

- Los vehículos deben ser ventilados y protegidos contra las inclemencias del tiempo. Adicionalmente, deben contar con pisos antideslizantes.
- Se deben garantizar las condiciones de espacio mínimo entre animales, de forma tal que no haya hacinamiento, amontonamiento y/o agresiones entre los animales.
- Se debe evitar el derrame de heces y orina en las vías durante el transporte de los animales.
- El transportador debe llevar consigo la guía sanitaria de movilización expedida por el ICA.
- No se pueden transportar en un mismo vehículo animales de diferentes edades o de otras especies, así como con otros insumos o implementos
- Los vehículos de transporte deben ser lavados y desinfectados después de cada movilización de ganado.
- Se debe respetar la densidad de carga de los vehículos (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Densidad de carga de vehículos de transporte de ganado

Animal	Peso (kg)	Densidad (km/m ²)	Espacio/animal (m ²)	Número de animales por cada 10 m ²
Ternero	50	220	0,23	43
	70	246	0,28	36
Adulto	300	344	0,84	12
	500	393	1,27	8
	600	408	1,46	7
	700	480	1,75	6

Fuente: (DANE, 2016b)

Se resalta que los vehículos de transporte de animales vivos observados son camiones estacados, y no cumplen con los requerimientos de transporte establecidos por la normatividad vigente. El cumplimiento de estos requisitos es clave porque en el país 2.5% de las pérdidas de animales se da por lesiones en estos, causados por caídas y magulladuras generadas en el transporte (ICA, 2019b).

La siguiente fase corresponde al proceso industrial, el cual comienza al momento de ingresar el ganado vivo a la planta de beneficio y desposte o frigo matadero. Se resalta en esta etapa que, por la naturaleza de la operación y condiciones externas como la variación

del precio de sacrificio se presentan situaciones en las que se realiza esta actividad en plantas de beneficio informales, poniendo en riesgo las condiciones de salubridad e inocuidad del ganado y la producción cárnica.

Tras ingresar el ganado a la planta se procede a realizar el pesado del mismo; posteriormente se lleva a un corral de reposo por un tiempo mínimo de 12 horas únicamente con ingesta de agua, de acuerdo con lo establecido en el decreto 1500 de 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007a). En adición a la revisión del animal vivo, se verifica que este se encuentre registrado en el Sistema Nacional de Información e Identificación del Ganado Bovino (SINIGAN). Este procedimiento es importante porque el registro del animal incluye el historial de vacunación contra fiebre aftosa y otras enfermedades, lo que garantiza las condiciones de salubridad exigidas por el INVIMA y el Ministerio de Salud.

Una vez superado el tiempo de reposo se somete el ganado vivo a una inspección ante mortem, donde se verifica que se encuentren en las mejores condiciones y que no haya indicio de una patología que pueda afectar la salud humana. Se le da un baño al ganado inspeccionado para mitigar las impurezas y suciedad que se puedan presentar previo al aturdimiento del animal mediante la aplicación de un leve choque eléctrico que ocasiona la pérdida de conocimiento (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Inmediatamente después se realiza el sacrificio del animal, se permite el desangrado del mismo y se lava minuciosamente el cuerpo para luego retirar su piel. Finalmente se extraen del cuerpo del animal los sebos, vísceras, grasas y otros subproductos cárnicos, dando paso al proceso de transformación de carne en canal. En esta etapa se retiran los excesos de grasa que hayan podido quedar y se cortan y clasifican los diferentes tipos de corte. De acuerdo con la información primaria, el sacrificio del ganado tiene un costo promedio de \$138.000 pesos colombianos, incluyendo el transporte.

El transporte de los canales de carne actualmente es responsabilidad del frigo matadero. Este transporte se rige bajo el decreto 1500 de 2007 y la resolución 240 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social, enfocándose especialmente en garantizar la conservación de la cadena de frío, lo que mitiga la aparición de elementos contaminantes y perjudiciales para la salud.

4.3 Almacenamiento

El proceso de almacenamiento inicia con la llegada de la carne en canal al establecimiento del distribuidor o expendio. Este actor debe garantizar la preservación de la cadena de frío que se tiene desde la planta de beneficio y desposte de acuerdo con lo establecido en el decreto 1500 de 2007 (temperatura de refrigeración ≤ 4 °C, temperatura de congelación ≤ -18 °C), así como registrarse ante la Secretaría de Salud correspondiente de acuerdo con lo establecido en la resolución 3753 de 2013 (Ministerio de Salud y Protección Social).

Los productos cárnicos deben almacenarse en cuartos fríos o vitrinas que cuenten con la iluminación establecida por la normatividad en intensidad y protección (Decreto 240 de 2013), y debe poseer un sistema de refrigeración cuya capacidad permita el almacenamiento del volumen de carne que se comercializa, manteniendo la temperatura a la cual fueron recibidos la carne y demás productos cárnicos comestibles.

Adicionalmente, estos productos no deben estar expuestos al medio ambiente, por lo cual “deben mantenerse en áreas de refrigeración o congelación o equipos que permitan mantener la cadena de frío”. A su vez, las carnes y productos cárnicos comestibles deben almacenarse por separado, y si se almacenan carnes empacadas se deben mantener en estantes, con el fin de permitir una circulación de frío adecuada, protegidos del ambiente exterior incluso al exponer los productos para la venta (uso de vitrinas).

Con base en las encuestas, el 73% de los expendios de carne en la ciudad de Arauca no cuentan con cuartos fríos donde almacenar sus productos cárnicos. Para contrarrestar esta carencia, utilizan vitrinas para realizar el almacenamiento de la carne que adquieren de acuerdo con la demanda de sus clientes. El 27% de los expendios que cuentan con cuartos fríos poseen bodegas de almacenamiento de capacidad inferior a 10m². El tiempo promedio de tenencia de los productos cárnicos para los expendios de carne encuestados varía entre 1 y 3 días.

De acuerdo con la información primaria obtenida, actualmente se encuentran registrados en la Secretaría de Salud de Arauca 52 expendios de carne. Cada uno de los expendios de carne adquiere en promedio 6 canales de carne por semana (1800 kg) comprando 2 canales aproximadamente cada dos (2) días, teniendo en cuenta que se comercializan alrededor de 450 kg de carne y 50 kg de vísceras y otros subproductos cárnicos comestibles. La ventana de operación para los expendios que se encuentran ubicados en

la plaza de mercado principal Cristo Rey (11 expendios) es desde las 5 am hasta la 1 pm, y para los demás expendios es desde las 8 am hasta las 7 pm.

De acuerdo con el Instituto Internacional de Refrigeración, la duración prevista de almacenamiento para la carne bovina conservada a una temperatura de refrigeración inferior a los 4 °C es de hasta tres (3) semanas, con una humedad relativa promedio del 90% (FAO, 1993). Por esta razón es importante la rotación de los cortes de carne y subproductos cárnicos comestibles y la verificación de la fecha de producción de los productos, así como garantizar las condiciones de almacenamiento y conservación de cadena de frío dentro de cada expendio.

4.4 Distribución

El proceso de distribución para los distribuidores y expendios de carne en la ciudad de Arauca inicia en sus instalaciones (plazas de mercados, supermercados y famas), donde después de recibir la carne y demás subproductos cárnicos comestibles se procede a su comercialización para el consumo posterior. La carne en canal se divide en cortes más pequeños para su exhibición dentro de vitrinas acondicionadas con iluminación y temperaturas de refrigeración adecuadas, y se comercializa en cortes de acuerdo con la demanda del establecimiento. Los principales clientes de los expendios de carne en la ciudad de Arauca son hogares y restaurantes.

De acuerdo con las cifras presentadas por FEDEGAN (2017) el consumo de carne bovina en el país se distribuye entre un 75% y un 80% para consumo en los hogares, 15% a nivel institucional y un 5% a nivel industrial. Adicionalmente, la calidad del producto está asociada en mayor medida al manejo que se tiene de la carne en canal que a las características propias del producto, principalmente en aspectos como su refrigeración a lo largo de la cadena y la identificación de información sobre el nombre del producto, peso y fechas de vencimiento.

FEDEGAN (2018) define dos (2) tipos de canales de distribución: formal e informal. El canal formal corresponde a aquellos establecimientos en los que la carne se comercializa a través de grandes superficies, mercados institucionales, mercados industriales y famas especializadas. De acuerdo con las cifras reportadas por esta federación, solo el 38% de la carne se comercializa a través de este tipo de canal. Este canal es el referente de precios principal, aunque el volumen de comercialización es relativamente reducido. El canal

informal hace referencia a la comercialización de carne en los negocios pequeños, también llamados famas. Las cifras indican que este canal atiende el 62% de la demanda de carne.

De acuerdo con la información primaria recopilada solo el 5% de los expendios realiza domicilios, teniendo en cuenta que estos se encuentran distribuidos a lo largo de la ciudad. Para esta actividad utilizan los medios de transporte terrestres de moto y bicicleta. El precio de venta de la carne en canal varía entre los \$6.000 y \$12.000 pesos colombianos la libra, variando según el tipo de corte de carne y la oferta de los productos.

4.5 Normatividad

La normatividad vigente para las cadenas de suministro cárnicas bovinas se relaciona a continuación:

- Ley 395 de 1997 (Congreso de la República): “Por la cual se declara de interés social nacional y como prioridad sanitaria la erradicación de la Fiebre Aftosa en todo el territorio colombiano y se dictan otras medidas encaminadas a este fin”. Esta ley toma como prioridad la erradicación de la fiebre aftosa en el territorio nacional, adoptando las medidas sanitarias correspondientes y brindando las recomendaciones pertinentes para evitar posibles brotes.
- Decreto 1500 de 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social): “Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano”. Este decreto establece requisitos de sanidad e inocuidad de obligatorio cumplimiento en los procesos de producción primaria, beneficio y desposte, transporte, almacenamiento, expendio, comercialización, exportación e importación de productos y subproductos cárnicos comestibles, así como el acondicionamiento de predios y la implementación de buenas prácticas en todos los eslabones de la cadena de suministro.
- Resolución 2905 de 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007b): “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de la especie bovina y bufalina destinados para el consumo humano”. Esta resolución centra su enfoque en los requerimientos que deben cumplir las plantas de beneficio y desposte, y de los expendios de carne. Establece una periodicidad de visitas según el tipo de expendio; para los expendios

minoristas se realizarán cuatro (4) visitas en el año, mientras que para las plazas de mercado mayoristas se tendrán jornadas de cinco (5) visitas a la semana, de ocho (8) horas diarias, las cuales se realizan bajo la supervisión de un profesional y un técnico de saneamiento ambiental.

- Resolución 240 de 2013 (Ministerio de Salud y Protección Social): “Por la cual se establecen los requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio animal de las especies bovina, bufalina y porcina, plantas de desposte y almacenamiento, comercialización, expendio, transporte, importación o exportación de carne y productos cárnicos comestibles”. Esta resolución describe detalladamente los requerimientos establecidos en el decreto 1500 de 2007.
- Resolución 3753 de 2013 (Ministerio de Salud y Protección Social): “Por la cual se definen los lineamientos técnicos para la formulación de planes de acción de inspección, vigilancia y control de la carne y productos cárnicos comestibles a lo largo de la cadena y se dictan otras disposiciones”. En esta resolución se establece que los establecimientos dedicados al beneficio, desposte y comercialización de bufalinos, bovinos y productos cárnicos deben ejecutar los procesos de inscripción, solicitud de autorización sanitaria y registro ante el INVIMA para dar inicio y sostenimiento a su funcionamiento.

El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) establece los lineamientos de política pública en el CONPES 3376 de 2005 (Departamento Nacional de Planeación) con el fin de mejorar las condiciones de las cadenas de carne bovina y de la leche. Dentro de las estrategias sugeridas se encuentra la mejora de la competitividad de la cadena a través de programas que prevengan, controlen y mitiguen o erradiquen las enfermedades fitosanitarias, el fortalecimiento de capacidades técnicas y científicas presentes en los procesos que se llevan a cabo en toda la cadena, y un programa de estructuración y fortalecimiento institucional que permita establecer de forma eficiente y coordinada las acciones necesarias para atender los riesgos anteriormente mencionados.

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establece buenas prácticas en su Codex Alimentarius (1999) como la inspección ante mortem y post mortem del animal para verificar la inocuidad de los productos cárnicos y vigilar la presencia de enfermedades. Las características que se verifican ante mortem en los animales son: limpieza, estado nutricional, anormalidades, secreciones, color, olor y presencia de enfermedades. Si se encuentran enfermos deben sacrificarse aparte de los

animales sanos evitando la contaminación cruzada. Durante la inspección post mortem se debe garantizar que la carne en canal y los subproductos cárnicos comestibles se encuentren libres de enfermedades.

4.6 Problemáticas en la cadena cárnica bovina

A partir de la información primaria recopilada en la fase descriptiva de esta investigación, la revisión de información secundaria relacionada con el sector cárnico bovino a nivel nacional e internacional y la caracterización de la cadena de suministro realizada, se identificaron problemáticas y retos en las capacidades presentes en la cadena de suministro estudiadas por Große – Brockhoff *et al.* (2011) y seleccionadas en el marco de esta investigación: información, operación interna, transporte y almacenamiento.

En primera instancia se evidencia una distribución irracional del sistema de sacrificio en el país, ya que las plantas que cuentan con un mayor volumen de beneficio y desposte se encuentran ubicadas en los centros de mayor consumo a pesar de que las zonas de producción ganadera se encuentran alejadas de dichos centros, haciendo que la coordinación se haga extremadamente difícil. Esta situación trae como consecuencia la generación de costos adicionales para satisfacer la mayor demanda.

La falta de coordinación causa problemas de flujo de productos en la cadena de suministro de carne. Específicamente, los productores no reciben señales económicas claras para ayudarlos a desarrollar planes de producción basados en la demanda del mercado. El desajuste de la oferta y la demanda a menudo lleva a que los expendios adquieran demasiado o poco inventario, creando en muchos casos ineficiencia en la utilización de las instalaciones.

En el caso particular del departamento de Arauca, la producción bovina corresponde al 20% aproximadamente de la producción nacional. Aunque la planta de beneficio y desposte de la ciudad de Arauca – una de las plantas con mayor capacidad de sacrificio en el departamento y la única en funcionamiento por cumplimiento de condiciones regulatorias fitosanitarias y recursos de financiamiento – cuenta con una capacidad instalada de 100 reses al día, solo se sacrifican en promedio 22 animales cada dos (2) días, lo que representa una subutilización de la capacidad de operación interna.

Por otra parte, se presenta intermediación entre el productor primario y la planta de beneficio y desposte o frigo matadero. Esto se debe a que el negocio de compra de

animales se realiza por acuerdo entre los expendios de carne y los ganaderos, involucrando también transportadores desde las fincas y hatos hasta el frigo matadero. En una cadena de suministro cuya capacidad logística de información se encuentra aprovechada de forma eficiente, la comunicación coordinada e intercambio de información para la adquisición de ganado se realizaría directamente entre los productores primarios y las plantas de beneficio, eliminando la intermediación de los expendios de carne.

Así mismo, los ganaderos rara vez reciben información sobre la calidad de la carne en canal o las preferencias del consumidor. Esto se evidencia especialmente porque el ganado se vende tomando como referencia el peso del animal vivo. Sin la información necesaria, los productores primarios no pueden mejorar las operaciones de cría y alimentación para aumentar la calidad del ganado, así como no pueden seleccionar las razas genéticas apropiadas para satisfacer la demanda del mercado.

Aunque existe una resolución que regula las condiciones de transporte de animales vivos en el país, esta normatividad no se cumple estrictamente en el departamento de Arauca, lo que pone en riesgo las condiciones de sanidad y calidad del producto final. Para el caso del transporte desde las fincas y hatos hasta el frigo matadero, éste se realiza en vehículos que no presentan la documentación requerida por el ICA para movilización de ganado en pie. Para el transporte que se realiza desde el frigo matadero hacia los expendios de carne se utiliza actualmente un vehículo que no cumple con los requisitos que permiten garantizar la conservación de la cadena de frío, lo que en muchos casos, además de incumplir con la normatividad vigente, reduce el tiempo de almacenamiento y frescura de los productos cárnicos, especialmente los subproductos, cuya fecha de caducidad es más rápida; y aumenta el riesgo de contaminación fitosanitaria.

Así mismo, el país presenta un sistema de inspección y vigilancia deficiente. A pesar de que existe una regulación bastante explícita en cuanto a los requerimientos que deben cumplirse y los planes de mejoramiento que deberían realizarse, el sistema de inspección y vigilancia presenta fallas críticas en los eslabones de transporte de ganado en pie y carne en canal, así como en la penalización de los establecimientos de venta en canales de distribución informales. Todo esto debido a que el tamaño y la complejidad de la cadena de suministro cárnica bovina desborda la capacidad institucional de la autoridad regulatoria (INVIMA e ICA) en temas de inocuidad. En adición a lo anterior, este sistema no es homologable con el sistema de ninguno de los países ni comunidades con los cuales se

ha firmado un tratado de libre comercio (FEDEGAN, 2017), por lo cual, en adición a las condiciones requeridas a nivel nacional, se deben atender otros requerimientos particulares para cada país al que se desee exportar.

La gestión de almacenamiento constituye un proceso de gran relevancia ya que, al estar directamente relacionada con el intercambio de bienes entre proveedores y clientes, busca regular los flujos entre la oferta y la demanda, optimizar los costos de distribución y satisfacer los requerimientos de otros procesos productivos (Correa Espinal *et al.*, 2010). En el contexto bajo estudio, la capacidad de almacenamiento se encuentra desaprovechada y presenta algunas limitaciones a considerar.

Para este caso, la plaza de mercado Cristo Rey cuenta con un cuarto frío destinado al almacenamiento de carne en canal con una capacidad de 18 canales (8910 kg aproximadamente), representando el 36% de la capacidad requerida. Teniendo en cuenta que el requerimiento semanal promedio para cada expendedor de carne es de seis (6) canales, es posible evidenciar que la capacidad del cuarto frío es superada en demasía por el requerimiento de los once (11) expendedores que se encuentran en la plaza de mercado, y se hace presente la necesidad de establecer una estrategia de gestión de almacenamiento que permita aprovechar al máximo la capacidad de dicho cuarto, garantizando las mejores condiciones de calidad y salubridad del producto.

La capacidad de almacenamiento de esta cadena de suministro se ve impactada por el comportamiento de consumo de los clientes finales, ya que actualmente no hay una regulación de la venta y distribución ilegal de carne y esta situación que se ve aumentada debido a la crisis que se presenta en la frontera. De acuerdo con el trabajo realizado en la ciudad de Arauca, la carne proveniente de Venezuela se comercializa en el borde del Río Arauca, en lugares que no son aptos para almacenamiento y exhibición de este producto, y está siendo ofrecida por un precio de venta que va desde los \$4000/kg a los \$6000/kg (2 veces menor que el precio colombiano). Según la percepción de los consumidores encuestados, en el 64% de los casos se prefiere la compra de carne ilegal proveniente de Venezuela, principalmente por el factor de precio y sin tener en cuenta el riesgo de contaminación del producto.

FEDEGAN (2017) estimó que la ilegalidad en el sacrificio de animales aproximadamente era de 4,2 millones de bovinos para el año 2016, representando un 18,3% de la producción total de 22,9 millones de bovinos a nivel nacional. De acuerdo con esta Federación, esta

falla institucional se debe principalmente a dos (2) factores: la implementación irregular del decreto 1500 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007a) y el contrabando de ganado en la región.

Con respecto al primer factor, la expedición de este decreto en el año 2007 tuvo importantes falencias asociadas a su implementación, teniendo en cuenta que su aplicación fue aplazada siete (7) veces hasta agosto de 2016 (CONtexto ganadero, 2018), cuando finalmente fue ejecutada y como consecuencia fueron cerrados 143 establecimientos por incumplimiento (Cámara de Comercio de Bogotá, 2017).

FEDEGAN indica que muchos frigo mataderos se quedaron por fuera del Plan Gradual de Cumplimiento estipulado por el gobierno y esto condujo a su cierre definitivo, dejando a su paso personas desempleadas con capacidad para sacrificar ganado de forma ilegal. Es así como surgió un negocio fructífero en el abigeato y el sacrificio clandestino, aumentado en años recientes. De forma particular se resalta que el sacrificio clandestino no constituye únicamente una actividad ilegal sino también un riesgo para la salud pública y para el estatus sanitario de la ganadería, así como un riesgo para la conservación del medio ambiente.

En cuanto al factor de contrabando, según lo expresado por FEDEGAN “el problema del tráfico ilegal de ganado y carne desde Venezuela ha sido uno de los principales factores por los cuales el degüello sigue estancando, especialmente en zonas de frontera” (CONtexto ganadero, 2018). Es así como al territorio colombiano ingresan ilegalmente más de 250 mil bovinos cuyo valor en el mercado nacional ronda los \$400 mil millones de pesos colombianos, generando enormes ganancias a los traficantes.

Para contrarrestar esta falla de mercado, los expendedores de carne colombianos están sacrificando las reses y cerdos en lugares diferentes al frigo matadero, lo que disminuye los costos variables asociados a esta actividad en un 30% aproximadamente, pero aumenta los riesgos sanitarios asociados con la informalidad. En consecuencia, las autoridades regionales (Secretaría de Salud) realizan visitas periódicas a los expendios de carne para verificar que la comercialización y el origen del producto se está dando bajo los parámetros establecidos en la regulación vigente (expendios minoristas, cuatro (4) visitas en el año; plazas de mercado mayoristas, jornadas de cinco (5) visitas a la semana, de ocho (8) horas diarias). Cuando los expendios son encontrados con carne ilegal, el procedimiento es incautar la carne e incinerarla, aplicar una multa de 5 SMLV y sellar el

establecimiento por el tiempo establecido según protocolo y reincidencia (1 semana al primer llamado, 2 semanas al segundo llamado y cierre definitivo al tercer llamado).

La cadena de suministro de carne de res en canal para la ciudad de Arauca es de tipo descentralizada, por lo cual las decisiones que se toman en cada uno de los eslabones se realizan de forma independiente. De acuerdo con Giannoccaro y Pontrandolfo (2004) esta descentralización trae desventajas como la aparición del efecto látigo que causa una sobredemanda o desabastecimiento de producto, un aumento de los costos presentes en la cadena de suministro, y un impacto en manejo de inventario disponible, lo que puede afectar directamente la calidad y salubridad del producto.

Con relación a los precios de los productos y subproductos cárnicos bovinos, la falta de integración y coordinación en los eslabones de la cadena de suministro inhibe la creación y fortalecimiento de economías de escala y aumenta la intermediación de otros agentes. A partir de esta situación emerge el fenómeno de “doble margen”, en el cual, debido a que los precios del mercado se definen a partir del canal formal de distribución, el productor primario busca establecer un margen de ganancia reflejado en el precio que define al comercializar su ganado, a la vez que el dueño del expendio busca obtener una utilidad propia fijando un precio superior en detrimento del consumidor. Este fenómeno promueve el sacrificio clandestino, la informalidad, el contrabando y el abigeato en la región.

Teniendo en cuenta las deficiencias presentadas anteriormente, el presente trabajo de investigación encuentra crítica la capacidad logística de almacenamiento, y la considera para la implementación del mecanismo de coordinación.

5.Propuesta – Mecanismo de Coordinación

A partir de las problemáticas encontradas en la caracterización de la cadena de abastecimiento cárnica bovina para la ciudad de Arauca, los actores, procesos y relaciones presentes a lo largo de la cadena (ver capítulo 4), se evidencia la necesidad de implementar un mecanismo de coordinación que permita el aprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento, la cual es crítica dentro de la cadena de suministro.

En la revisión de literatura se identificaron en el numeral 3.5.1 Mecanismos de coordinación los diferentes mecanismos aplicables al contexto bajo estudio. Teniendo en cuenta que se busca la integración externa de la cadena de suministro – entre sus eslabones –, los mecanismos de contratos, toma de decisiones conjuntas (p. e. VMI, CPFR), información compartida y tecnologías de información (p. e. EDI, ERP) responden a esta necesidad.

Para el caso de la cadena de suministro bajo estudio, se identificó en la caracterización que esta cadena de suministro descentralizada – específicamente en el caso de los expendios ubicados en la plaza Cristo Rey – enfrenta retos en términos de desaprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento al presentar problemáticas como niveles de inventario que no tienen en cuenta pronósticos de demanda, y niveles de inventarios individuales que por falta de coordinación sobrepasan la capacidad del cuarto frío destinado para el almacenamiento de los expendios. Para dar respuesta a esta necesidad, este trabajo propone la implementación del mecanismo de coordinación de Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP para la gestión de almacenamiento y la consolidación de órdenes.

El Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP surgió en la conferencia del Instituto de Mercadeo de Alimentos de los Estados Unidos en 1992 como una “iniciativa estratégica” que involucra métodos, prácticas y tecnologías de gestión, para permitir que los distribuidores y proveedores colaboren y así ofrecer un mejor valor a los consumidores. El

CRP es un sistema basado en intercambio electrónico de datos (EDI, por sus siglas en inglés), en el cual la responsabilidad del inventario recae en el proveedor – en el caso de investigación, la persona encargada de gestionar el cuarto frío de la plaza de mercado – y no en el minorista – en este caso, el expendedor de carne –, por lo cual el minorista envía un informe de inventario al proveedor que incluye información asociada a la disponibilidad de existencias y los pedidos de la tienda.

Al procesar esta información en función de las predicciones del flujo del producto – en este caso, productos cárnicos –, el sistema del lado del proveedor emite un pedido sugerido y lo envía de vuelta al minorista. El objetivo entonces es garantizar que el almacén del minorista pueda satisfacer la demanda prevista, manteniendo los niveles de inventario lo más bajo posible, reduciendo los niveles de *stock out* y mejorando los niveles de servicio del cliente. La implementación de este mecanismo de coordinación permite al proveedor planificar de manera más efectiva la producción y elimina la necesidad de órdenes de compra y otros trámites relacionados, reduciendo los costos y tiempos asociados a estas actividades, generando un ahorro de costos debido a la optimización del stock, una mejor gestión y programación de entregas y un mejor servicio al cliente.

5.1 Procedimiento – Implementación de mecanismo

A continuación se relacionan los procedimientos a llevar a cabo para lograr la implementación del mecanismo de coordinación de CRP, a través de un contrato de coordinación en el que se establecerán las condiciones de operación y las relaciones entre los actores involucrados.

5.1.1 Contrato de coordinación

Para la implementación de un contrato de coordinación se requiere llevar a cabo cuatro (4) etapas (Ver Figura 17):

- A. Establecer bases iniciales:** En esta etapa se requiere establecer cuáles son los actores involucrados y cuál será su rol dentro de la relación de coordinación (proveedor de información o decisor), así como los sistemas de información que se manejarán (EDI, ERP, etc.) Para el caso de estudio, se requiere inicialmente de la agremiación de los expendios ubicados en la plaza de mercado Cristo Rey y la definición de un encargado de administrar el inventario del cuarto frío, así como el uso

de la herramienta ofimática de Excel para el manejo de datos que utilizará el decisor para evaluar la decisión de gestión de órdenes.

- B. Establecer acuerdos de coordinación:** Se deben definir inicialmente los acuerdos de negociación entre los actores de la cadena de suministro, especialmente en lo que respecta a compartir información sobre sus niveles de inventario, stock de seguridad y demanda por parte de sus clientes.
- C. Establecer consideraciones transaccionales:** En esta etapa se requiere establecer la forma en la que se enviarán los reportes correspondientes por parte de los expendedores al administrador del cuarto frío, tanto de ventas como de inventarios; y deben definirse los protocolos para gestionar el caso en el que se requiera realizar modificaciones de órdenes.
- D. Conformar agremiación y establecer tareas:** En esta etapa se establece el documento de contrato, especificando la metodología para establecer el pronóstico de ventas, cómo se realizará el manejo de excepciones y cómo se realizará la evaluación del desempeño durante la puesta en marcha y operación del mecanismo CRP

Cuando el proveedor (en este caso, el encargado de administrar el cuarto frío) tiene acceso a la información de inventario de sus clientes (los expendios), esto simplifica el procesamiento de órdenes al eliminar la necesidad de pedidos de compra y otros trámites. También proporciona a los proveedores la capacidad de planificar mejor la producción en función de la demanda, lo que puede conducir a una reducción en el inventario y en los empleados necesarios para el almacenamiento.

5.1.2 Programa de Reabastecimiento Continuo - CRP

El procedimiento para la implementación del Programa de Reabastecimiento Continuo – CRP está compuesto por cuatro (4) etapas:

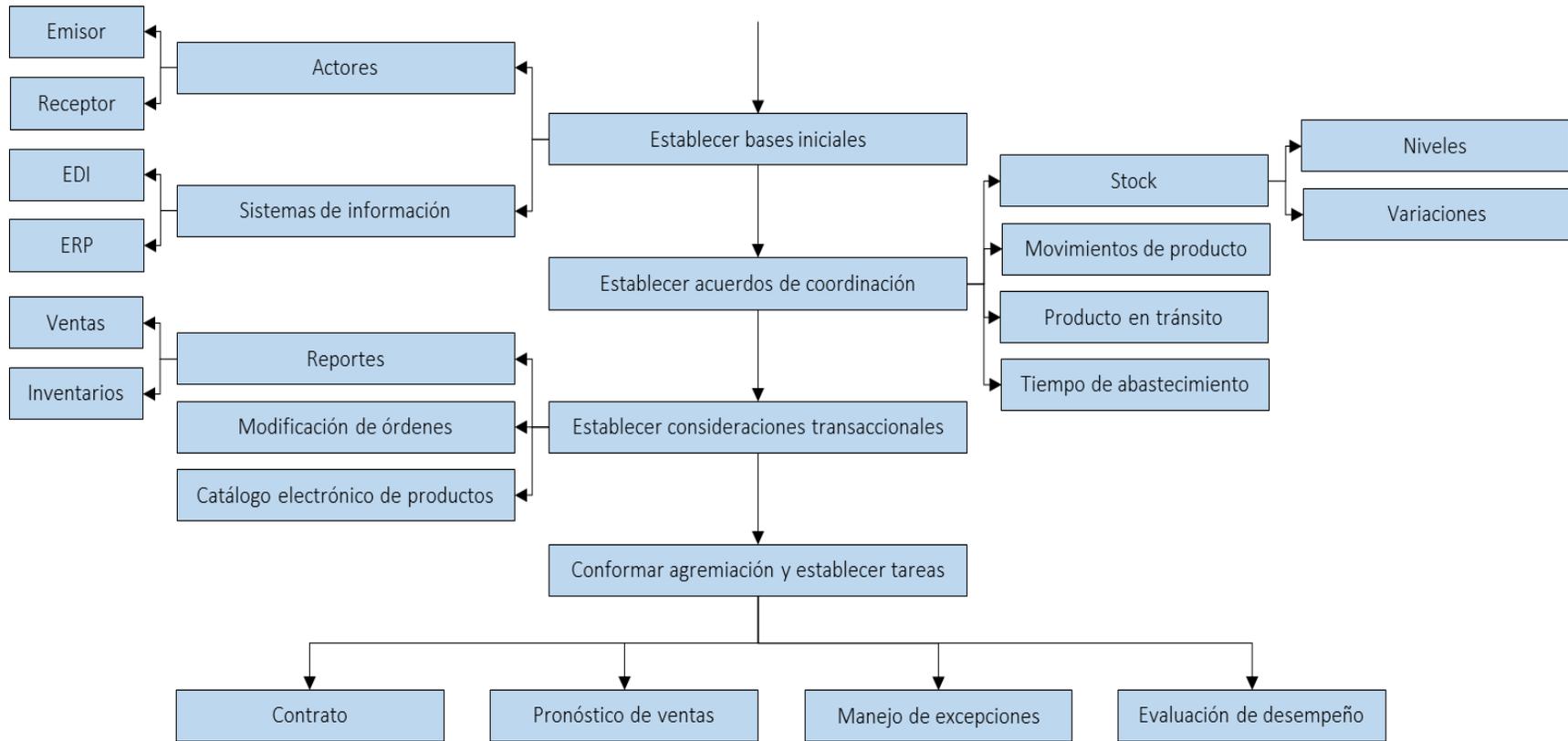
- A. Estrategia y planificación:** En esta etapa se incluye el desarrollo del acuerdo (contrato) de coordinación de acuerdo con las etapas descritas en el ítem 5.1.1 Contrato de coordinación. Posteriormente, se realiza la creación del plan de negocio conjunto, en el cual se establece cuál será la estrategia que se pondrá en práctica para lograr la consecución de los objetivos planteados en el contrato.

- B. Gestión de oferta y demanda:** En esta etapa se requiere que los expendios puedan compartir la información relacionada con su operación (inventarios, demanda, stocks, etc.) a través de una plataforma de intercambio electrónico de datos estandarizada (EDI) como Excel. Con base en esta información se crean los pronósticos de ventas y pedidos.
- C. Ejecución:** A medida que los expendios ejecutan sus operaciones, se procede a la generación de pedidos por parte de estos, quienes envían una notificación al encargado del cuarto frío para que, de acuerdo con la información de pronósticos establecida en la etapa previa, envíe un pedido en respuesta a las notificaciones de los expendedores. El reabastecimiento del cuarto frío se realizará teniendo en cuenta la limitación de su capacidad (18 canales).
- D. Análisis:** En esta etapa se identifican y gestionan las excepciones que puedan presentarse en el sistema (errores presentados durante la ejecución del programa), y se realiza la evaluación de desempeño del CRP teniendo en cuenta indicadores como costos, ventas perdidas, tiempo de respuesta, lead time, entre otros. A partir de estos resultados, se realiza el ajuste de los pronósticos de ventas y pedidos, y se ejecuta de nuevo el programa. El propósito de esta etapa a corto y mediano plazo es el de minimizar el número de errores en el proceso, aproximando los pronósticos al estado real de la operación, y buscando alcanzar un estado óptimo en términos de costos, tiempos y nivel de atención al cliente.

Se resalta que la implementación de este mecanismo CRP se debe realizar teniendo en cuenta las necesidades, características y limitaciones de la cadena, principalmente asociadas a los medios tecnológicos y los altos costos de implementación de un programa CRP original. De esta forma, se sugiere adaptar la implementación de este mecanismo al uso de tecnologías de información como un celular con acceso a internet, en el que se pueda visualizar y hacer uso de la herramienta Excel con una programación similar a CRP.

Tomando en consideración que las problemáticas asociadas a la capacidad crítica de almacenamiento se encuentran interrelacionadas, el modelo de simulación debe evidenciar la modelación de las relaciones causales dinámicas de los agentes y sus comportamientos, así como los comportamientos emergentes a partir de la implementación del mecanismo de coordinación. Estas características corresponden a un modelo basado en agentes, por lo cual se reitera este tipo de modelación para diseñar el modelo de esta investigación.

Figura 17. Procedimiento para establecer contrato de coordinación



Fuente: (Chavez & Torres-Rabello, 2012). Elaboración propia

5.2 Modelo Conceptual

En esta sección se presenta el modelo conceptual de esta investigación, sus objetivos y desarrollo, los actores de la cadena, procesos e interacciones, y se relacionan también las premisas bajo las cuales se desarrolló el modelo de simulación.

El alcance del modelo propuesto se desarrolla teniendo en cuenta dos (2) agentes (distribuidor y consumidor). Esta simulación busca representar inicialmente la operación actual de la cadena de suministro de carne en la ciudad, con el fin de evidenciar las fallas en la capacidad logística de almacenamiento de aquellos expendios que se encuentran ubicados en la plaza de mercado Cristo Rey. En este escenario inicial se busca implementar posteriormente el mecanismo de coordinación CRP en cuanto a la programación de órdenes de compra, para generar una mejor coordinación del uso del cuarto frío dispuesto en la plaza.

En un segundo momento se busca evaluar el mecanismo de coordinación seleccionado en la operación de los distribuidores que se encuentran en la plaza Cristo Rey, con el fin de identificar si la implementación de estos genera los beneficios presentados en la revisión de literatura para la cadena de suministro cárnica bovina en Arauca, a partir de los comportamientos y características de los distribuidores y consumidores en la ciudad.

5.2.1 Objetivos del modelo

El objetivo del modelo es simular la implementación de un modelo de coordinación en la cadena de suministro de carne de res en canal para la ciudad de Arauca, con el fin de aumentar el aprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento a partir de un modelo de simulación basado en agentes. Se busca inicialmente simular el estado actual de la cadena de suministro, aplicar posteriormente el mecanismo de coordinación en el modelo y evaluar si se presenta una mejora en la capacidad logística de almacenamiento. Finalmente, se busca resaltar las condiciones que deben darse en la realidad para que la implementación de estos mecanismos se realice de forma exitosa en la cadena de suministro.

5.2.2 Agentes y procesos

Agentes:

Teniendo como base un escenario de dos (2) niveles, los agentes involucrados en el modelo son:

- Expendios/distribuidores: Responsables de la compra de los animales vivos para sacrificarlos y comercializar los productos y subproductos cárnicos comestibles. De acuerdo con la información primaria recopilada, 52 expendios se encuentran en la ciudad de Arauca, 11 de ellos ubicados en la plaza de mercado Cristo Rey
- Consumidores: Realizan la adquisición de los productos y subproductos cárnicos comestibles, teniendo en cuenta su capacidad de pago y la demanda del producto. La ciudad está compuesta por 74.627 habitantes distribuidos en 22.772 hogares (DANE, 2019a).

Para este modelo de simulación no se tienen en cuenta como agentes los transportadores, los productores ni la planta de beneficio y desposte, respetando el alcance de dos (2) escenarios relacionados previamente. Tampoco se tienen en cuenta dentro del modelo los agentes indirectos presentes en la cadena de suministro. En el caso de los productores (ganaderos) éstos no se incluyeron en el modelo ya que solo participan como vendedores del producto (ganado en pie) en esta cadena. Adicionalmente, no hay disponibilidad de información primaria (Ver 2.2.1 Diseño y validación de modelo de simulación basado en agentes), por lo cual no se incluye en la modelación de la cadena.

Procesos:

Los tres (3) procesos a modelar son los que se contemplaron en la caracterización de la cadena de suministro (capítulo 3):

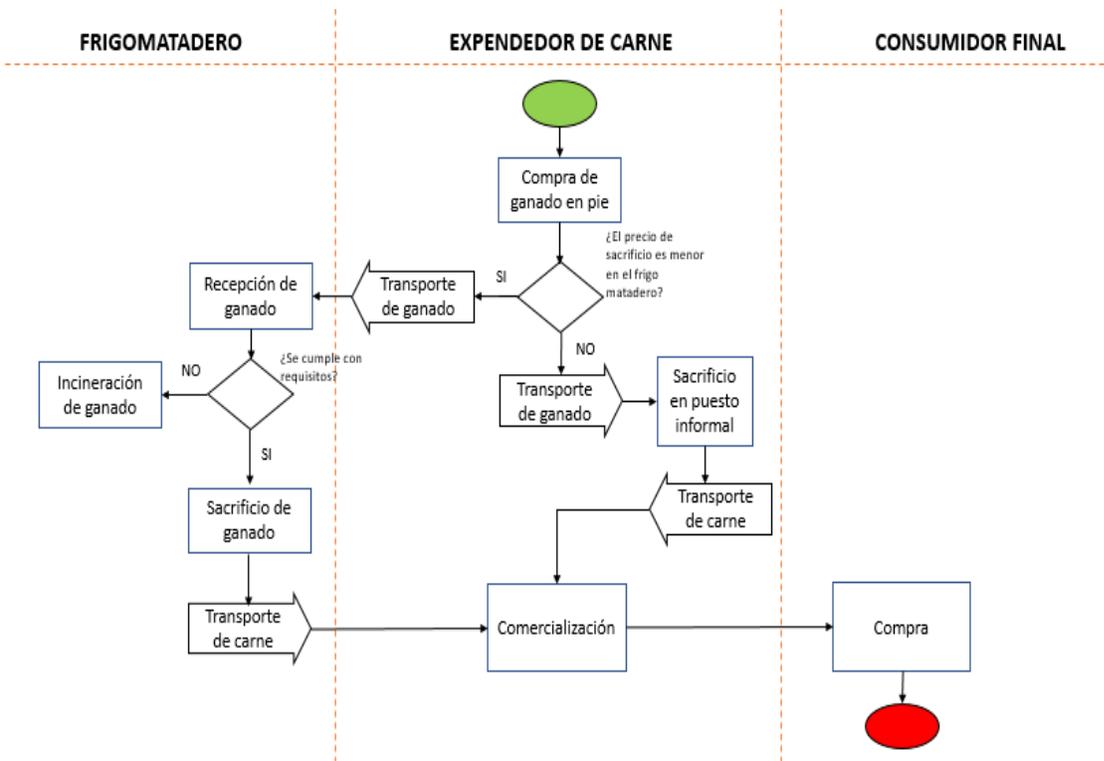
- Abastecimiento: Su alcance corresponde a la adquisición de animales vivos por parte de los expendios/distribuidores. En el modelo se visualiza como la generación de órdenes de compra cuando se alcanza el nivel mínimo de inventario en un expendio y solo incluye el agente Expendedor (no el actor Ganadero).
- Almacenamiento: Su alcance corresponde a los niveles de inventarios de los agentes involucrados en la cadena de suministro, y se busca evidenciar en primera instancia –

para el caso del cuarto frío que se encuentra a disposición en la plaza Cristo Rey – que la capacidad de almacenamiento de esta plaza se encuentra sobrepasada.

- **Distribución:** Su alcance corresponde a la comercialización de la carne en canal de los expendios a los consumidores. En el modelo se visualiza como la generación de órdenes de compra por parte de los consumidores según la demanda de estos.

Con el objetivo de representar las principales características del modelo de simulación, en la Figura 18 se presenta el diagrama que ilustra el modelo conceptual del sistema, incluyendo el papel del frigo matadero y los transportistas de los animales y productos cárnicos. Se resalta que estos últimos dos (2) agentes no son tenidos en cuenta dentro de la simulación.

Figura 18. Modelo conceptual del sistema



Fuente y elaboración propias

5.2.3 Supuestos del modelo

Con el fin de definir el alcance del modelo de simulación y la naturaleza de las decisiones que pueden tomar los agentes involucrados en la cadena de suministro simulada, a continuación se describen los supuestos utilizados en el modelo:

- La demanda de los consumidores está definida por el IC per cápita de carne reportado por el DANE y el Ministerio de Salud para la región del nororiente colombiano y la población de la ciudad de Arauca.
- Se realiza la simulación de un mercado en condiciones perfectas, es decir, sin tener en cuenta la situación de venta ilegal de carne.
- Cada paso o *tick* de la simulación representa un (1) día en el modelo.
- La simulación tiene en cuenta la carne en canal y no por remesa, es decir, no tiene en cuenta precios ni reabastecimiento por partes (pierna, solomillo, vísceras, etc.).
- Se realiza una agrupación de los once (11) expendedores de la plaza de mercado. Se está considerando la ubicación geográfica de los demás expendios de carne como aleatoria.
- Los consumidores se ubican aleatoriamente en la ciudad. La distancia presente entre los consumidores y los expendedores es considerada dentro del modelo como criterio de preferencia con respecto al lugar donde se realiza la compra del producto.
- El modelo asigna una demanda diaria a cada consumidor. Con base en esto, el consumidor genera o no órdenes de compra del producto.
- Se tiene en cuenta para los distribuidores/expendedores un stock de seguridad. Esto permite establecer un criterio de inventario mínimo para generar una orden cuando se llega a dicho nivel.
- El modelo considera las ventas perdidas cuando el consumidor tiene una demanda que supera el inventario disponible del expendedor.
- No se permiten pedidos pendientes en ningún eslabón de la cadena de suministro.
- Para el escenario de la plaza de mercado, se asume que, al ser un punto en el que confluye la comercialización de productos agropecuarios en la ciudad, el porcentaje de participación en las compras de la población es de aproximadamente 26%.

- El modelo asigna una cantidad de consumo multiplicando el consumo diario por persona (de acuerdo con los datos reportados por el DANE), por el tamaño de las familias. El tamaño está definido a partir de la distribución de familias en la ciudad de Arauca, reportado en el censo 2018 (DANE, 2019a) (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Distribución de familias en Arauca, Arauca

Número de integrantes (familia)	Porcentaje
1	18,50%
2	18,50%
3	22,01%
4	19,57%
5	11,07%
6	5,41%
7 o más	4,94%

Fuente (DANE, 2019a). Elaboración propia

- El modelo asigna un inventario inicial para cada consumidor, compuesto por el consumo diario por persona multiplicado por el tamaño de la familia (definido en el supuesto anterior) y un número aleatorio entre 1 y 3 días que establece el número de días para el cual realizará la compra.
- Se asigna una probabilidad de compra para los consumidores, con la cual se establece – para cada consumidor – si toma la decisión de comprar o no en cada tick. Esta probabilidad se asume tomando como referencia los resultados obtenidos en el trabajo en campo del proyecto, en el cual una familia promedio compra carne tres veces a la semana.
- Se asigna un inventario máximo para los distribuidores que corresponde a la suma del consumo diario de los clientes asociados a cada distribuidor. Así mismo se asigna un inventario inicial correspondiente a un porcentaje aleatorio para cada distribuidor de su inventario máximo.

5.2.4 Funcionamiento del modelo, Variables de decisión y datos utilizados

El presente modelo considera en su estado inicial la descentralización de la cadena de suministro, por lo cual los agentes toman decisiones de forma individual con base en su

desempeño propio y no hay ninguna entidad encargada de coordinar los demás agentes involucrados ni las operaciones que se llevan a cabo en la cadena de suministro.

En los escenarios que implementan el mecanismo CRP, se asume que se realiza una agremiación de expendios en la que se comparte información relevante relacionada con los requisitos de calidad solicitados por los consumidores, las cantidades de producto requeridas por cada expendio/distribuidor y los costos en los que se incurre (sacrificio, transporte y almacenamiento). Esto permite crear una relación de coordinación entre agentes que conlleva a que los mecanismos tengan éxito en su implementación. En la Figura 19 se presenta el esquema general del funcionamiento del modelo, compuesto por las siguientes funciones:

Figura 19. Funcionamiento del modelo de simulación



Fuente y elaboración propias

- **Creación y configuración de agentes:** Se establece la creación y configuración de los consumidores y expendedores, definiendo su número dentro del modelo. Para el caso de los distribuidores se definen 52 dentro del modelo, mientras que para el caso de los consumidores se definen 2277 familias (cada tortuga representa una familia) que representan el 10% de las familias en la ciudad de Arauca (22.774 en total).
- **Ubicación de agentes:** Se asigna la ubicación para ambos agentes. Para el caso del modelo inicial, once (11) expendedores tienen la misma ubicación (0,0), teniendo en

cuenta que se encuentran agrupados en la plaza de mercado Cristo Rey. En adición a lo anterior, los demás expendios que se encuentran en la ciudad tienen coordenadas aleatorias, con el fin de evaluar el comportamiento del modelo teniendo en cuenta la preferencia de los consumidores por el expendedor que se encuentre más cercano a su ubicación. Para el caso de los consumidores, la ubicación de estos se realiza de forma aleatoria.

Como se mencionó en los supuestos, en el escenario de la plaza de mercado se asume que el porcentaje de atención de la población es de aproximadamente 26%, teniendo en cuenta que esta zona suele ser un espacio de comercialización de productos agropecuarios en la ciudad.

- **Distancia consumidor – distribuidor y selección de distribuidor preferido:** Este procedimiento del consumidor consiste en establecer como preferente el expendedor que se encuentre más cerca a la ubicación actual de cada consumidor. De acuerdo con este criterio, en el modelo de simulación se representa esta preferencia como un link entre el expendedor seleccionado y el consumidor; de esta forma, cada distribuidor cuenta con un número de clientes (consumidores).
- **Configuración inventario inicial:** Se realiza este procedimiento para ambos agentes, inicializando las variables de los consumidores (tamaño e inventario inicial) y distribuidores (inventario inicial y máximo, y stock de seguridad).

Inventario inicial: Para los consumidores el modelo define este parámetro como el consumo diario de la familia multiplicado por un número aleatorio entre 0 y 3. Este número aleatorio hace referencia a la cantidad de carne que puede tener para 0, 1, 2 o 3 días. Para los distribuidores el modelo define este parámetro como un porcentaje aleatorio de su inventario máximo.

Inventario máximo: Para los distribuidores está definido por el modelo como la cantidad que se debería satisfacer si todas las familias asociadas a ellos adquirieran productos cárnicos el mismo día.

- **Comprar productos:** Este procedimiento del consumidor se activa para renovar el inventario de los consumidores teniendo en cuenta su demanda y la disponibilidad de inventario. Actualiza las variables de ventas y ventas perdidas dependiendo de la disponibilidad de inventario en cada uno de los expendedores.

En el caso de los consumidores, el modelo define para cada familia la decisión de si va a consumir en ese día el producto cárnico, dependiendo de un aleatorio que representa un valor esperado de compra de 3 veces a la semana, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la recolección de información primaria. A partir de esa decisión cada familia toma la decisión de si adquirir o no productos cárnicos a partir de la revisión de su inventario inicial. Si no es suficiente para satisfacer la necesidad, realiza la compra de productos teniendo en cuenta el consumo por familia multiplicado por un número aleatorio entre 0 y 3. Este número aleatorio hace referencia a la cantidad de carne que puede tener para 0, 1, 2 o 3 días.

- **Revisar inventario:** Este procedimiento del expendedor se activa para renovar el inventario de los expendedores de acuerdo con las órdenes generadas (si aplica). Al revisarlo, el distribuidor verifica que el inventario final no sea menor al stock de seguridad. Si este nivel es inferior, se procede a la generación de órdenes.
- **Generar órdenes:** Este procedimiento del expendedor se activa para generar las órdenes de compra de carne, de acuerdo con el stock de seguridad. Esta función busca reabastecer el nivel de inventario del distribuidor cuando el nivel de éste está por debajo del stock de seguridad.
- **Actualizar demanda y ventas:** Para el procedimiento de actualización de demanda se actualiza teniendo en cuenta el inventario y los parámetros establecidos para la demanda. Para el procedimiento de actualización de ventas, se actualiza la lista de ventas y ventas perdidas.

Variables de decisión y datos utilizados

Las variables de decisión corresponden a los niveles de inventario para los productores primarios y los expendios/distribuidores, el porcentaje de ventas por no disponibilidad del inventario, y el número de días en el que se incurre con dicho faltante.

Se modeló un sistema de revisión continua del inventario, teniendo en cuenta una política de inventario (s, S) . La política (s, S) implica la solicitud de un pedido de un tamaño suficiente para abastecer la cobertura S cada vez que la posición del stock sea inferior al punto de pedido s (López Borbón, 2007).

En este caso, el lote de pedido no es fijo sino que su tamaño se determina de forma que el nivel de inventario disponible del artículo se eleve hasta el nivel de inventario S. Se utiliza en casos en que el tamaño de los pedidos de clientes es muy variable.

La data utilizada corresponde a la información primaria obtenida a partir de la implementación de instrumentos de recopilación de información (Ver Anexo). Los datos determinísticos del modelo base se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros determinísticos de modelo de simulación

Parámetro determinístico	Valor
Número de familias	2.277
Número de personas	7.463**
Número de expendios/distribuidores	52 (total) 11 en plaza de mercado 41 en resto de ciudad
Consumo anual por persona	18,2 kg
Nivel de stock de seguridad	15% de inventario máximo

** Este valor corresponde aproximadamente al 10% de la población de la ciudad de Arauca, Arauca, reportada por el DANE (74.637 habitantes)

5.3 Modelo de Simulación

El modelo de simulación se realiza en el software *Netlogo* teniendo en cuenta un criterio de conveniencia, especialmente en términos de facilidad de programación y amplio campo de aplicación, como es el caso de esta investigación.

Diseñada por Uri Wilensky en 1999 en el Centro de Aprendizaje Conectado (CCL por sus siglas en inglés) de la Universidad de Northwestern, es una plataforma de desarrollo integrada basada en agentes, siendo un software gratuito y de código abierto que fue lanzado bajo una Licencia Pública General (GPL por sus siglas en inglés) (Northwestern University, 1999). El entorno *NetLogo* permite la exploración de fenómenos emergentes a partir de comportamientos de cada agente, y viene con una extensa biblioteca de modelos en una variedad de dominios como economía, biología, física, química, psicología y dinámica de sistemas.

En el modelo se busca modelar cómo se puede mejorar el aprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento de los expendios de carne en la ciudad de Arauca,

a partir de la implementación del mecanismo de coordinación CRP en el estado actual de la operación de comercialización de carne bovina en canal en la ciudad.

La toma de decisiones individual por parte de los consumidores en la cadena de suministro consiste en: la elección de la carnicería donde adquieren sus productos tomando como referencia la menor distancia a la que se encuentra, la cantidad de producto a adquirir por familia tomando en cuenta un número aleatorio que varía entre 1 y 3 días para definir su inventario, y la decisión de si comprar o no en el *tick* que se esté simulando de acuerdo con el nivel de inventario disponible en el momento.

Los distribuidores toman decisiones individualmente tomando como base la información que poseen sobre su nivel de inventario actual y máximo, su stock de seguridad y la cantidad vendida. Para el caso de la simulación de la plaza de mercado, el modelo tiene como salida el nivel de inventario y pérdidas obtenidas en la operación de los expendios ubicados en la plaza.

5.3.1 Verificación, validación y calibración del modelo

La verificación, validación y calibración del modelo corresponden a procesos distintos. Ormerod & Rosewell (2009) establecen al respecto las siguientes definiciones:

- Verificación: Es el proceso utilizado para determinar que la implementación de software computacional representa correctamente un modelo de proceso, lo que implica verificar que se responde a la pregunta: ¿El modelo hace lo que se cree que debe hacer?
- Validación: Es el proceso utilizado para evaluar el grado en que un modelo de computadora es una representación precisa del mundo real desde la perspectiva de las aplicaciones previstas de los modelos. De esta forma, se responde a la pregunta: ¿El modelo representa correctamente la realidad que se desea estudiar?
- Calibración: Es el proceso utilizado para para ajustar o estimar factores para datos que no están disponibles. Se busca mejorar la congruencia entre los datos entregados por el modelo de simulación y los datos reales.

A continuación se describen las actividades ejecutadas en cada uno de estos procesos:

- Para el proceso de verificación, se identificaron a lo largo de la construcción del modelo los procesos desarrollados de forma incorrecta y se verificaron las salidas del modelo comparándolos con comportamientos pasados (datos históricos) de la cadena de suministro real. Este proceso es conocido también como validación interna, y se utiliza para verificar la conformidad entre las especificaciones y el modelo implementado. En el campo de la ingeniería de software (Xiang *et al.*, 2005), corresponde al proceso que se utiliza para comparar el modelo conceptual con el modelo generado por computadora.
- Para el proceso de validación, se ejecutaron dos (2) actividades: primero se compararon los resultados del modelo con datos históricos producto de comportamientos pasados de la cadena de suministro estudiada; posteriormente se ejecutaron 1000 corridas del modelo de simulación y se construyeron intervalos de confianza para las variables utilizadas en el mismo, con el fin de evaluar la robustez del modelo y la variabilidad de parámetros a través de un análisis de sensibilidad, para determinar el efecto de éstos en el modelo y sus salidas.
- Para el proceso de calibración, se tomaron como referencia los supuestos del modelo, los datos históricos empíricos y los datos extraídos de las bases de datos del censo del DANE realizado en 2018 para esta población, para realizar la calibración de las variables utilizadas en el modelo de simulación.

5.4 Implementación

Con base en la información descrita en el capítulo 5.2, se realizó la construcción del modelo de simulación correspondiente con esta investigación. Como se mencionó previamente, se realizó en primera instancia (*escenario 1*) la simulación del estado actual de la operación en la cadena de suministro de carne bovina en canal para la ciudad de Arauca, Arauca; estableciendo especialmente las relaciones y comportamientos presentes entre dos (2) agentes de la cadena: distribuidor y consumidor.

A partir de esta primera simulación, se buscaba identificar las fallas en la capacidad logística de almacenamiento dentro de la plaza de mercado, teniendo en cuenta que estos once (11) expendios comparten almacenamiento en un cuarto frío de la plaza de mercado, cuya capacidad – con base en la información primaria obtenida – no es suficiente. Adicionalmente, debido a la afluencia de personas que se dirigen a la plaza de mercado a

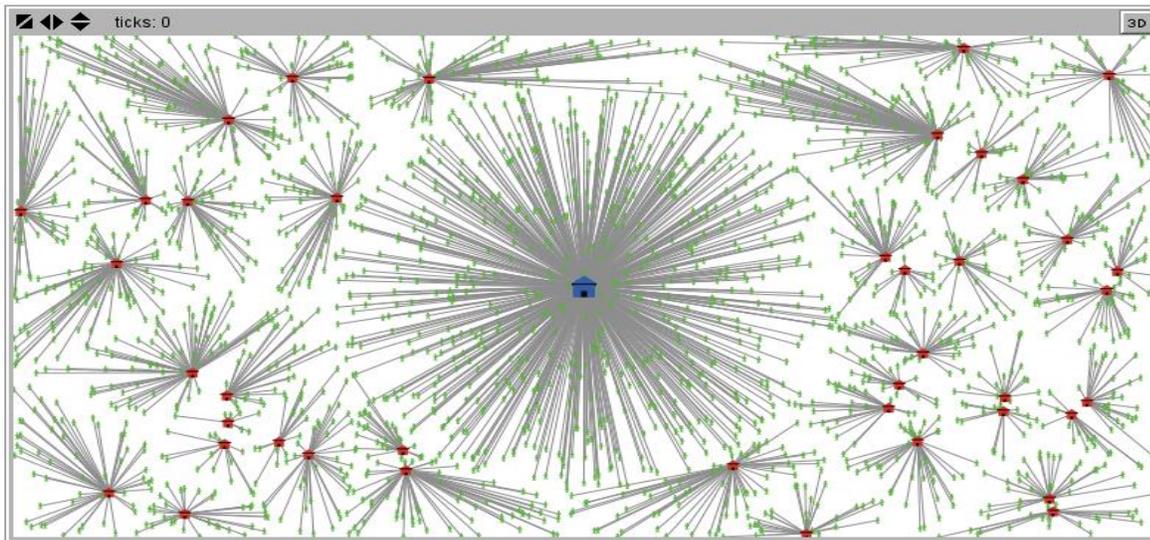
adquirir otros productos de la canasta familiar en adición a los productos cárnicos, este punto de comercialización puede llegar a atender un porcentaje considerable de la población, por lo cual se evidencia entonces el interés de investigación en esta zona.

En una segunda instancia (*escenario 2*) se implementó el mecanismo de coordinación CRP para los once (11) expendios de la plaza de mercado. Este mecanismo resulta ser adecuado para este alcance debido a la agremiación de los expendios en un punto de comercio, lo que facilita que los distribuidores no solo compartan la capacidad del cuarto frío ubicado en la plaza sino también información sobre la disponibilidad de inventario a nivel individual y la demanda que tienen de producto por parte de sus clientes.

Para el caso del modelo de simulación realizado, se busca que el proceso de reposición del inventario no se realice de forma individual (como se realiza en la operación actual) sino que se establezca una figura que gestione la generación de pedidos para la reposición de productos y la administración de inventario de forma general, dejando como minoristas a los once (11) expendios de la plaza. Con base en la demanda real y prevista del producto que se controla y analiza mediante una plataforma de intercambio electrónico de datos (EDI) como por ejemplo, Excel, se busca garantizar los niveles adecuados de inventario del sistema para disminuir el número de pedidos generados por parte de la agremiación, lo que permite aprovechar al máximo la capacidad logística de almacenamiento en la plaza, reducir costos asociados al almacenamiento y compra de productos, evitar incurrir en riesgos sanitarios y garantizar el menor nivel de pérdidas en la operación.

El modelo se implementó en la plataforma de simulación Netlogo (Ver capítulo 5.3) y se utilizó un incremento de tiempo (paso o *tick*) de un (1) día. El período de simulación en ambos momentos de la simulación fue de 30 días, con el fin de verificar los inventarios, demandas y pérdidas de los agentes involucrados. En la Figura 20 se muestra el ambiente de simulación del modelo.

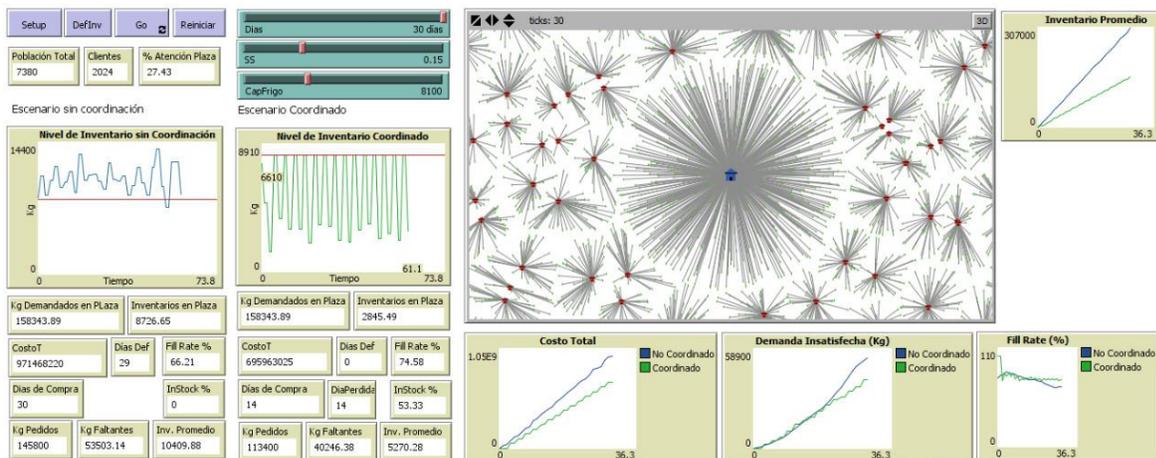
La configuración inicial muestra a los consumidores representados por pequeñas figuras de hombre (en color verde) con ubicación aleatoria dentro del ambiente de simulación. Para el caso de los expendios, se realiza la distinción entre los distribuidores que se encuentran reunidos en la plaza de mercado (identificados con color azul) y los que se encuentran distribuidos en otras zonas de la ciudad.

Figura 20. Ambiente de simulación del modelo - Netlogo

Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

Teniendo en cuenta los parámetros definidos en los capítulos 5.2.3 y 5.2.4, el modelo simuló el comportamiento de consumo de las familias y la respuesta que tuvieron los distribuidores a esta demanda de producto en un espacio temporal de treinta (30) días (*ticks*), en los dos (2) escenarios propuestos: con coordinación y sin ella.

La interfaz del modelo se presenta en la Figura 21. Incluye la presentación de los indicadores evaluados en los escenarios con y sin coordinación – en monitores – (inferior izquierda de la interfaz), y la presentación gráfica de los resultados obtenidos durante la simulación.

Figura 21. Interfaz gráfica de modelo

Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

Para cada escenario se realizó la medición de cinco (5) indicadores (ver Tabla 8) y se realizaron mil (1000) réplicas del experimento con el fin de dar validez estadística a los resultados obtenidos. De esta forma, los resultados presentados en este capítulo hacen referencia al promedio de los resultados obtenidos en las 1000 réplicas realizadas para cada escenario.

Se resalta que para las réplicas se mantuvo iguales los parámetros de población inicial, inventarios iniciales, nivel de atención por parte de la plaza de mercado y la asignación de familias a los expendios. También se aclara que los escenarios – coordinado y no coordinado – se simularon de forma simultánea para mitigar la posible variación entre los comportamientos de consumo de las familias (definidos aleatoriamente) que podrían presentarse al simularlos de forma separada.

Tabla 8. Indicadores evaluados

Indicador	Descripción
Costo total (\$)	Incluye el costo de adquisición del producto (\$ por canal) y el costo de almacenamiento
Días en que se supera la capacidad del cuarto frío (días)	Se presenta para los expendios agrupados en la plaza de mercado. Se busca evidenciar con este indicador las veces en la que la capacidad logística de almacenamiento se ve excedida
Demanda no satisfecha por falta de inventario (kg)	Mide cuántos kg se dejan de vender cuando la demanda de producto excede el inventario disponible
Fill rate (%)	Porcentaje de la demanda que se logra satisfacer (ventas realizadas / demanda)
InStock (%)	Probabilidad de que en un día cualquiera se pueda satisfacer la demanda de forma íntegra

5.4.1 Resultados – Escenario sin coordinación

El escenario de simulación sin coordinación hace referencia al caso en el que no se presenta ningún mecanismo de coordinación implementado por parte de los expendios ni los entes territoriales correspondientes. En este escenario, cada expendio toma sus decisiones de forma individual sin compartir información con otros actores, lo que lleva a incrementos de inventario y costos a nivel individual, y posibles pérdidas de inventario al ser un producto de origen perecedero.

Para el caso de los expendios agrupados en la plaza de mercado, los resultados representan el escenario actual en el que la capacidad del cuarto frío (de 18 canales) destinado al almacenamiento de canales para estos expendios se encuentra excedida y por lo tanto, la capacidad logística de almacenamiento no se encuentra aprovechada correctamente (ver Figura 22).

De acuerdo con lo anterior se evidencia que se requiere, bajo las condiciones de este escenario, mayor capacidad para el cuarto frío o la implementación de un mecanismo de coordinación entre los expendios que permita aprovechar de mejor manera la capacidad logística de almacenamiento actual.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del escenario simulado sin coordinación. Se evidencia que en promedio 28 de los 30 días simulados se supera la capacidad del cuarto frío, lo que trae como consecuencia la necesidad de adquirir otras neveras para instalar y almacenar el producto que excede la capacidad de almacenamiento, o incurrir en pérdidas de inventario al no cumplir con los requisitos sanitarios correspondientes. Es importante resaltar que el inventario que se presenta en la Figura 22 corresponde a la suma de los inventarios de cada uno de los expendios (manejo individual y sin coordinación).

Figura 22. Nivel de inventario – Plaza de mercado en escenario no coordinado



Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

Tabla 9. Resultados – Escenario no coordinado

Indicador	Resultado
Costo total (en millones de pesos)	\$ 1.034
Días en que se supera la capacidad de cuarto frío	29
Demanda no satisfecha por falta de inventario	54.352
Fill rate (%)	66,95%
InStock (%)	16,67%

Fuente y elaboración propias

De esta forma, aun cuando los inventarios sumados pueden llegar a superar la demanda de los consumidores, cada expendio presenta un porcentaje de kg sin vender al tener un inventario individual que puede no satisfacer la demanda de las familias que acceden a dicho expendio. De acuerdo con lo anterior, el indicador de *fill rate* muestra que en promedio solo el 66,95% de la demanda es satisfecha bajo este escenario no coordinado, generando una demanda promedio no satisfecha de 54.3522 kg (33,05% de la demanda total).

5.4.2 Resultados – Escenario con coordinación

El escenario de simulación con coordinación hace referencia al caso en el que los expendios que pertenecen a la plaza de mercado se agremian entre sí y mediante un mecanismo de coordinación (en este caso, la toma de decisiones conjunta con relación a sus inventarios agregados) les permite compartir información relevante sobre su nivel de demanda, y a través de un inventario común (almacenado en el cuarto frío y sujeto a dicha capacidad) les permite lograr un mejor aprovechamiento de la capacidad logística de almacenamiento en la plaza de mercado principal de la ciudad.

Para el caso de los expendios agrupados en la plaza de mercado, los resultados representan el escenario en el que la capacidad de almacenamiento está dada por el cuarto frío (18 canales) administrado inicialmente por un miembro de su agremiación (ver Figura 23), quien llevaría control sobre las cantidades demandadas por parte de los expendios y los niveles de inventario necesarios para satisfacer la demanda de los consumidores (en este caso, familias) de la ciudad. En este escenario, se cuenta con un inventario máximo de 8910 kg (18 canales) y un stock de seguridad del 15%.

Figura 23. Nivel de inventario – Plaza de mercado en escenario coordinado

Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

En la Tabla 10 se presentan los resultados del escenario simulado con coordinación. Se evidencia que aproximadamente en solo 2 de los 30 días simulados se supera la capacidad del cuarto frío. En promedio se adquiere inventario (reabastecimiento) en 15 oportunidades (de 30 días simulados).

Tabla 10. Resultados – Escenario coordinado

Indicador	Resultado
Costo total (en millones de pesos)	\$ 751
Días en que se supera la capacidad de cuarto frío	2
Demanda no satisfecha por falta de inventario	42.362
Fill rate (%)	74,25%
InStock (%)	55,52%

Fuente y elaboración propias

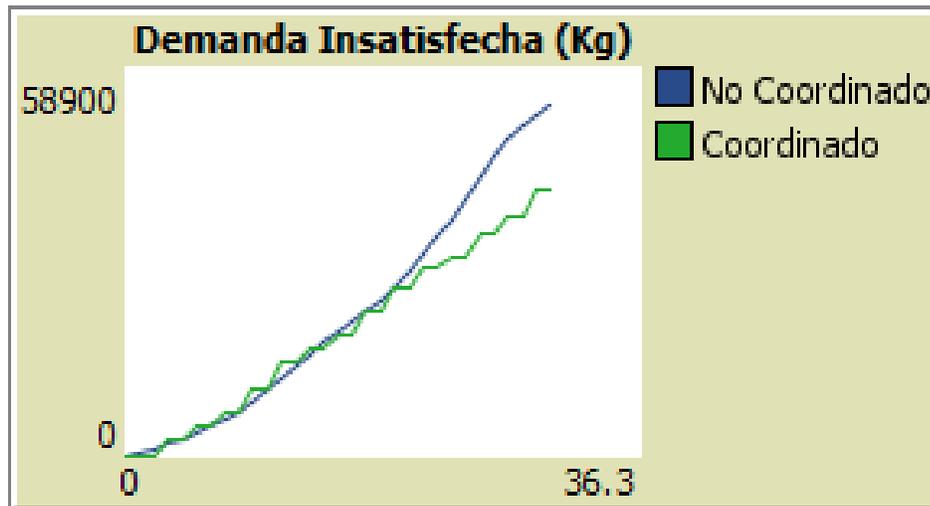
En términos de kg no vendidos por falta de inventario, se presenta un resultado de 42.362kg (un 25,76% de la demanda promedio). Este resultado se ve explicado debido a que la demanda total promedio por parte de las familias que atiende la plaza de mercado en la simulación es de 164.457,80; cifra superior a la que puede atender en las condiciones actuales. Teniendo en cuenta lo anterior, el fill rate para este escenario es del 74,25%, y el indicador InStock (probabilidad de atender la demanda íntegramente en un día cualquiera) es del 55,52%.

5.4.3 Comparación de escenarios

En la Tabla 11 se presenta la comparación de resultados entre los dos (2) escenarios simulados. Como puede evidenciarse en dicha tabla, las mejoras presentadas en el escenario coordinado permiten considerar la implementación de un mecanismo de coordinación como una buena alternativa al momento de mejorar la capacidad logística de almacenamiento en la plaza de mercado Cristo Rey de la ciudad de Arauca, Arauca, teniendo en cuenta las mejoras en el porcentaje de demanda atendida satisfactoriamente (fill rate) y los costos en los que se incurre durante la operación.

En la Figura 24 se presenta la comparación de resultados para la demanda insatisfecha en kilogramos entre los dos (2) escenarios simulados. El escenario coordinado presenta una reducción en la demanda que no puede atenderse debido a limitaciones en la capacidad de almacenamiento del cuarto frío en la plaza de mercado del 22,06% con respecto al escenario sin coordinación.

Figura 24. Demanda insatisfecha (kg) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación



En particular para este indicador, teniendo en cuenta que la capacidad actual del cuarto frío (18 canales) no es suficiente para cubrir la demanda que atiende actualmente la plaza de mercado, se realizó una estimación de la capacidad que debería tener el dicho cuarto (u otro espacio de almacenamiento) para no incurrir en kilogramos sin vender. La estimación indica que se requiere un espacio adecuado con una capacidad de almacenamiento de 27.000 kg (60 canales) para cubrir y atender satisfactoriamente la demanda establecida.

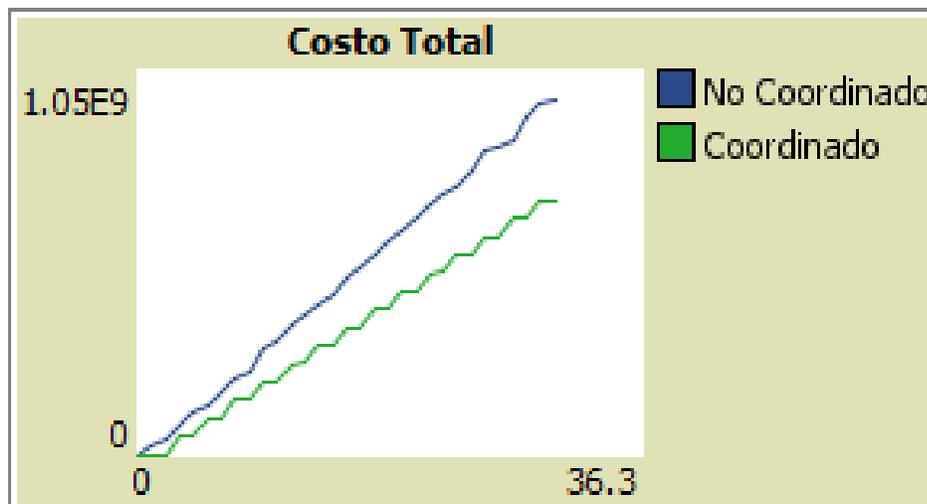
Tabla 11. Comparación de escenarios

Indicador	Escenario no coordinado				Escenario coordinado				Mejora
	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza inferior	Intervalo de confianza superior	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza inferior	Intervalo de confianza superior	
Costo total (en millones de pesos)	\$ 1.034	\$ 16	\$ 1.031	\$ 1.037	\$ 751	\$ 21	\$ 747	\$ 755	27,33%
Días en que se supera la capacidad de cuarto frío	29	1	29	30	2	1	1,8	2,1	93,10%
Demanda no satisfecha por falta de inventario	54.352	6.007	53.174	55.529	42.362	2.645	41.843	42.880	22,06%
Fill rate (%)	66,95%	3,62%	66,24%	67,66%	74,25%	1,41%	73,97%	74,53%	10,90%
InStock (%)	16,67%	0,99%	16,47%	16,86%	55,52%	1,88%	55,15%	55,89%	38,85%

Fuente y elaboración propia

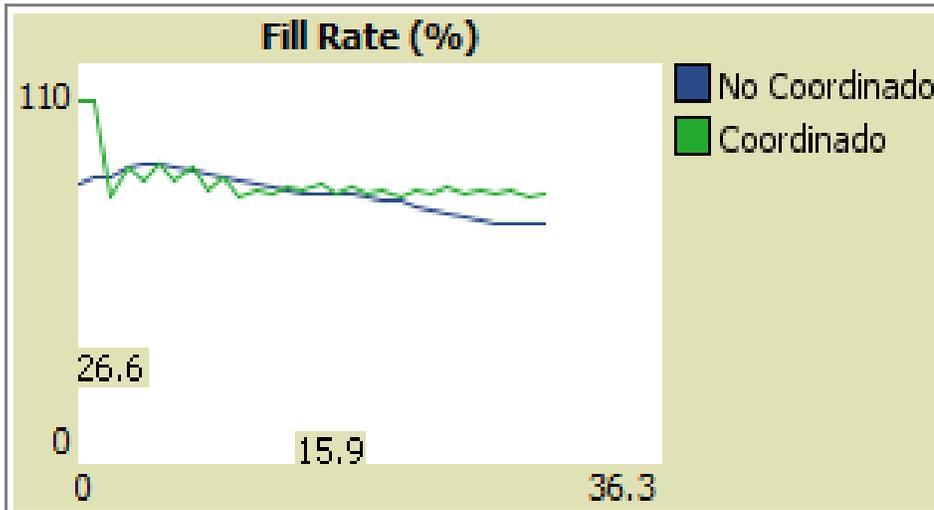
En la Figura 25 se presenta la comparación de resultados con respecto al costo total entre los dos (2) escenarios simulados. El escenario coordinado presenta una reducción en el costo total incurrido en el proceso de adquisición y mantenimiento de carne en canal del 28,16% con respecto al escenario sin coordinación. En términos del número de veces que se adquiere inventario en ambos escenarios, se evidencia que el escenario coordinado presenta una reducción de hasta un 50% con respecto al escenario sin coordinar, teniendo en cuenta que una vez implementado el mecanismo coordinado, la compra de inventario se realiza de forma consolidada para todos los expendios que se encuentran en la plaza de mercado.

Figura 25. Costo total (\$) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación



Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

En la Figura 26 se presenta la comparación de resultados con respecto al fill rate entre los dos (2) escenarios simulados. El escenario coordinado presenta una mejora del 9,98% con respecto al escenario sin coordinación. En este indicador no se evidencia una mejora remarcable debido a la dependencia de este de la capacidad de almacenamiento actual (18 canales). Sin embargo, en contraste se encuentra el indicador de InStock, el cual evalúa la probabilidad de satisfacer completamente la demanda en un día cualquiera. Con respecto a este indicador, el escenario coordinado presenta una mejora del 53,67% con respecto al escenario sin coordinación.

Figura 26. Fill rate (%) – Escenario con coordinación vs. sin coordinación

Tomado de modelo simulado en Netlogo (Northwestern University, 1999)

5.4.4 Análisis de sensibilidad

Con el fin de evaluar la robustez y la sensibilidad de las estimaciones de parámetros obtenidas a partir del modelo de simulación basado en agentes construido, se realizaron simulaciones de forma masiva, generando replicaciones numerosas que permitieran obtener los intervalos de confianza correspondientes. Para la construcción de los intervalos de confianza, se validó en primera instancia que la muestra extraída corresponde a una población con distribución de probabilidad normal a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors (Peña, 2014).

El software *Netlogo* cuenta dentro de sus funcionalidades con un analizador de comportamiento (*Behavior space*) que permite evaluar el resultado de la simulación haciendo uso de diferentes combinaciones de variables de entrada. Teniendo en cuenta que tanto la asignación inicial de familias a distribuidores como el comportamiento de consumo de los clientes es de naturaleza estocástica, el analizador de comportamiento fue utilizado para ejecutar la simulación en repetidas ocasiones y comprobar así que los resultados obtenidos no son producto de una configuración inicial consecuencia del azar de los parámetros de entrada.

Para cada combinación de nivel máximo de inventario (definido entre 4050 kg y 16200 kg) y nivel de inventario de seguridad (definido entre 15% y 30% del inventario máximo) se realizaron 1000 réplicas manteniendo los parámetros de asignación iniciales. Como

resultado, se construyeron intervalos de confianza para los costos totales y para la demanda no satisfecha en kilogramos tanto para el escenario coordinado como para el descoordinado, las tablas 12 a 14 presentan los intervalos de confianza contruidos con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 12. Intervalos de confianza para los costos totales, según nivel de inventario de seguridad

-	Costo total			
	Capacidad de Frigo matadero: 8910 kg			
	Escenario sin coordinación		Escenario con coordinación	
Stock de seguridad	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior
0.15	\$ 1.053.622.077	\$ 1.057.245.542	\$ 888.812.203	\$ 916.804.035
0.2	\$ 1.090.155.952	\$ 1.093.965.099	\$ 915.600.986	\$ 944.678.515
0.25	\$ 1.123.313.304	\$ 1.126.897.320	\$ 944.599.619	\$ 974.793.775
0.3	\$ 1.151.717.082	\$ 1.155.146.491	\$ 971.620.367	\$ 1.002.114.407

Tabla 13. Intervalos de confianza para los costos totales, según nivel de inventario máximo

-	Costo total			
	Capacidad de Frigo matadero: 8910 kg			
	Escenario sin coordinación		Escenario con coordinación	
Inventario Máximo	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior
4050	\$ 1.100.008.457	\$ 1.113.780.563	\$ 697.408.527	\$ 701.234.353
5400	\$ 1.100.464.440	\$ 1.114.459.647	\$ 899.523.377	\$ 905.339.101
6750	\$ 1.098.394.378	\$ 1.112.271.709	\$ 884.535.654	\$ 915.071.807
8910	\$ 1.098.669.410	\$ 1.113.196.589	\$ 801.754.984	\$ 824.829.871
9450	\$ 1.100.007.696	\$ 1.114.771.456	\$ 859.539.341	\$ 869.379.178
10800	\$ 1.100.365.362	\$ 1.115.647.758	\$ 971.077.195	\$ 980.869.035
12150	\$ 1.099.241.091	\$ 1.112.751.658	\$ 1.062.959.949	\$ 1.076.084.317
13500	\$ 1.099.857.052	\$ 1.113.978.015	\$ 1.067.845.863	\$ 1.088.087.255
14850	\$ 1.099.965.714	\$ 1.115.322.543	\$ 1.050.610.662	\$ 1.076.909.186
16200	\$ 1.097.724.224	\$ 1.111.852.437	\$ 1.067.946.383	\$ 1.086.379.393

Tabla 14. Intervalos de confianza para la demanda insatisfecha, según nivel de inventario máximo

	Demanda insatisfecha			
	Capacidad de Frigo matadero: 8910 kg			
	Escenario sin coordinación		Escenario con coordinación	
Inventario Máximo	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior
4050	42.801	47.052	52.233	53.144
5400	42.116	46.442	18.528	19.544
6750	42.272	46.506	19.890	24.540
8910	43.089	47.262	36.117	39.529
9450	42.584	46.671	30.662	31.851
10800	42.595	46.970	15.114	15.898
12150	43.333	47.688	3.248	4.097
13500	43.215	47.523	4.470	6.753
14850	42.467	46.860	8.556	11.542
16200	43.315	47.853	8.452	10.236

Tabla 15. Intervalos de confianza para la demanda insatisfecha, según nivel de inventario de seguridad

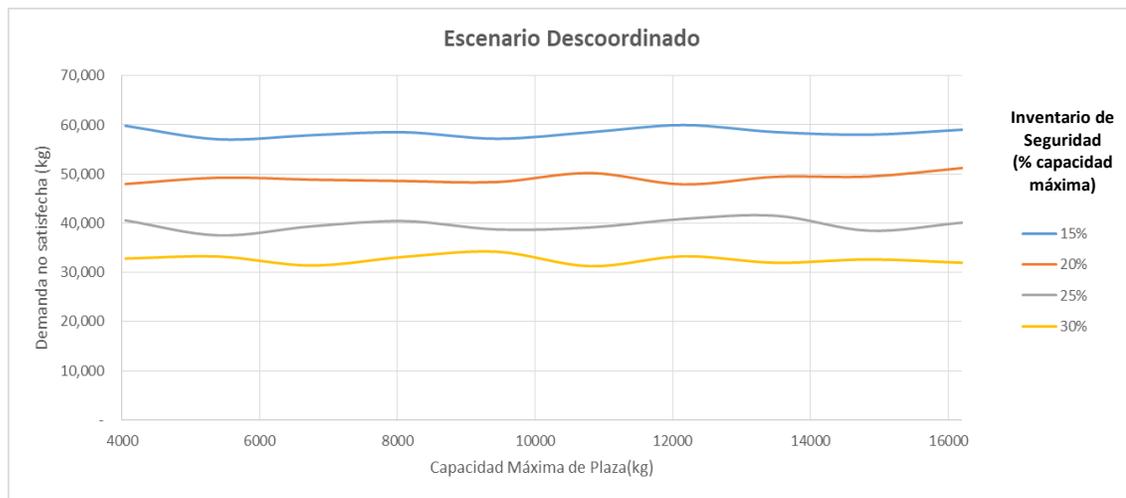
	Demanda insatisfecha			
	Capacidad de Frigo matadero: 8910 kg			
	Escenario sin coordinación		Escenario con coordinación	
Stock de seguridad	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior
0.15	57.634	59.246	24.587	28.061
0.2	48.354	49.924	20.942	24.503
0.25	38.929	40.436	16.764	20.404
0.3	31.775	33.417	13.226	16.748

En la Tabla 16 se presenta el efecto que tiene la variación del porcentaje del stock de seguridad y del inventario máximo en la demanda no satisfecha para el escenario no coordinado. Como puede observarse, la capacidad máxima del inventario no tiene ningún efecto de relevancia en la demanda no satisfecha bajo este escenario. Para el caso del porcentaje del stock de seguridad, la variación de este indicador no presenta un efecto en dicha demanda, ya que un aumento o disminución en el stock no trae como consecuencia una mayor o menor demanda no satisfecha (Ver Figura 27).

Tabla 16. Efecto de stock de seguridad y capacidad de almacenamiento en demanda no satisfecha – escenario no coordinado

Efecto en demanda no satisfecha				
Stock de seguridad vs. Capacidad máxima de inventario				
-	0.15	0.2	0.25	0.3
4050	59823	47984	40576	32815
5400	57074	49268	37547	33226
6750	57917	48866	39366	31407
8910	58501	48587	40439	33175
9450	57186	48387	38729	34208
10800	58508	50204	39147	31272
12150	59967	47908	40885	33282
13500	58531	49452	41525	31967
14850	58015	49502	38487	32649
16200	59020	51235	40122	31958

Figura 27. Sensibilidad de demanda no satisfecha – Escenario no coordinado



Fuente y elaboración propias

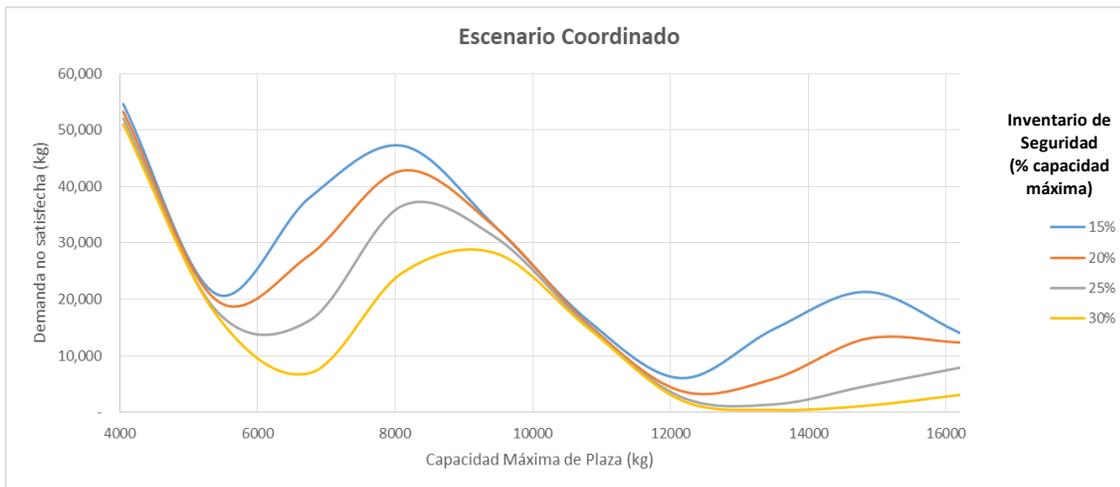
En la Tabla 17 se presenta el efecto que tiene la variación del porcentaje del stock de seguridad y del inventario máximo en la demanda no satisfecha para el escenario coordinado. Como puede observarse, tanto la variación de la capacidad máxima del inventario como el nivel de stock de inventario influyen en la demanda no satisfecha bajo este escenario (Ver Figura 28). La variación que presenta menor demanda insatisfecha corresponde a un 30% de stock de seguridad y una capacidad de almacenamiento de 13.500.

Tabla 17. Efecto de stock de seguridad y capacidad de almacenamiento en demanda no satisfecha – escenario coordinado

Efecto en demanda no satisfecha				
Stock de seguridad vs. Capacidad máxima de inventario				
-	0.15	0.2	0.25	0.3
4050	54604	53232	52077	51033
5400	20953	19883	18012	17296
6750	37953	27797	16212	6899
8910	47232	42803	36570	24688
9450	32934	32832	31049	28210
10800	16246	15620	15233	14926
12150	6039	3768	2725	2158
13500	14732	5913	1387	412
14850	21324	13034	4673	1165
16200	14052	12345	7899	3080

Fuente y elaboración propias

Figura 28. Sensibilidad de demanda no satisfecha – Escenario coordinado



Fuente y elaboración propias

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación corresponde a la necesidad de proponer un mecanismo de coordinación que permitiera aprovechar la capacidad logística de almacenamiento en la cadena de suministro cárnica bovina para el municipio de Arauca, a partir de la necesidad de brindar una operación que tuviese una rápida capacidad de respuesta y manejo adecuado de alimentos pecuarios bovinos para atender a la población, minimizando el riesgo de salubridad y desabastecimiento en la ciudad, mejorando el rendimiento operacional de la cadena y fortaleciendo las relaciones entre los actores involucrados. Esto contrasta los resultados de la investigación realizada por Gligor & Holcomb (2014), quienes indican que la implementación de relaciones de coordinación tiene el potencial de reducir los costos generales de la empresa y conducir a mejores relaciones con los clientes y la entrega de un valor superior para el cliente.

En respuesta a la pregunta de investigación, implementar el mecanismo de coordinación CRP modificado de acuerdo con las necesidades y capacidades de la cadena estudiada, permite aprovechar la capacidad logística de almacenamiento al administrar el inventario del cuarto frío de la plaza de mercado de forma coordinada, a pesar de su limitación espacial, reduciendo costos asociados a pérdidas de alimentos e insatisfacción del cliente.

Se identificaron las problemáticas de la cadena de suministro estudiada a partir de la caracterización de la misma, dentro de las que se encuentran: la ilegalidad en el sacrificio bovino y el abigeato, así como la intermediación entre eslabones de la cadena por falta de coordinación entre los actores involucrados. Se identificó la capacidad de almacenamiento como la capacidad logística crítica debido a la necesidad de gestionar el espacio disponible del cuarto frío conjunto establecido en la plaza de mercado Cristo Rey. Este cuarto frío, ya excedido en capacidad, atiende entre el 40 y el 60 por ciento de la población del municipio en un día de mercado. Realizando una estimación de la capacidad que debería tener el

cuarto frío para evitar la demanda no atendida, se concluyó que debería contar con una capacidad de almacenamiento de 27.000 kg (60 canales).

Esta investigación constituye un avance en el estado del arte teniendo en cuenta la brecha identificada relacionada con la implementación de mecanismos de coordinación para la mejora de capacidades logísticas en cadenas de suministro agroalimentarias (Breiter *et al.*, 2009), especialmente en la profundización de los requerimientos y etapas necesarias para la implementación de mecanismos de toma de decisiones conjuntas como el CRP (Ruiz *et al.*, 2015). De igual forma, esta temática de investigación da respuesta a la necesidad presente en la cadena de suministro bajo estudio, ya que la limitación de la capacidad logística de almacenamiento genera ineficiencias principalmente en términos de costos asociados a la operación y posibles incumplimientos en las condiciones de seguridad alimentaria.

Se identificó que la cadena de suministro corresponde a una de tipo descentralizada, donde no se evidencia la implementación de algún mecanismo de coordinación. Por esta razón, las decisiones que toman los distribuidores se dan de forma individual y no se comparte información sobre demandas de inventario, stocks de seguridad ni demandas no satisfechas. Se identificaron adicionalmente falencias relacionadas con el cumplimiento de la reglamentación vigente, específicamente en cuanto a los requisitos que deben cumplirse al realizar el transporte de productos cárnicos y a la comercialización de productos cárnicos de forma ilegal en la frontera con el país.

Con respecto al mecanismo de coordinación CRP, se resalta que este mecanismo debe ajustarse de acuerdo con las características, capacidades y limitaciones de la cadena, principalmente asociadas a los medios tecnológicos y los altos costos de implementación de un programa CRP de licencia comercial. En lo que respecta a la implementación general de mecanismos de coordinación, a partir de la revisión de literatura es posible identificar que es difícil lograr un intercambio de información a lo largo de toda la cadena de suministro. Una de las razones es que, en una cadena de suministro compleja y dinámica, muchas organizaciones tienen reservas al momento de compartir su información con otras compañías o no cuentan con sistemas de información para consignarla. Así mismo, incluso en situaciones donde las empresas están dispuestas a intercambiar información, problemas de compatibilidad entre los diversos sistemas de información existentes pueden limitar esta práctica. La tendencia de personalizar los sistemas de información de acuerdo

con los requerimientos particulares de cada organización genera disparidades en cuanto a la configuración de los sistemas, lo que dificulta la integración de estos para obtener información útil y estandarizada.

Por esta razón, una cadena de suministro exitosa requiere el despliegue de enfoques más avanzados y coordinados que soporten las actividades de intercambio de información dentro de la empresa y a lo largo de la cadena. También surge la necesidad de elaborar planes de implementación de mecanismos de coordinación en todos los niveles de la cadena, buscando mejorar el desempeño global de la cadena y no solo a nivel local, como refiere Zhao *et al.* (2017).

En términos del uso de herramientas de simulación, se destaca la importancia de la caracterización y parametrización de los agentes involucrados al momento de realizar el modelo de simulación, ya que ello facilita su construcción (Smajgl & Barreteau, 2014)s. Un modelo de simulación permite evaluar escenarios que en la vida real requerirían de esfuerzos en tiempo, cambio de operaciones, dinero y otros recursos, lo cual resulta ser muy beneficioso antes de dar paso a una implementación exitosa. Para la construcción de un modelo de simulación es importante obtener la información más detallada posible, con el fin de recrear una representación lo más cercana a la realidad.

6.2 Recomendaciones

A partir de la revisión de literatura y los hallazgos identificados a lo largo de la investigación, a continuación se presentan las recomendaciones para la aplicación en el área de estudio y el desarrollo de trabajos futuros:

- El modelo de simulación realizado en este trabajo tiene en cuenta los productos cárnicos como una unidad general, por lo cual no realiza una desagregación de los productos según su tipología ni variación de precio. Así mismo, solo tiene en cuenta la carne bovina, por lo cual sería relevante evaluar otros escenarios en los que se incluyen otros tipos de carne para evaluar los impactos de la diversificación de productos en el manejo de inventario y el aprovechamiento de capacidades, así como el impacto de los precios de cada tipo de corte.
- Así mismo, se puede incluir en el escenario de simulación agentes como el productor de ganado, los transportistas involucrados en el movimiento de animales y carne en canal, y las empresas procesadoras de estos alimentos, para evaluar el impacto de

estas interacciones en otras capacidades logísticas de relevancia dentro de la cadena de suministro (ejemplo, capacidad de manejo de información), así como otros mecanismos de coordinación, incluyendo la posibilidad de compartir riesgos y utilidades a lo largo de la cadena.

- De igual forma, se recomienda evaluar en futuros escenarios la inclusión de mecanismos de coordinación que incluyan entidades públicas, para examinar la probabilidad de éxito al implementar un mecanismo de coordinación o iniciativa similar cuando estas entidades incentivan o promueven estas actividades.
- En cuanto a la gestión de la cadena de suministro, la implementación de la trazabilidad surge como una herramienta de gran utilidad para mejorar las condiciones sanitarias y de inocuidad de los alimentos consumidos por la población. En consecuencia, los países exportadores (como Colombia) interesados en abrir mercado a sus productos deben adoptar nuevos estándares dentro de su ciclo productivo. La trazabilidad es una buena herramienta para llevar el control de los inventarios, las prácticas sanitarias, sus movimientos y los niveles de productividad. Así mismo, es una herramienta útil para posicionar la producción dentro de estándares más altos de calidad pudiendo llegar a mercados más exigentes.
- La gestión de la cadena de suministro ofrece a la industria de la carne de vacuno oportunidades para enfrentar la presión de la disminución de la demanda y la competencia de las industrias porcina y avícola. Una mejor coordinación y coordinación reducirá el costo de la carne asociada con la producción, el procesamiento y la distribución en la cadena de valor. La industria debe combinar esfuerzos concertados de todos los segmentos para mejorar la coordinación y la coordinación, teniendo en cuenta la naturaleza de los productos de carne y las funciones de la cadena de suministro.
- Finalmente, aunque los resultados obtenidos en esta investigación resaltan los efectos positivos asociados con la coordinación en la mejora de las capacidades logísticas en una cadena de suministro, la investigación futura también debe examinar los posibles efectos negativos, como el estudio de Orjuela Castro *et al.* (2016). Es posible que coordinar demasiado una cadena en realidad tenga consecuencias negativas desde una perspectiva relacional y operativa. De esta forma, explorar el "lado oscuro" asociado con altos niveles de coordinación complementaría la investigación actual.

Bibliografía

- AbuKhoua, E., Al-Jaroodi, J., & Mohamed, S. L.-M. (2014). Simulation and Modeling Efforts to Support Decision Making in Healthcare Supply Chain Management. *The Scientific World Journal*, 1–16.
- AECOC. (2019). *Tendencias y retos en el sector cárnico*.
- Agami, N., Saleh, M., & Rasmy, M. (2012). Supply Chain Performance Measurement Approaches: Review and Classification. *Journal of Organizational Management Studies*, 2012, 20.
- Agustin, W., Dania, P., Xing, K., & Amer, Y. (2016). Collaboration and Sustainable Agri-Food Supply Chain: a Literature Review. *Bali International Seminar on Science and Technology (BISSTECH) 2015, 02004*(August). <https://doi.org/10.1051/mateconf/20165802004>
- Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009). Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.014>
- Angerhofer, B. J., & Angelides, M. C. (2006). A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decision Support Systems*, 42(1), 283–301. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.12.005>
- Angulo, A., Nachtmann, H., & Waller, M. A. (2004). SUPPLY CHAIN INFORMATION SHARING IN A VENDOR MANAGED INVENTORY PARTNERSHIP. *Journal of Business Logistics*, 25(1), 101–120. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2004.tb00171.x>
- Aramyan, L., Ondersteijn, C., Kooten, O. V. A. N., & Lansink, A. O. (2006). PERFORMANCE INDICATORS IN AGRI-FOOD PRODUCTION CHAINS. *Quantifying the Agri-Food Supply Chain*, 47–64.
- Arango Serna, M. D., Adarme Jaimes, W., & Zapata Cortes, J. A. (2010). Gestión cadena de abastecimiento - logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.1480>
- Ari Kuncoro, V., Hati, S. R. H., & Chalid, D. A. (2016). *Enhancing Business Stability Through Collaboration*.
- Arshinder, K., Kanda, A., & Deshmukh, S. G. (2011a). A Review on Supply Chain Coordination: Coordination Mechanisms, Managing Uncertainty and Research Directions. In *Supply Chain Coordination under Uncertainty* (pp. 39–82). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19257-9_3
- Arshinder, K., Kanda, A., & Deshmukh, S. G. (2011b). Supply Chain Coordination under Uncertainty. In *Supply Chain Coordination under Uncertainty*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-19257-9>

- Azevedo, S. G., Carvalho, H., & Cruz Machado, V. (2011). The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 850–871. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.017>
- Bagher, A. N. (2018). *The effect of supply chain capabilities on performance of food companies*. 2(4).
- Bailey, K., & Francis, M. (2008). Managing information flows for improved value chain performance. *International Journal of Production Economics*, 111(1), 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.017>
- Belalia, Z., & Ghaiti, F. (2016). The value of Vendor Managed Inventory in an autocorrelated demand environment. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 668–673. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.787>
- Beshara, S., S., K., El-Kilany, & Galal, N. M. (2012). Simulation of Agri-Food Supply Chains. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 6(5), 899–902.
- Bora, H. D., & Krejci, C. C. (2015). An agent-based model of supplier management in regional food systems (WIP). *Simulation Series*, 47(10), 514–519.
- Breiter, A., Hegmanns, T., Hellingrath, B., & Spinler, S. (2009). Coordination in Supply Chain Management - Review and Identification of Directions for Future Research. In *Logistik Management* (Vol. 1, pp. 39–82). <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2362-2>
- Brusset, X., & Teller, C. (2017). Supply chain capabilities, risks, and resilience. *International Journal of Production Economics*, 184, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.008>
- Burer, S., Jones, P. C., & Lowe, T. J. (2008). Coordinating the supply chain in the agricultural seed industry. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 354–377. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.015>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2017). *El sector cárnico y la entrada en vigencia del Decreto 1500 de 2007*. Noticias 2017. <https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-sector-agricola-y-agroindustrial/Noticias-2017/El-sector-carnico-y-la-entrada-en-vigencia-del-Decreto-1500-de-2007>
- Cao, M., & Zhang, Q. (2011). Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*, 29(3), 163–180. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.12.008>
- Carbone, A. (2017). Food supply chains: coordination governance and other shaping forces. *Agricultural and Food Economics*, 5(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0071-3>
- Cárdenas Barbosa, I. D. (2013). *Coordinación de agentes en cadenas de suministro descentralizadas, caso de estudio sector panificador, Palmira, Valle*. 99. <http://www.bdigital.unal.edu.co/46285/>
- Castrellón-Torres, J. P., García-Alcaraz, J. L., & Adarme-Jaimes, W. (2015). Consolidación de carga como mecanismo de coordinación en cadenas de suministro de perecederos: Estudio de simulación. *DYNA (Colombia)*, 82(189), 233–242. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48551>
- Castrellón Torres, J. P. (2014). *Estrategias para la consolidación de carga perecedera*. 151. <http://www.bdigital.unal.edu.co/47160/>

- CEPAL, FAO, & IICA. (2017). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural de las Américas 2017-2018*. <http://www.fao.org/3/i8048es/l8048ES.pdf>
- Chakraborty, A., Chatterjee, A. K., & Mateen, A. (2015). A vendor-managed inventory scheme as a supply chain coordination mechanism. *International Journal of Production Research*, 53(1), 13–24. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.921350>
- Chavez, J. H., & Torres-Rabello, R. (2012). *Supply Chain Management: Logrando Ventajas Competitivas a través de la Gestión de la Cadena de Suministro*. Ril editores.
- Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: The constructs and measurements. *Journal of Operations Management*, 22(2), 119–150. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2003.12.007>
- Chen, J., & Bell, P. C. (2011). Coordinating a decentralized supply chain with customer returns and price-dependent stochastic demand using a buyback policy. *European Journal of Operational Research*, 212(2), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.01.036>
- Chiacchio, F., Pennisi, M., Russo, G., Motta, S., & Pappalardo, F. (2014). Agent-based modeling of the immune system: NetLogo, a promising framework. In *BioMed Research International* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2014/907171>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2001). *Supply Chain Management--Strategy, Planning and Operation*.
- Christopher, M. (2005). *Logistics & Supply Chain Management*.
- Cifuentes, N. R., Méndez, J. S., & Orjuela, J. (2012). Consecuencias del Efecto Bullwhip al implementar la estructura Vendor Managed Inventory. *10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, 10. <https://docplayer.es/6409762-Consecuencias-del-efecto-bullwhip-al-implementar-la-estructura-vendor-managed-inventory.html>
- Claassen, M. J. T., Van Weele, A. J., & Van Raaij, E. M. (2008). Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI). *Supply Chain Management*, 13(6), 406–414. <https://doi.org/10.1108/13598540810905660>
- Clark, T., & Lee, H. G. (2000). Performance, interdependence and coordination in business-to-business electronic commerce and supply chain management. *INFORMATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT*, 1(1/2), 85–105. <https://doi.org/10.1023/A:1019108621684>
- Congreso de la República. (1997). *Ley 395 de 1997*. Por La Cual Se Declara de Interés Social Nacional y Como Prioridad Sanitaria La Erradicación de La Fiebre Aftosa En Todo El Territorio Colombiano y Se Dictan Otras Medidas Encaminadas a Este Fin". <https://www.ica.gov.co/getattachment/e73275d2-b626-458b-98f1-fea3d80ef95f/395.aspx>
- CONtexto ganadero. (2018). *Informe sobre el sacrificio legal de ganado en Colombia en 2018*. Noticias Principales Sobre Ganadería y Agricultura En Colombia. <https://www.contextoganadero.com/economia/por-que-esta-estancado-el-sacrificio-formal-de-ganado-bovino>
- Contraloría General de la República. (2018). *ESTUDIO SECTORIAL SOBRE LA PRODUCCIÓN CÁRNICA BOVINA EN LA REGIÓN CARIBE*.
- Correa Espinal, A. A., Gómez Montoya, R. A., & Cano Arenas, J. A. (2010). GESTIÓN DE

ALMACENES Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC). *ESTUDIOS GERENCIALES*, 26(117), 145–171.

- Council of Supply Chain Management Professionals. (2019). *Supply Chain Management*. <https://cscmp.org/>
- Craven, T., Mittal, A., & Krejci, C. C. (2016). Effective Coordination in Regional Food Supply Chains. *Industrial and Systems Engineering Conference*. http://lib.dr.iastate.edu/imse_conf/104http://lib.dr.iastate.edu/imse_conf/104
- Creswell, J. W. (2009). Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Approaches. In *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. <https://doi.org/10.2307/1523157>
- DANE. (2016a). *Boletín técnico Cuentas Departamentales*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2015/Bol_dptal_2017preliminar.pdf
- DANE. (2016b). *Ganadería bovina para la producción de carne en Colombia, bajo las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG)*. Boletín Mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_feb_2016.pdf
- DANE. (2019a). *¿Cómo vivimos? Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/como_vivimos
- DANE. (2019b). *Encuesta anual manufacturera (EAM)*.
- Delgado, C., & Castelo, B. M. (2013). Supply Chain Management. *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*, 2349–2357.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2019). *Beef Cattle & Meat Production*. National Agricultural Library. <https://www.nal.usda.gov/topics/beef-cattle-meat-production>
- Departamento Nacional de Planeación. (2005). CONPES 3376. *Política Sanitaria y de Inocuidad Para Las Cadenas de La Carne de Ganado Bovino y de La Leche*.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Cadena productiva de Carnes y Productos Cárnicos Estructura, Comercio Internacional y Protección*.
- Duan, Q., & Warren Liao, T. (2013). Optimization of replenishment policies for decentralized and centralized capacitated supply chains under various demands. *International Journal of Production Economics*, 142(1), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.11.004>
- Dyer, J. H., & Hatch, N. W. (2006). Relation-specific capabilities and barriers to knowledge transfers: creating advantage through network relationships. *Strategic Management Journal*, 27(8), 701–719. <https://doi.org/10.1002/smj.543>
- Eksoz, C., Mansouri, S. A., & Bourlakis, M. (2014). Collaborative forecasting in the food supply chain: A conceptual framework. In *International Journal of Production Economics* (Vol. 158, pp. 120–135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.07.031>
- Fang, D., & Puqing, W. (2015). Simulating the Structural Evolution in Agri-food Supply Chain. An Agent-based Model. *7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*.

- FAO. (1993). *ALMACENAMIENTO NO REFRIGERADO O REFRIGERADO DE LA CARNE FRESCA Y LOS SUBPRODUCTOS COMESTIBLES*. Estructura y Funcionamiento de Mataderos Medianos En Países En Desarrollo. <http://www.fao.org/3/T0566S/T0566S12.htm>
- FAO. (2019a). *Carne y productos cárnicos*. Producción y Sanidad Animal.
- FAO. (2019b). *Perspectivas Alimentarias - Resúmenes de Mercado*. <http://www.fao.org/%0Ahttp://www.fao.org/docrep/019/i3473s/i3473s.pdf>
- FEDEGAN. (2017). *Balance del sector ganadero colombiano en 2017*. <http://www.contextoganadero.com/economia/conozca-el-censo-pecuario-nacional-del-ica-2017>
- FEDEGAN. (2018). Ganadería Colombiana Hoja de ruta 2018 - 2022. In *Hoja De Ruta 2018 - 2022*. http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf
- FEDEGAN. (2019a). *¿A qué países exporta Colombia su carne bovina?* Contexto Ganadero. <https://www.fedegan.org.co/noticias/que-paises-exporta-colombia-su-carne-bovina>
- FEDEGAN. (2019b). *Costo de producción kilo en pie*. Costos de Producción. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/costos-produccion>
- FEDEGAN. (2019c). *Producción mundial de carne de bovino*. Producción. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>
- FINAGRO. (2019). *Ganadería bovina*. Ganadería Bovina. <https://www.finagro.com.co/article/ganaderia-bovina>
- Fischer, C., & Hartman, M. (2010). *Agri-food chain relationships*. https://www.researchgate.net/publication/292470503_Agri-food_chain_relationships
- Fritz, M., & Schiefer, G. (2008). Food chain management for sustainable food system development: a European research agenda. *Agribusiness*, 24(4), 440–452. <https://doi.org/10.1002/agr.20172>
- Galápago agroconsultores. (2018). *LA GANADERÍA CÁRNICA BOVINA EN COLOMBIA. CIFRAS Y RETOS*. <https://www.galapagoagro.co/single-post/2018/10/18/LA-GANADERIA-CARNICA-BOVINA-EN-COLOMBIA-CIFRAS-Y-RETOS>
- Ganeshkumar, C., Pachayappan, M., & Madanmohan, G. (2017). Agri-food Supply Chain Management: Literature Review. *Intelligent Information Management*, 09(02), 68–96. <https://doi.org/10.4236/iim.2017.92004>
- Ghasemi, P., Khalili-Damghani, K., Hafezolkotob, A., & Raissi, S. (2017). A decentralized supply chain planning model: a case study of hardboard industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(9–12), 3813–3836. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0802-3>
- Giannoccaro, I. (2018). Centralized vs. decentralized supply chains: The importance of decision maker's cognitive ability and resistance to change. *Industrial Marketing Management*, 73(December 2017), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.01.034>
- Giannoccaro, I., & Pontrandolfo, P. (2004). Supply chain coordination by revenue sharing contracts. *International Journal of Production Economics*, 89(2), 131–139. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00047-1)

- Gilbert, N. (2007). Agent-Based Models. *Agent-Based Models (Quantitative Applications in the Social Sciences)*, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-080812-191558>
- Gligor, David M., & Holcomb, M. C. (2012). Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: A systematic literature review. *Supply Chain Management*, 17(4), 438–453. <https://doi.org/10.1108/13598541211246594>
- Gligor, David Marius, & Holcomb, M. C. (2014). Antecedents and consequences of integrating logistics capabilities across the supply chain. *Transportation Journal*, 53(2), 211–234. <https://doi.org/10.1353/tnp.2014.0014>
- Gobernación de Arauca. (2016). *Plan de Desarrollo Departamental Arauca 2016 - 2019*.
- Google Maps. (2019). *Mapa - Ciudad de Arauca*.
- Grean, M., & Shaw, M. J. (2005). Supply-Chain Partnership between P&G and Wal-Mart. In *E-Business Management* (pp. 155–171). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47548-0_8
- Grekova, K., Calantone, R. J., Bremmers, H. J., Trienekens, J. H., & Omta, S. W. F. (2016). How environmental collaboration with suppliers and customers influences firm performance: Evidence from Dutch food and beverage processors. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1861–1871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.022>
- Große-Brockhoff, M., Klumpp, M., & Krome, D. (2011). Logistics capacity management – A theoretical review and applications to outbound logistics. *Schriftenreihe Logistikforschung*.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2007). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 71–87.
- Haehling Von Lanzanauer, C., & Piltz-Glombik, K. (2002). Coordinating supply chain decisions: An optimization model. *OR Spectrum*, 24(1), 59–78. <https://doi.org/10.1007/s291-002-8200-3>
- Hagelaar, G. J. L. ., & Van der Vorst, J. G. A. J. (2001). Environmental supply chain management: using life cycle assessment to structure supply chains. *The International Food and Agribusiness Management Review*, 4(4), 399–412.
- Haider, S. N., & Siddiqui, D. A. (2018). Impact of Logistics Capabilities on Mitigation of Supply Chain Uncertainty and Risk in Courier Firms in Pakistan. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3285075>
- Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Perdana, T. (2015). Agri-food supply chain coordination: the state-of-the-art and recent developments. *Logistics Research*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12159-015-0125-4>
- Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., & Melnyk, S. a. (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 141, 70–87. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00261-2)
- Hervani, A. a., Helms, M. M., & Sarkis, J. (2005). Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, 12(4), 330–353. <https://doi.org/10.1108/14635770510609015>
- Higgins, A. J., Miller, C. J., Archer, A. A., Ton, T., Fletcher, C. S., & McAllister, R. R. J. (2010). Challenges of operations research practice in agricultural value supply chain. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 964–973.

- Hmida, F. Ben, Séguy, A., & Dupas, R. (2012). MultiAgent Simulation and Evaluation of Supply Chain Control Architectures. *{IFAC} Proceedings Volumes*, 45(6), 781–786. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00218>
- Hong, J., Zhang, Y., & Ding, M. (2018). Sustainable supply chain management practices , supply chain dynamic capabilities , and enterprise performance. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3508–3519. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.093>
- Huang, C.-J., & Huang, K.-P. (2012). The logistics capabilities scale for logistics service providers. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 33(1), 135–148. <https://doi.org/10.1080/02522667.2012.10700139>
- Hudnurkar, M., & Rathod, U. (2012). Collaborative supply chain: Insights from simulation. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 3(2), 122–144. <https://doi.org/10.1007/s13198-012-0114-9>
- ICA. (2007). *Resolución 2341 de 2007*. Por La Cual Se Reglamentan Las Condiciones Sanitarias y de Inocuidad En La Producción Primaria de Ganado Bovino y Bufalino Destinado Al Sacrificio Para Consumo Humano.
- ICA. (2019a). *CENSO PECUARIO 2018*. CENSO PECUARIO.
- ICA. (2019b). *Programa IdentifICA*. Normas IdenifICA. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/identifica/avances.aspx>
- INVIMA. (2020). *PLANTAS DE BENEFICIO Y DESPOSTE DE LA ESPECIE BOVINA*. Ministerio de Salud. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/426809/PLANTAS-DE-BENEFICIO-DE-BOVINOS-PORCINOS-AVES-DESPRESE-Y-DESPOSTE-FEBRERO-2020.pdf>
- Jawaad, M., & Zafar, S. (2020). Improving sustainable development and firm performance in emerging economies by implementing green supply chain activities. *Sustainable Development*, 28(1), 25–38. <https://doi.org/10.1002/sd.1962>
- Joong-Kun Cho, J., Ozment, J., & Sink, H. (2008). Logistics capability, logistics outsourcing and firm performance in an e-commerce market. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 336–359. <https://doi.org/10.1108/09600030810882825>
- Jung, H., Frank Chen, F., & Jeong, B. (2008). Decentralized supply chain planning framework for third party logistics partnership. *Computers and Industrial Engineering*, 55(2), 348–364. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.017>
- Kähkönen, A.-K., Lintukangas, K., & Hallikas, J. (2018). The impact of total costs and strategic supply on risk management in project business. *International Journal of Procurement Management*, 11(2), 153–171.
- King, R. P., & Phumpiu, P. F. (1996). Reengineering the Food Supply Chain: The ECR Initiative in the Grocery Industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 78(5), 1181–1186. <https://doi.org/10.2307/1243488>
- Kopanaki, E., & Smithson, S. (2003). The impact of a Continuous Replenishment Program on Organisational Flexibility. In *Towards the Knowledge Society* (Vol. 105, pp. 15–29). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-35617-4>
- Krishnan, H., Kapuscinski, R., & Butz, D. A. (2004). Coordinating Contracts for Decentralized Supply Chains with Retailer Promotional Effort. In *Management Science* (Vol. 50, Issue 1, pp. 48–63). INFORMS Inst.for Operations Res.and the Management Sciences. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0154>

- Lai, K., Wong, C. W. Y., & Cheng, T. C. E. (2010). Bundling digitized logistics activities and its performance implications. *Industrial Marketing Management*, 39(2), 273–286.
- Lambert, D. (2006). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*.
- Larson, P. D., & Rogers, D. S. (1998). Supply Chain Management: Definition, Growth and Approaches. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6(4), 1–5. <https://doi.org/10.1080/10696679.1998.11501805>
- Lee, S., & Kumara, S. (2007). Decentralized supply chain coordination through auction markets: Dynamic lot-sizing in distribution networks. *International Journal of Production Research*, 45(20), 4715–4733. <https://doi.org/10.1080/00207540600844050>
- Li, G., Wang, Y., Huang, D., & Yang, H. (2017). Water-energy-food nexus in urban sustainable development: an agent-based model. *International Journal of Crowd Science*, 1(2), 121–132. <https://doi.org/10.1108/ijcs-08-2017-0014>
- Li, X. (2006). *Multi-agent based modeling and analysis of collaboration strategies in supply chain*. <http://ro.uow.edu.au/theses/623/>
- López Borbón, J. H. (2007). *Control Optimo de Sistemas de Inventarios con Costo Promedio* [Universidad de Sonora]. <https://posgrado.mat.uson.mx/tesis/maestria/joaquin-lopez-borbon.pdf>
- Lu, C. S., & Yang, C. C. (2010). Logistics service capabilities and firm performance of international distribution center operators. *Service Industries Journal*, 30(2), 281–298. <https://doi.org/10.1080/02642060802123392>
- Luo, J, Chong, A. Y. L., Ngai, E. W. T., & Liu, M. J. (2015). Green Supply Chain Collaboration implementation in China: The mediating role of guanxi (Reprinted from *Journal of Transportation Research*, vol 71, pg 98-110). *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 74, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.010>
- Luo, Jianli, Ji, C., Qiu, C., & Jia, F. (2018). Agri-food supply chain management: Bibliometric and content analyses. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/su10051573>
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Mentzer, J. T., Stank, T. P., & Esper, T. L. (2008). Supply Chain Management and Its Relationship To Logistics, Marketing, Production, and Operations Management. *Journal of Business Logistics*, 29(1), 31–46. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2008.tb00067.x>
- Michigan State University. Global Logistics Research Team. (1995). *World class logistics : the challenge of managing continuous change*.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca - Argentina. (2014). *ESTRATEGIAS DE COORDINACIÓN DE LA CADENA DE CARNE VACUNA*. http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes_historicos/_archivos//000005=Casos de Estudio/101021-Estrategias de coordinación de la cadena de carne bovina.pdf.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Decreto 3149 de 2006*. Por El Cual Se Dictan Disposiciones Sobre La Comercialización, Transporte, Sacrificio de Ganado

- Bovino y Bufalino y Expendio de Carne En El Territorio Nacional.
<https://www.slideshare.net/Fedegan/decreto-3149-sept-13-de-2006>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Diagnóstico del sector en el mundo y punto de partida y diagnóstico del sector en Colombia Sector: Carne Bovina*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). La estructura de la producción de carne bovina en Colombia. *Boletín Mensual: Insumos y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria*, 4, 75.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Fiebre Aftosa*.
<https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Paginas/Decreto-1071-2015/CAPITULO-1-Fiebre-Aftosa.aspx>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (1993). *Resolución 604 de 1993*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22641>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2007a). Decreto 1500 de 2007. *Por El Cual Se Establece El Reglamento Técnico a Través Del Cual Se Crea El Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de La Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados Para El Consumo Humano y Los Requisitos Sanitarios*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2007b). *Resolución 2905 de 2007*. Por La Cual Se Establece El Reglamento Técnico Sobre Los Requisitos Sanitarios y de Inocuidad de La Carne y Productos Cárnicos Comestibles de La Especies Bovina y Bufalina Destinados Para El Consumo Humano.
http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_7599204237e3f034e0430a010151f034
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013a). *Resolución 240 de 2013*. *Por La Cual Se Establecen Los Requisitos Sanitarios Para El Funcionamiento de Las Plantas de Beneficio Animal de Las Especies Bovina, Bufalina y Porcina, Plantas de Desposte y Almacenamiento, Comercialización, Expendio, Transporte, Importación o Exportación*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013b). *Resolución 2674 de 2013*.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013c). *Resolución 3753 de 2013*. Por La Cual Se Definen Los Lineamientos Técnicos Para La Formulación de Planes de Acción de Inspección, Vigilancia y Control de La Carne y Productos Cárnicos Comestibles a Lo Largo de La Cadena y Se Dictan Otras Disposiciones.
http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-3753-de-2013.pdf
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). *Decreto 1975 de 2019*.
https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO_1975_DEL_29_DE_OCTUBRE_DE_2019.pdf
- Ministerio de Trabajo. (2013). *Diagnóstico del Departamento de Arauca*.
- Mohtadi, H. (2008). Information sharing in food supply chains. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 56(2), 163–178. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2008.00123.x>
- Morash, E. A., Dröge, C. L. M., & Vickery, S. K. (1996). Strategic Logistics Capabilities for

- Competitive Advantage and Firm Success. *Journal of Business Logistics*, 17, 1–22.
- Myrin, C. (2018). Understanding logistics capabilities in a transition towards supply chain agility in charity retailing. *KTH Industrial Engineering and Management*.
- Nguyen, H. K., Chiong, R., Chica, M., Middleton, R. H., & Pham, D. T. K. (2019). Contract farming in the Mekong Delta's rice supply chain: Insights from an agent-based modeling study. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 22(3). <https://doi.org/10.18564/jasss.4008>
- Northwestern University. (1999). *Netlogo*. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- OCDE FAO. (2017). PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2017-2026. In *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*. <https://doi.org/10.1787/agr-data-en>
- OLIVER, R. K., & WEBBER, M. D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Logistics: The Strategic Issues*, 63–75.
- OMS, & FAO. (1999). *Codex Alimentarius, Higiene de los alimentos - Textos Básicos. Segunda Edición*.
- Orjuela-Castro, J. A., Diaz Gamez, G. L., & Bernal Celemín, M. P. (2017). Model for logistics capacity in the perishable food supply chain. *Communications in Computer and Information Science*, 742, 225–237. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_21
- Orjuela-Castro, J., & Adarme-Jaimes, W. (2018). Evaluating the supply chain design of fresh food on food security and logistics. *Communications in Computer and Information Science*, 915, 257–269. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00350-0_22
- Orjuela Castro, J. A., Adarme Jaimes, W., Castro, J. A. O., & Jaimes, W. A. (2017). Dynamic impact of the structure of the supply chain of perishable foods on logistics performance and food security. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(4), 687–710. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2147>
- Orjuela Castro, J. A., Caicedo-Otavo, A. L., Ruiz-Moreno, A. F., & Adarme-Jaimes, W. (2016). Efecto de los mecanismos de integración externa en el desempeño logístico de cadenas Frutícolas. Un enfoque bajo dinámica de sistemas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 311–322. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5073>
- Ormerod, P., & Rosewell, B. (2009). Validation and verification of agent-based models in the social sciences. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5466 LNAI, 130–140. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01109-2_10
- Osoyo, C. (2016). *Mecanismos de coordinación para la optimización del desempeño de la cadena logística humanitaria mediante modelamiento estocástico. Caso colombiano*.
- Pal, K. (2016). Agent-Based Simulation for Supply Chain Agent-Based Simulation for Supply Chain Transport Corridors. *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 9(7).
- Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., & Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *AI and Society*, 22(2), 113–132. <https://doi.org/10.1007/s00146-007-0126-1>
- Parsa, P., Rossetti, M. D., Zhang, S., & Pohl, E. A. (2017). Quantifying the benefits of continuous replenishment program for partner evaluation. *International Journal of Production Economics*, 187, 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.017>
- Peña, D. (2014). *Fundamentos De Estadística*. Alianza Editorial S.A.

- Perez, L., Dragicevic, S., & Gaudreau, J. (2019). A geospatial agent-based model of the spatial urban dynamics of immigrant population: A study of the island of Montreal, Canada. *PLOS ONE*, *14*(7), e0219188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219188>
- Plà, L. M., Sandars, D. L., & Higgins, A. J. (2014). A perspective on operational research prospects for agriculture. *Journal of the Operational Research Society*, *65*(7), 1078–1089.
- PNDU. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD*. Online - Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Raghunathan, S., & Yeh, A. B. (2001). Beyond EDI: Impact of Continuous Replenishment Program (CRP) between a Manufacturer and Its Retailers. *Information Systems Research*, *12*(4), 406–419. <https://doi.org/10.1287/isre.12.4.406.9701>
- Reina Usuga, M. L., Adarme Jaimes, W., & Suarez, O. E. (2012). Coordination on Agrifood Supply Chain. *International Journal of Economics and Management Engineering*, *6*(11), 2849–2853.
- Rosenzweig, E. D., Roth, A. V., & Dean, J. W. (2003). The influence of an integration strategy on competitive capabilities and business performance: An exploratory study of consumer products manufacturers. *Journal of Operations Management*, *21*(4), 437–456. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(03\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(03)00037-8)
- Ruiz, A. F., Caicedo, A. L., & Orjuela, J. A. (2015). Integración externa en las cadenas de suministro agroindustriales: Una revisión al estado del arte. *Ingeniería*, *20*(2), 9–30. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2004.04.016>
- Sandberg, E., & Abrahamsson, M. (2011). Logistics capabilities for sustainable competitive advantage. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *14*(1), 61–75. <https://doi.org/10.1080/13675567.2010.551110>
- Sarache-Castro, W. A., & Hernández Pérez, G. (2012). CADENAS DE ABASTECIMIENTO AGROINDUSTRIALES: FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y APROXIMACIONES A LOS CONTEXTOS COLOMBIANO Y CUBANO. In *Logística y Cadenas de Abastecimiento Agroindustrial* (1st ed., p. 189). Universidad Nacional de Colombia / Blanecolor S.A.S.
- Sarmiento-Vásquez, A., & López-Sandoval, E. (2017). Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes. *Ingeniería Industrial*, *35*(035), 27. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2017.n035.1789>
- Shang, K. C., & Marlow, P. B. (2005). Logistics capability and performance in Taiwan's major manufacturing firms. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *41*(3), 217–234. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2004.03.002>
- Shepelev, V., Almetova, Z., Larin, O., Shepelev, S., & Issenova, O. (2018). Optimization of the Operating Parameters of Transport and Warehouse Complexes. *Transportation Research Procedia*, *30*, 236–244.
- Siggelkow, N., & Levinthal, D. A. (2003). Temporarily Divide to Conquer: Centralized, Decentralized, and Reintegrated Organizational Approaches to Exploration and Adaptation. *Organization Science*, *14*(6). <https://doi.org/10.1287/orsc.14.6.650.24870>
- Simatupang, T. M., Wright, A. C., & Sridharan, R. (2004). Applying the theory of constraints to supply chain collaboration. *Supply Chain Management*, *9*(1), 57–70. <https://doi.org/10.1108/13598540410517584>

- Smaijl, A., & Barreteau, O. (2014). *Empirical Agent-Based Modelling - Challenges and Solutions*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6134-0>
- Song, M., Zhao, Q., & Song, Z. (2016). Logistics Capabilities of Cement Transport Firm: Towards an Understanding of Capabilities Portfolio. *2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*.
- Stadtler, H. (2009). A framework for collaborative planning and state-of-the-art. *OR Spectrum*, 31, 5–30.
- Staudt, F. H., Di Mascolo, M., Alpan, G., & Rodriguez, C. M. T. (2014). Warehouse performance measurement: classification and mathematical expressions of indicators. *ILS 2014 - 5th International Conference in Information Systems, Logistics and Supply Chain*, 22. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01242034>
- Tako, A. A., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52(4), 802–815. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2011.11.015>
- Troisi, A., Wong, V., & Ratner, M. A. (2005). An agent-based approach for modeling molecular self-organization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(2), 255–260. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408308102>
- Tsolakis, N. K., Keramydas, C. A., Toka, A. K., Aidonis, D. A., & Iakovou, E. T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*, 120, 47–64. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.014>
- Utomo, D. S., Onggo, B. S., & Eldridge, S. (2018). Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 794–805. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.041>
- Van Der Rhee, B., Van Der Veen, J. A. A., Venugopal, V., & Nalla, V. R. (2010). A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains. *Operations Research Letters*, 38(4), 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2010.03.004>
- Vieira, C. M., & Martinho, C. (2011). *an Agent-Based Collaborative Model for Supply Chain Management Simulation*. Arshinder 2008.
- Villarraga, J., Carley, K. M., Wassick, J., & Sahinidis, N. (2017). *Agent-based Modeling and Simulation for an Order-To-Cash Process using NetLogo Center for the Computational Analysis of Social and Organizational Systems CASOS technical report*.
- Wang, C., & Chen, X. (2013). Option contracts in fresh produce supply chain with circulation loss. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(1 LISS 2012), 104–112. <https://doi.org/10.3926/jiem.667>
- Wang, H., Guo, M., & Efstathiou, J. (2004). A game-theoretical cooperative mechanism design for a two-echelon decentralized supply chain. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 372–388. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00233-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00233-9)
- Warsanga, W. B. (2014). Coordination and Structure of Agri-Food Value Chains: Analysis of Banana Value Chain Strands in Tanzania. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 5(7), 71–79. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEDS/article/view/12573/13078>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling; Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. The MIT Press, Cambridge.

- Xiang, X., Kennedy, R., & Madey, G. (2005). Verification and Validation of Agent-based Scientific Simulation Models. *Agent-Directed Simulation Conference*, 47–55. http://www.nd.edu/~nom/Papers/ADS019_Xiang.pdf
- Xu, L., & Wang, S. (2012). Empirical Research on Construct of Chain Store Logistics Capability System. *Scientific Search*, 4, 10–17. <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Yan, B., Wu, X. hua, Ye, B., & Zhang, Y. wang. (2017). Three-level supply chain coordination of fresh agricultural products in the Internet of Things. *Industrial Management and Data Systems*, 117(9), 1842–1865. <https://doi.org/10.1108/IMDS-06-2016-0245>
- Yang, C.-C. (2012). Assessing the moderating effect of innovation capability on the relationship between logistics service capability and firm performance for ocean freight forwarders. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(1), 53–69. <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.669469>
- Yao, Y., & Dresner, M. (2008). The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 361–378. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.12.001>
- Zeebroeck, M. V., Linden, V. V., De Baerdemaeker, H. R., Nicolaï, B. M., & Tijskens, E. (2007). Impact damage of apples during transport and handling. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 157–167.
- Zhao, B., Kumar, K., Casey, G., & Soga, K. (2019). *Agent-Based Model (ABM) for City-Scale Traffic Simulation: A Case Study on San Francisco*. 2019, 203–212. <https://doi.org/10.1680/icsic.64669.203>
- Zhao, G., Liu, S., & Lopez, C. (2017). A literature review on risk sources and resilience factors in agri-food supply chains. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 506, 739–752. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4_66
- Zhao, M., Dröge, C., & Stank, T. P. (2001). The effects of Logistics Capabilities on firm Performance: Customer - Focused versus Information - Focused capabilities. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 91–107.
- Zhou, L., Zhou, G., Qi, F., & Li, H. (2019). Research on coordination mechanism for fresh agri-food supply chain with option contracts. *Kybernetes*, 48(5), 1134–1156. <https://doi.org/10.1108/K-08-2017-0291>
- Zhuo, N., & Ji, C. (2019). Toward livestock supply chain sustainability: A case study on supply chain coordination and sustainable development in the pig sector in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph16183241>

Anexo: Instrumentos de recopilación de información